Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación

SERIE: **ESTÁNDARES TÉCNICOS DE CONSTRUCCIÓN**

Ministerio de Vivienda y Urbanismo

Gobierno de Chile

1

CÓDIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACIÓN

VERSIÓN OFICIAL
MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO
2018

Ministerio de Vivienda y Urbanismo

Gobierno de Chile

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Gobierno de Chile

Santiago, febrero de 2018

Colección: Monografías y Ensayos

Serie 3: Estándares Técnicos de Construcción **ISBN:** 978-956-9432-76-7

Título: Vol. 1 Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación

ISBN: 978-956-9432-77-4

Autor: Ministerio de Vivienda y Urbanismo - Minvu

Editor: División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional – Ditec, Minvu

CDU: 625.85(083)

Redacción y coordinación editorial: Marcelo Soto, Claudio Hernández y Guillermo Calderón (Minvu)

Desarrolladores técnicos: Joel Prieto, Claudio Hernández, Guillermo Calderón, Cristina Barría y Matías Guiñez (Minvu); Cristian Masana, Gustavo González (independientes)

Corrección de estilo: Miriam Díaz (Minvu); Ignacio Jara y Gloria Alarcón (independientes)

Diseño y diagramación: Marcelo Godoy (Minvu)

Fotografías: Banco de Imágenes Ditec Minvu

Impresión: Editora e Imprenta MAVAL S.P.A.

Desarrollado por: Departamento de Tecnologías de la Construcción, Ditec, Minvu

Agradecimientos: Carlos Wahr y Rodrigo Delgadillo (Universidad Técnica Federico Santa María); Cristián Díaz (Centro de Desarrollo e Investigación – CDI); Óscar Plaza (Bitumix S.A.); Mauricio Salgado (Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile - ICH); Darío Cabrera (Universidad Tecnológica Metropolitana)

Bajo licencia Creative Commons:

Se permite la redistribución de este contenido siempre y cuando: se reconozca al autor de la obra, no se haga uso comercial y no se ejecuten obras derivadas.

CONTENIDO

SÍMBOLOS DE UNIDADES XIII
PRESENTACIÓN XVII

SECCIÓN 01 21
INTRODUCCIÓN 21
ART. 1.1 GENERALIDADES 21
ART. 1.2 PARTE I "CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS" 21
ART. 1.3 PARTE II "DISEÑO DE PAVIMENTOS Y OBRAS ANEXAS" 22
ART. 1.4 PARTE III: "APÉNDICES Y ANEXOS" 23

PRIMERA PARTE 24
CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN 24

SECCIÓN 02 27
PREPARACIÓN DE LA SUBRASANTE 27
ART. 2.1 ASPECTOS GENERALES 27
ART. 2.2 REPLANTEO GEOMÉTRICO 27
ART. 2.3 IDENTIFICACIÓN DE SUELOS EN SUBRASANTE 28
ART. 2.4 EXCAVACIÓN EN CORTE 28
ART. 2.5 RELLENOS 28
ART. 2.6 PREPARACIÓN DE LA SUBRASANTE EN SUELO NATURAL 29
ART. 2.7 PREPARACIÓN DE LA SUBRASANTE MEJORADA 29
ART. 2.8 CONTROLES 30
ART. 2.9 ESTABILIZACION DE SUELOS QUE CONFORMAN LA SUBRASANTE 31

SECCIÓN 03 41
BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS 41
ART. 3.1 DEFINICIÓN 41
ART. 3.2 SUBBASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS 41
ART. 3.3 BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS 45
ART. 3.4 BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS DE HORMIGÓN 49
ART. 3.5 BASES ESTABILIZADAS 53

SECCIÓN 04 57
PAVIMENTOS DE HORMIGÓN 57
ART. 4.1 DEFINICIÓN Y ALCANCE 57
ART. 4.2 MATERIALES 57
ART. 4.3 DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN 58
ART. 4.4 FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN 59
ART. 4.5 TRANSPORTE DEL HORMIGÓN 61
ART. 4.6 CONSTRUCCIÓN DEL PAVIMENTO 61
ART. 4.7 ENTREGA DEL PAVIMENTO AL TRÁNSITO 73
ART. 4.8 CONTROL DE CALIDAD DEL HORMIGÓN 73

SECCIÓN 05 81
PAVIMENTOS ASFÁLTICOS 81
ART. 5.1 GENERALIDADES 81
ART. 5.2 MATERIALES ASFÁLTICOS 81
ART. 5.3 AGREGADOS PÉTREOS 95
ART. 5.4 RIEGO DE IMPRIMACIÓN 96
ART. 5.5 RIEGO DE LIGA 98
ART. 5.6 RIEGO DE NEBLINA 99
ART. 5.7 RIEGOS MATAPOLVOS 101
ART. 5.8 LECHADA ASFÁLTICA Y MICROPAVIMENTO 102
ART. 5.9 SELLO DE AGREGADOS 108
ART. 5.10 CAPE SEAL 115
ART. 5.11 MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO 115
ART. 5.12 MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE 120
ART. 5.13 MICROAGLOMERADOS DISCONTINUOS EN CALIENTE 137
ART. 5.14 MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT (SMA) 141
ART. 5.15 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE LIGANTES ASFÁLTICOS BASADOS EN SU DESEMPEÑO (SUPERPAVE 145

BIBLIOGRAFÍA 149

SECCIÓN 06 153
ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN PARA OBRAS DE PAVIMENTACIÓN 153
ART. 6.1 CONDICIONES GENERALES 153
ART. 6.2 ADOQUINES 155
ART. 6.3 PASTELONES 163
ART. 6.4 BALDOSAS 166
ART. 6.5 SOLERAS 171
ART. 6.6 SOLERILLAS 174
ART. 6.7 SOLERAS CON ZARPA 176

SECCIÓN 07 183
OBRAS COMPLEMENTARIAS 183
ART. 7.1 ALCANCE 183
ART. 7.2 DEMOLICIÓN Y EXTRACCIÓN 183

ART. 7.3 RECONSOLIDACIÓN DE ZANJAS Y EXCAVACIONES EN GENERAL 184
ART. 7.4 EVACUACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES 184
ART. 7.5 MUROS DE CONTENCIÓN 187
ART. 7.6 LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO 191
ART. 7.7 VEREDAS DE HORMIGÓN 192
ART. 7.8 EMPAREJAMIENTO DE ACERAS EN ZONAS SIN VEREDA 192
ART. 7.9 SOLERAS HECHAS EN SITIO SOBRE CALZADAS DE HORMIGÓN 193

SECCIÓN 08 197
ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y RESTAURACIÓN DE PAVIMENTOS 197
ART. 8.1 GENERALIDADES 197
ART. 8.2 DEFINICIÓN DE ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y RESTAURACIÓN DE PAVIMENTOS 197
ART. 8.3 PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN DE ACCIONES DE CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y RESTAURACIÓN 199
ART. 8.4 EVALUACIÓN NO DESTRUCTIVA DE PAVIMENTOS 199

SECCIÓN 09 219
CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y RESTAURACIÓN DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN, ADOQUINES Y BALDOSAS 219
ART. 9.1 GENERALIDADES 219
ART. 9.2 MÉTODOS APLICABLES A LAS OBRAS DE CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y RESTAURACIÓN DE PAVIMENTOS 219
ART. 9.3 RESTAURACIÓN DE PAVIMENTOS 219
ART. 9.4 TIPOS DE FALLA Y TRABAJOS A EJECUTAR EN PAVIMENTOS DE HORMIGÓN 220
ART. 9.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA REPARACIÓN Y CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS URBANOS DE HORMIGÓN 228
ART. 9.6 CONSERVACIÓN Y REPARACIÓN DE PAVIMENTOS DE ADOQUINES 241
ART. 9.7 CONSERVACIÓN Y REPARACIÓN DE VEREDAS DE HORMIGÓN Y BALDOSAS 242

SECCIÓN 10 245
CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y RESTAURACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS 245
ART. 10.1 INTRODUCCIÓN 245
ART. 10.2 PRINCIPALES DETERIOROS DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS 246
ART. 10.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE TRABAJOS DE CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y RESTAURACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS 257

SECCIÓN 11 269
CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE BASES, SUBBASES Y SUBRASANTES 269
ART. 11.1 REPOSICIÓN DE BASES Y SUBBASES 269
ART. 11.2 RESTAURACIÓN DE MATERIALES DE SUELOS EN ÁREAS NO PAVIMENTADAS 69
ART. 11.3 TÚNELES BAJO PAVIMENTO 270
ART. 11.4 VEREDAS DE ASFALTO 270
ART. 11.5 CALZADAS DE AFIRMADO PÉTREO O GRANULAR 271
ART. 11.6 CONSERVACIÓN DE CALZADAS EN TIERRA 272

SEGUNDA PARTE 274
DISEÑO DE PAVIMENTOS Y OBRAS ANEXAS 274

SECCIÓN 12 277
MECÁNICA DE SUELOS 277
ART. 12.1 EL SUELO COMO FUNDACIÓN DEL PAVIMENTO 277
ART. 12.2 NATURALEZA Y ORIGEN DE LOS SUELOS 278
ART. 12.3 RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS DE LOS SUELOS 278
ART. 12.4 GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS 280
ART. 12.5 PERMEABILIDAD 281
ART. 12.6 RELACIONES ESFUERZO-DEFORMACIÓN 282
ART. 12.7 TEORÍA DE LA CONSOLIDACIÓN 82
ART. 12.8 ESFUERZO DE CORTE EN LOS SUELOS 283
ART. 12.9 PRUEBAS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS PARA SUBRASANTE, SUBBASES Y BASES 285
ART. 12.10 CLASIFICACIÓN DE SUELOS 289
ART. 12.11 COMPACTACIÓN DE SUELOS 290
ART. 12.12 COMPACTACIÓN DEL TERRENO 291
ART. 12.13 PRUEBAS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO 293
ART. 12.14 NORMATIVA DE ENSAYOS PARA LA MECÁNICA DE SUELOS 293

SECCIÓN 13 297
ESTUDIOS DE TRÁNSITO 297
13.1 INTRODUCCIÓN 297
13.2 SOLICITACIONES DE TRÁNSITO (DISEÑO EMPÍRICO MECANICISTA) 298
13.3 DATOS DE ENTRADA GENERALES DE TRÁNSITO 301
13.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS VEHÍCULOS 303

SECCIÓN 14 309
DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN 309
ART. 14.1 INTRODUCCIÓN 309
ART. 14.2 TIPOS DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN 311
ART. 14.3 ANTECEDENTES PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN 312
ART. 14.4 METODOLOGÍA DE DISEÑO MECANICISTA PARA PAVIMENTOS DE HORMIGÓN 325
ART. 14.5 METODOLOGÍA DE DISEÑO EMPÍRICO-MECANICISTA BASADA EN AASHTO 98 PARA PAVIMENTOS DE HORMIGÓN 338
ART. 14.6 EJEMPLO DE APLICACIÓN 347

SECCIÓN 15 353
DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 353
ART. 15.1 GENERALIDADES 353
ART. 15.2 MÉTODO AASHTO 93 354

ART. 15.3 MÉTODO EMPÍRICO-MECANICISTA 360
ART. 15.4 ZONIFICACIÓN TERRITORIAL 364
ART. 15.5 CARTILLAS DE DISEÑO 365

BIBLIOGRAFÍA 377

SECCIÓN 16 381
DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO Y CAPAS DE PROTECCIÓN ASFÁLTICAS 381
ART. 16.1 CONCEPTOS GENERALES 381
ART. 16.2 OBJETIVOS DEL DISEÑO DE MEZCLAS 381
ART. 16.3 AGREGADOS PÉTREOS 382
ART. 16.4 FILLER 382
ART. 16.5 CEMENTO ASFÁLTICO O EMULSIONES 382
ART. 16.6 CRITERIO DE DISEÑO Y PROPIEDADES 383
ART. 16.7 CAPAS ASFÁLTICAS DE PROTECCIÓN 385

SECCION 17 389
CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE TALUDES EN CORTE Y TERRAPLÉN 389
ART. 17.1 DEFINICIONES Y OBJETIVO 389
ART. 17.2 TIPOS DE FALLA 389
ART. 17.3 CRITERIOS Y METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE TALUDES EN CORTE Y TERRAPLENES EN CASO ESTÁTICO 391

SECCIÓN 18 395
DISEÑO ESTRUCTURAL DE ALCANTARILLAS, PUENTES Y LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO 395
ART. 18.1 CONSIDERACIONES GENERALES 395
ART. 18.2 DISEÑO ESTRUCTURAL DE ALCANTARILLAS DE HORMIGÓN ARMADO 395
ART. 18.3 DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTES Y LOSAS 397

SECCIÓN 19 401
DISEÑO ESTRUCTURAL MUROS DE CONTENCIÓN 401
ART. 19.1 GENERALIDADES 401
ART. 19.2 EMPUJE DE TIERRAS 401
ART. 19.3 GRÁFICOS Y TABLAS DE DISEÑO DE MUROS DE HORMIGÓN ARMADO TIPO CANTILEVER Y GRAVITACIONALES 407
ART. 19.4 CÁLCULO DE ESTABILIDAD DE MUROS DE CONTENCIÓN 407
ART. 19.5 FACTORES DE SEGURIDAD 408
ART. 19.6 MUROS GRAVITACIONALES 409
ART. 19.7 MUROS TIPO CANTILEVER 410
ART. 19.8 IMPERMEABILIDAD Y DRENAJE EN MUROS DE CONTENCIÓN 411
ART. 19.9 CARACTERÍSTICAS DEL RELLENO 411

SECCIÓN 20 415
DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS EN SECTORES URBANOS 415
ART. 20.1 DEFINICIÓN Y OBJETIVO 415
ART. 20.2 CLIMA 415
ART. 20.3 OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL 418
ART. 20.4 OBRAS DE SUBDRENAJE 430

SECCIÓN 21 435
DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS EN SECTORES URBANOS. DISEÑO HIDRÁULICO 435
ART. 21.1 ESCURRIMIENTOS ABIERTOS 435
ART. 21.2 ESCURRIMIENTOS CERRADOS 451

TERCERA PARTE 458
APÉNDICES 458

APÉNDICE I 461
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS ANTECEDENTES 461
ANTECEDENTES QUE CONFORMAN EL PROYECTO 461
1. PLANOS 461
2. MEMORIA EXPLICATIVA 462
3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS 462
4. LISTADO DE CALLES, PASAJES Y SUS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES 463
5. CUBICACIÓN DE CANTIDADES DE OBRAS 463
6. CUBICACIÓN DE MOVIMIENTO DE TIERRAS 463
7. PRESUPUESTO 463

APÉNDICE II 467
RESUMEN DE NORMAS CITADAS EN EL CÓDIGO 467
1. NORMAS DEL INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN 467
2. MANUAL DE CARRETERAS 470
3. NORMAS ASTM 471
4. NORMAS AASHTO 472
5. NORMAS UNE 472
6. NORMAS NLT 473
7. NORMAS ISSA 473

APÉNDICE III 476
LÁMINAS TIPO 467

ANEXO SECCIÓN 02 595
ART. A 2.1 SUELOS DE SUBRASANTE ESTABILIZADOS EN SITIO CON CEMENTO O CAL 595
ART. A 2.2 SUELOS DE SUBRASANTE CON ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN SITIO 608

ANEXO SECCIÓN 05 625
ART. A.5.1 RECICLADO EN PLANTA EN CALIENTE DE CAPAS ASFÁLTICAS 625
ART. A 5.2 ENSAYES Y MÉTODOS PARA ASFALTOS Y PRODUCTOS ASFÁLTICOS EMPLEADOS EN PAVIMENTOS 633
ART. A 5.3 ENSAYOS PARA AGREGADOS PÉTREOS 638

ANEXO SECCIÓN 12 643
ART. A 12.1 PLASTICIDAD 643

ANEXO SECCIÓN 13 647
ANEXO 13.1 EJEMPLO DETERMINACIÓN DE EJES EQUIVALENTES 647

ANEXO SECCIÓN 14 651
ART. A 14.1 DESARROLLO DEL MÉTODO AASHTO 98 651
ART. A.14.2 TENSIÓN DE TRACCIÓN DADA POR LA ACCIÓN COMBINADA DE CARGA DE ESQUINA Y UN DIFERENCIAL NEGATIVO DE TEMPERATURA (1) 662
ART. A.14.3 FACTORES DE EQUIVALENCIA PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS 668

SÍMBOLOS DE UNIDADES

SÍMBOLO	NOMBRE
m	Metros
m^2	Metros cuadrados
m^3	Metros cúbicos
ml	Metro lineal
cm	Centímetros
cm^2	Centímetros cuadrados
cm^3	Centímetros cúbicos
mm	Milímetros
mm^2	Milímetros cuadrados
km	Kilómetros
km^2	Kilómetros cuadrados
“ ó in	Pulgadas
$pulg^2$	Pulgadas cuadradas
$pulg^3$	Pulgadas cúbicas
$pulg^4$	Pulgadas cuartas
L	Litros
g	Gramos
kg	Kilógramos
t	Toneladas
kgf	Kilógramo-fuerza
N	Newton
kN	Kilo Newton
MPa	Mega Pascales
°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit
h	Horas
min	Minutos
seg	Segundos
Hz	Hertz
grad	Gradianes
kip	Kilo Libra-fuerza
lbf	Libra-fuerza

Uno de los principales objetivos de este Gobierno, en materia de urbanismo y edificación, es la promoción de ciudades más equitativas, lo que quedó demostrado cuando suscribió la Declaración de Quito sobre Ciudades y Asentamientos Humanos Sostenibles para Todos, en el marco de la Conferencia Hábitat III. A través de este acuerdo el Gobierno se comprometió a trabajar para el desarrollo de ciudades inclusivas, seguras, resilientes y sustentables, que garanticen a todos sus habitantes, sin discriminación de ningún tipo, poder convivir en asentamientos humanos que promuevan la prosperidad y la calidad de vida para las generaciones presentes y futuras.

Un pilar importante en el avance hacia estos objetivos es la Nueva Agenda Urbana propuesta en Hábitat III, que es un instrumento que guía la planificación y la gestión de las ciudades, para transitar hacia un desarrollo urbano sustentable, que provea más y mejores espacios públicos abiertos a la diversidad, de manera que se constituyan en lugares de encuentro comunitario para todos.

Para monitorear y evaluar los desafíos multisectoriales adoptados en la implementación de esta Nueva Agenda Urbana –que comprometen a diversos actores públicos y privados–, hemos participado activamente en el Consejo Nacional de Desarrollo Urbano, que es el organismo encargado de estas tareas, y donde consensuamos estándares y definimos indicadores urbano-habitacionales que permitirán medir el estado de nuestras ciudades, orientar la inversión y establecer metas que afecten positivamente la calidad de vida a sus habitantes.

Como ministerio, y con el fin de responder a estos desafíos, hemos trabajado para reconocer las necesidades de las personas respecto a los espacios que habitan, lo que ha significado un paso fundamental para enfocar nuestra labor en el desarrollo de una política pública que considere dimensiones como la equidad, el bienestar, la participación, la sustentabilidad y la calidad de la construcción.

La incorporación de estos criterios nos ha permitido concebir nuevos proyectos, tomar decisiones de diseño y desarrollar herramientas concretas para la construcción de infraestructura urbana que sea capaz de responder a las exigencias de movilidad urbana que impone la ciudadanía a través del uso cotidiano, y contribuir a transformar las ciudades y territorios en espacios armónicos y prósperos.

Nuestra tarea es mejorar tanto los espacios públicos, como las vías y circulaciones que conectan a las comunidades que habitan las ciudades. Con este documento contribuimos, precisamente, a construir una movilidad urbana más sustentable, factor determinante para la economía de nuestras ciudades, pero, sobre todo, a mejorar el acceso de nuestros ciudadanos a infraestructura, servicios y espacios públicos, disminuyendo así las brechas de inequidad respecto a los beneficios derivados del desarrollo urbano moderno, impactando positivamente en su calidad de vida.

Paulina Saball Astaburuaga
Ministra de Vivienda y Urbanismo

PRESENTACIÓN

Actualmente, el acelerado crecimiento y transformación de nuestras ciudades impone desafíos que implican la incorporación de una visión de desarrollo sostenible que contemple un modelo de urbanización del hábitat contemporáneo inclusivo, que facilite la integración social y considere un menor impacto medioambiental.

Un hábitat inclusivo implica, entre otros factores, una amplia cobertura de servicios y de infraestructura para responder a las necesidades urbanas y habitacionales de la población; y esta cobertura debe reflejar los procesos naturales de quienes habitan las ciudades, su entorno y territorio, que están en constante cambio.

Se requieren, entonces, nuevos proyectos urbanísticos que propongan infraestructura, espacios públicos y entornos habitables, concebidos con un enfoque integral, donde la comunidad diversa pueda interactuar y desenvolverse en un ambiente accesible universalmente, sano y confortable. Para cumplir con este propósito, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, en este último periodo, ha desarrollado un intenso trabajo en conjunto con los principales actores del rubro, enfocado en la actualización y elaboración de normas técnicas, y la generación de manuales que reúnan buenas prácticas, avances en diseño, materiales y aplicación de nuevas tecnologías en el área construcción.

El "Código de normas y especificaciones técnicas de obras de pavimentación" que presentamos, sancionado por Resolución Exenta N° 3008/2016 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, recopila las prácticas recomendadas de diseño y ejecución de los proyectos de pavimentación y obras de urbanización, a nivel nacional, incorporando nuevas técnicas y tecnologías constructivas asociadas a este tipo de infraestructura, así como también de la normativa que las regula, principalmente en materia de diseño y especificación de materiales.

Entregamos este documento como un instrumento de referencia para los servicios de Vivienda y Urbanización, para otras instituciones públicas y privadas, profesionales y entidades que participan en el diseño y construcción de las ciudades, con el propósito de mejorar la eficiencia y eficacia de los procesos asociados y la calidad de las obras ejecutadas.

Jocelyn Figueroa Yousef
Jefa División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional
Ministerio de Vivienda y Urbanismo

SECCIÓN 01
INTRODUCCIÓN

SECCIÓN 01
INTRODUCCIÓN

ART. 1.1 GENERALIDADES

En toda obra de pavimentación existen normas de procedimientos que tienen por objeto alcanzar los mejores resultados en los diversos aspectos relacionados con ella, como son: la estética, la funcionalidad, la resistencia estructural y la duración. Cada especialidad de la construcción posee, en tal sentido, normas o especificaciones propias.

El Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación reúne las especificaciones aplicables a las obras de pavimentación urbana de tránsito público, es decir, al interior de los límites urbanos o de extensión urbana según sea el caso, de todas las comunas del país (con excepción de la comuna de Santiago) y en aquellas situaciones que, de acuerdo a la legislación vigente, estén sometidas a la Supervisión de los Servicios de Vivienda y Urbanización (Serviu).

Primera Parte: "Construcción y Conservación de Pavimentos", presenta Especificaciones Técnicas para la construcción, reparación y conservación de pavimentos urbanos rígidos y flexibles.

Segunda Parte: "Diseño de Pavimentos y Obras Anexas", presenta los principios básicos y líneas guía para el diseño de los pavimentos. Esto considera estudios de suelo, tránsito, diseño estructural de pavimentos, tanto rígidos como flexibles. Considera, además, el diseño del saneamiento para el drenaje de aguas lluvias y respectivas obras anexas.

Tercera Parte: "Apéndices y Anexos" correspondientes a las diferentes secciones. Presenta una serie de especificaciones, tanto de construcción como de diseño, las cuales complementan y permiten un mejor entendimiento de las secciones que conforman el presente Código.

Este documento está destinado al uso de particulares, profesionales independientes, consultores, profesionales de la División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional, División de Política Habitacional, División de Desarrollo Urbano, Secretarías Regionales Ministeriales de Vivienda y Urbanismo, Servicios Regionales de Vivienda y Urbanización del Minvu, Direcciones de Obras Municipales, Ministerio de Obras Públicas, profesionales del área de la construcción, docencia universitaria, sector privado inmobiliario y organismos vinculados al quehacer de vías urbanas.

ART. 1.2 PARTE I "CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS"

A continuación se indica la intervención, cambio, modificaciones o mejoras del presente del Código:

Sección 2: Preparación de Subrasante. Se mantiene la estructura general, no obstante se reemplaza el título de la Sección acorde a su estructura y contenidos. Se incorpora algunas mejoras en la descripción de aspectos constructivos. Puede emplearse como especificación técnica para los trabajos a efectuar en la subrasante. Contiene artículos destinados a orientar en la selección de técnicas de estabilización de suelos.

Sección 3: Bases y Subbases de Pavimentos. Se complementan especificaciones técnicas de ambos ítems, incorporando para el caso de las bases de pavimentos dos bandas granulométricas adicionales a las existentes. Se mantiene la estructura de la sección, de manera que sus contenidos puedan emplearse como especificación de subbase y bases de pavimentos flexibles y rígidos.

Sección 4: Pavimentos de Hormigón. Se presentan especificaciones técnicas para la construcción de pavimentos

de hormigón y los requisitos de los hormigones para su provisión. Se describen las metodologías, equipos, herramientas y accesorios necesarios para la buena ejecución del pavimento y se entregan aspectos de control de calidad, para verificar los resultados de la construcción.

Sección 5: Pavimentos Asfálticos. Se han incorporado materiales asfálticos en uso hoy en el país. Cada artículo que describe una aplicación puede ser empleado como especificación de construcción o conservación de pavimentos flexibles. Aquí se incorporan, entre los ligantes, los cementos asfálticos clasificados por viscosidad y por desempeño (SUPERPAVE), además de la incorporación de las emulsiones imprimantes. Entre las aplicaciones de concretos asfálticos en calientes, se incorporan los microaglomerados discontinuos en caliente y las mezclas Stone Mastic Asphalt (SMA).

Sección 6: Pavimentos Construidos con Elementos Prefabricados de Hormigón. Se extrae del documento los procedimientos para ensayo de baldosas, soleras y solerillas, citando las NCh 187 y NCh 3208, respectivamente. Se actualizan los requisitos para la resistencia de Baldosas, tomando de referencia la NCh 183 (Clase RF3). En adoquines, se extrae el texto referido al diseño en esta materialidad y se cambia por una cartilla de diseño a modo de facilitar el cálculo.

Sección 7: Obras Complementarias. Se han revisado los aspectos de redacción de las especificaciones técnicas para tubos de hormigón y de otras materialidades y se han aumentado las posibilidades de casos de muro de contención, para actualizarlo a las prácticas actuales. Se han incluido además aspectos de construcción de veredas de hormigón -que no estaban incluidos en las versiones anteriores del Código- junto con las obras de emparejamiento de bandejones y se han reacomodado también los aspectos de soleras en sitio.

Sección 08 : Se mantiene sin cambios.

Sección 09 : Se mantiene sin cambios.

Sección 10 : Se mantiene sin cambios.

Sección 11 : Se mantiene sin cambios.

ART. 1.3 PARTE II "DISEÑO DE PAVIMENTOS Y OBRAS ANEXAS"

Las secciones incluidas en esta segunda parte se han mejorado, manteniendo el objetivo que cada una de ellas presente, en forma resumida, los principios básicos del diseño de pavimentos en sus respectivos aspectos.

Sección 12: Mecánica de Suelos. En general, esta sección se adecua a los requerimientos y necesidades de las respectivas secciones de diseño de pavimentos. Se reordena y complementa la presentación de los métodos para caracterizar el suelo, a través de módulo resiliente, para el diseño empírico-mecanicista y, finalmente, se incorporan correcciones de redacción para facilitar su comprensión.

Sección 13: Tránsito. Se reestructura su contenido dándole un enfoque de "dato de entrada" para el diseño de pavimentos.

Adicionalmente se ha incorporado, en Anexo, un ejemplo de cálculo de ejes equivalentes.

Sección 14: Diseño Geométrico de pavimentos. Se elimina esta sección pues su contenido se explica mejor y de manera más extensa en el Manual de Vialidad Urbana "Recomendaciones para el Diseño de Elementos de Infraestructura Vial Urbana (REDEVU) 2009". Se renumeran las siguientes secciones para mantener el orden correlativo.

Sección 15: Diseño Estructural de Pavimentos Rígidos. Se ha incluido en esta sección la aplicación de nuevos conceptos de diseño de pavimentos de hormigón, tal como pavimentos de HCV con distancia entre juntas inferior a la tradicional. Se desarrolla además el método de diseño AASHTO 93, con las ecuaciones de verificación propuestas por AASHTO 98 y se presenta una propuesta para el uso de metodologías de diseño empírico-mecanicistas.

Sección 16: Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles. Se mantiene, con algunas correcciones y mejoras menores, el método AASHTO 93 para pavimentos flexibles. Se incorpora, a partir de los fundamentos ya existentes en la versión anterior, el método empírico-mecanicista, basado en Shell Petroleum Design Method. Se incorpora al cuerpo de esta sección el "Anexo Sección 16, versión 2008".

Sección 17: Diseño de Mezclas de Concreto Asfáltico y Capas de Protección Asfálticas. Se reestructura y complementa esta sección con relación a la versión anterior. El énfasis está puesto en la cita a procedimientos normalizados y su correspondencia con los respectivos ítems desarrollados en Sección 5.

Sección 18: Criterios para el Diseño de Taludes en Corte y Terraplén. Se cambia título para darle otro enfoque a la Sección. Se incorporan algunas correcciones menores de redacción para facilitar su comprensión.

Sección 19: Diseño Estructural Alcantarillas, Puentes y Losas de Hormigón Armado. Solo se incorporan algunas correcciones menores de redacción para facilitar su comprensión.

Sección 20: Diseño Estructural Muros de Contención. Se cambia el término de "muro estructural" por "muro tipo Cantilever". Se incorporan algunas correcciones menores de redacción para facilitar su comprensión. Se expande el Método de Coulomb en suelos con fricción.

Sección 21: Drenaje de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos. Se mantiene las especificaciones, recomendaciones de técnicas alternativas y la zonificación climática contenida en versión anterior. Solo se incorporan algunas correcciones menores de redacción para facilitar su comprensión.

Sección 22: Drenaje de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos, Diseño Hidráulico. Se mantiene esta sección según la versión anterior, únicamente se incorporan algunas correcciones menores de redacción para facilitar su comprensión.

ART. 1.4 PARTE III: "APÉNDICES Y ANEXOS"

Apéndice I: En general, se mantiene su contenido. Solo se realizaron algunas correcciones menores de redacción.

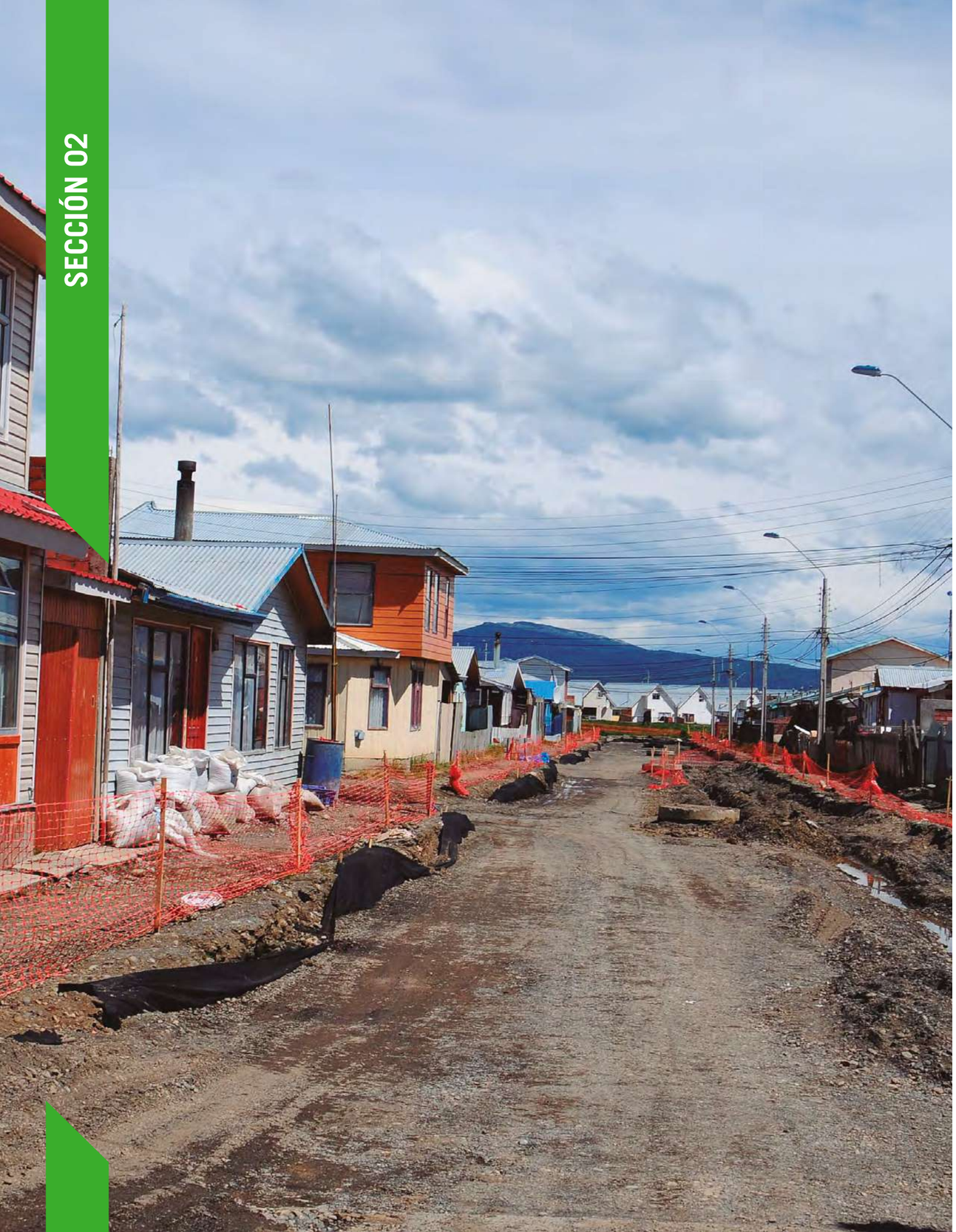
Apéndice II: Se complementa, reestructura y mejora, distribuyendo las normas y procedimientos por organismo emisor. Así es como se mejoran y complementan: normas NCh, procedimientos Manual de Carreteras, normas ASTM, normas AASHTO, normas UNE, normas NLT y normas ISSA.

Apéndice III: Se mantiene su contenido.

Anexos: Se incluyen Anexos que complementan las secciones 2, 5, 12, 13 y 14 del Código.

PRIMERA PARTE
CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN

SECCIÓN 02
PREPARACIÓN DE LA SUBRASANTE



SECCIÓN 02

PREPARACIÓN DE LA SUBRASANTE

La subrasante es la superficie sobre la cual se apoya la estructura de un pavimento, la que normalmente se conforma con los suelos naturales disponibles en el lugar de emplazamiento del proyecto. Sin embargo, en ocasiones puede ser necesario el reemplazo, mejoramiento o estabilización del suelo natural para optimizar sus propiedades y capacidad de soporte, de manera que quede en condiciones de recibir una subbase y/o base y la carpeta de pavimento flexible o rígido.

Para su preparación es necesario ejecutar labores de movimiento de tierra para preparar el terreno, definir los límites del proyecto, nivelar zonas por donde se construirán los pavimentos y compactar el terreno, de manera de dejar una plataforma que sea adecuada para la circulación de los vehículos y equipos involucrados en el proyecto de pavimentación.

En esta sección, en los Artículos 2.1 al 2.8, se describen las faenas de movimiento de tierra necesarias para preparar la subrasante y su eventual mejoramiento, de ser requerido. El artículo 2.9 se refiere a sistemas de estabilización de suelos y procedimientos para seleccionar el tipo adecuado de estabilización.

ART. 2.1 ASPECTOS GENERALES

Las cotas del proyecto, rasante y subrasante de las obras de pavimentación, establecen la necesidad de modificar el perfil natural del suelo, siendo necesario en algunos casos rebajar dichas cotas, y en otros casos elevarlas.

En el primer caso, corresponde ejecutar un trabajo de “Corte o Excavación” y en el segundo, un trabajo de “Relleno”. En ambos casos se deberá efectuar movimientos de tierra, operación mediante la cual el material del lugar es excavado o rellenado para luego nivelarlo y proporcionar las cotas a la subrasante del pavimento.

El proyectista, basado en los estudios de mecánica de suelos, debe indicar la presencia de rocas y la naturaleza de estas (dureza) cuando se emplacen en zonas de corte o excavación, así como su cubicación aproximada, debiendo considerar de manera especial la forma de extracción a ser utilizada, más aún si la zona de intervención ya está poblada.

En el caso de utilizar métodos de excavación invasivos, como detonaciones y equipos pesados, que producen altas vibraciones, se debe contar con los permisos necesarios para ejecutar las labores de manera segura. En estos casos es importante informar adecuadamente a la comunidad de la realización de dichas faenas, horarios, plazos, impactos, etc.

El material proveniente de las excavaciones debe ser retirado, siendo su lugar de destino un sector de la obra, cuando este sea aceptado como material de relleno o estabilizador, o bien un botadero debidamente autorizado, cuando se rechace para dichos fines.

ART. 2.2 REPLANTEO GEOMÉTRICO

Cuando se trate de un proyecto nuevo, previo al replanteo geométrico, se procede a la limpieza, roce y despeje del terreno entre líneas de edificación, para luego realizar las operaciones de movimiento de tierra respectivas. Cuando se trate de una zona ya urbanizada, se procede a hacer el inventario de lo existente en dicha zona y posteriormente se replantea la solución geométrica del proyecto en planta, definiendo ejes y vértices en terreno, así como en las líneas de soleras.

Independiente del tipo de proyecto a ejecutar, para efectos de replanteo geométrico se podrá contar con la georreferenciación emitida por la unidad técnica correspondiente, debiendo definir en terreno la ubicación de un par de puntos adicionales para actualizar la red geodésica.

ART. 2.3 IDENTIFICACIÓN DE SUELOS EN SUBRASANTE

Los suelos caracterizados en el estudio de mecánica de suelos, mediante clasificación AASHTO o Clasificación Unificada, según Láminas Tipo 12.1, 12.2 y 12.3 de Apéndice III, y que sean utilizados en el proyecto de pavimentación, deben ser identificados por el proyectista en el emplazamiento del proyecto.

Esta información deberá ser conocida por el contratista, por medio de la mecánica de suelo, calicatas/estratigrafías y/o deflectometría, las que deben ser claramente referenciadas a la ubicación del proyecto, de manera que el contratista pueda ir verificando en terreno los suelos que se le irán presentando en base a esta información.

Cualquier disconformidad entre la información del proyecto y los suelos existentes que puedan aparecer en terreno, podrá ser resuelta por el proyectista o por el Serviu, previa presentación de soluciones a la Fiscalización, quien evaluará el tipo de mejora a fin de definir si los suelos existentes no afectan la calidad de soporte del proyecto, o deben ser reemplazados, mejorados o estabilizados.

ART. 2.4 EXCAVACIÓN EN CORTE

En aquellos sectores en los cuales el nivel de la subrasante se encuentre bajo la cota actual de terreno, se deberá excavar (o detonar de existir roca, en caso que no exista otro método para conseguir la excavación y en tanto se cumpla con la reglamentación correspondiente, como el D.S. 77/82 del Ministerio de Defensa Nacional) el material necesario para dar espacio al perfil tipo correspondiente. En suelos finos se procurará evitar el corte por debajo de la cota proyectada, a fin de evitar rellenos con compactación deficiente.

En caso de encontrar material inadecuado bajo el horizonte de fundación, este debe extraerse hasta la profundidad especificada en el estudio de mecánica de suelos, reponiéndolo con el material especificado en el apartado 2.7.1 y compactándolo a una densidad no inferior al 95% de la densidad máxima compactada seca (D.M.C.S.) del ensayo Proctor Modificado (NCh 1534/2), o al 80% de la densidad relativa (NCh 1726), según corresponda.

Por material inadecuado ha de entenderse: rellenos no controlados, suelos naturales con una Relación de Soporte de California (CBR), según NCh 1852, inferior al CBR de la subrasante especificado en el proyecto, materiales con porcentajes de arcilla perjudiciales para el comportamiento de la estructura -según su potencial de hinchamiento-, suelos con materia orgánica, entre otros. Cuando la mecánica de suelos arroje CBR de subrasante inferior al de diseño, será el proyectista quien evaluará, en cada caso, la mejor solución en costo, rendimiento y facilidades constructivas en función del clima, tiempo de ejecución y mejor estándar de funcionamiento. Esto es fundamental para no paralizar la obra por indefiniciones que se pueden prever en la etapa de estudio.

ART. 2.5 RELLENOS

La ejecución de rellenos se debe realizar con material proveniente de la excavación o empréstito, que cumpla con las exigencias especificadas para el suelo de subrasante. El CBR mínimo exigible del material es el CBR de diseño de la subrasante.

El material de relleno no puede contener materias orgánicas, ni escombros. El material de relleno es aceptable si su CBR es mayor o igual que el considerado el diseño del proyecto.

El espesor de las capas del material de relleno, dependerá del tipo de suelo y del equipo de compactación a utilizar. Se recomienda usar como espesor máximo de la capa compactada: 0,15 m para suelos finos (arcilla-limo); 0,20 m para finos con granulares y 0,30 m para suelos granulares.

Se podrá aumentar el espesor de la capa a compactar, siempre y cuando se dispongan de maquinarias o equipos con tecnología suficiente que aseguren el cumplimiento de los parámetros de compactación. Para lo anterior se deberá presentar la debida justificación técnica de cumplimiento antes de su uso, señalando la potencia del equipo a emplear y demostrar que su utilización no causa daños a las instalaciones de servicios existentes y/o las instalaciones vecinas, lo que se debe verificar en terreno por los profesionales responsables, una vez en operación. Se debe asegurar que la densidad máxima de compactación se cumple en todo el espesor de la capa y no solo en la parte superior de esta.

En la formación de las diferentes capas de rellenos se pueden aceptar bolones de tamaño máximo igual a un medio (½) del espesor compactado de la capa y en una proporción tal que quede uniformemente distribuida, sin formar nidos ni zonas inestables. Las capas de rellenos se compactan al 95% de la D.M.C.S. del Proctor Modificado (NCh 1534/2) o al 80% de la densidad relativa, (NCh 1726), según corresponda.

ART. 2.6 PREPARACIÓN DE LA SUBRASANTE EN SUELO NATURAL

Una vez alcanzado el nivel de subrasante se procederá a la preparación de esta. Para tal efecto, el suelo se escarificará 0,20 m, aplicando agua en forma uniforme y controlada en todo el ancho y longitud de la zona a trabajar (el equipo de riego tiene un corte de riego controlado y absoluto. Cualquier equipo que no cumpla esta condición se retira de la obra) y se compacta a objeto de proporcionar una superficie de apoyo homogénea, con la excepción de suelos finos del tipo CH y MH, en que se cuida de no alterar la estructura original del suelo.

La compactación se realizará hasta obtener una densidad mayor o igual al 95% de la D.M.C.S. del Proctor Modificado, (NCh 1534/2), o al 80% de la densidad relativa, (NCh 1726), según corresponda.

El contratista deberá solicitar la recepción de esta partida a la fiscalización técnica de la obra antes de proceder a la colocación de la capa estructural siguiente. Para este efecto, se deberán presentar los resultados de ensayos de laboratorio realizados a la subrasante. Dicho laboratorio deberá contar con inscripción vigente en registros del Minvu.

La subrasante terminada deberá cumplir, además de la compactación especificada, con las cotas, pendientes y dimensiones establecidas en el proyecto.

En caso de detectar napas naturales, estas se tratarán y se guiará su escurrimiento fuera de la plataforma, con una solución visada por la Fiscalización. Así también, si hay otra fuente de agua o inundación, se proveerán medios de canalización que aseguren su evacuación de la plataforma.

ART. 2.7 PREPARACIÓN DE LA SUBRASANTE MEJORADA

2.7.1 CON REEMPLAZO DE MATERIAL

En los casos en que el proyecto de pavimentación especifique un mejoramiento del suelo natural, mediante el retiro y reemplazo de material no competente, se deberá usar como material de relleno, una mezcla homogénea de suelo natural, preparado con una composición de partículas de acuerdo a los porcentajes indicados en la granulometría del proyecto de mejoramiento. Previo a su colocación, el terreno natural se escarificará en un espesor mínimo de 0,20 m y se compactará al 95% de la densidad correspondiente a la D.MC.S. entregada por ensayo Proctor Modificado.

Se comprueba que antes de proceder a la colocación de la capa estructural siguiente, la subrasante mejorada cumpla, además de la compactación especificada, con las cotas, pendientes y espesores establecidos en el proyecto.

Una vez conformada la subrasante mejorada, se procede a su compactación hasta obtener una densidad mayor o igual al 95% de la D.M.C.S., obtenida por el ensayo del Proctor Modificado, (NCh 1534/2), o al 80% de la densidad relativa, (NCh 1726), según corresponda.

2.7.2 CON ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

En el caso de que los suelos naturales en sitio y los disponibles cercanos, no cumplan las exigencias para la subrasante, se deberá considerar su estabilización, de manera de mejorar sus propiedades según se haya indicado en las Especificaciones Técnicas del Proyecto.

Existen variadas alternativas para la estabilización de suelos que pueden ser utilizadas y que dependen del tipo de suelo, duración del proceso y el costo asociado.

Para la elección del material de estabilización de los suelos que conformarán la subrasante, referirse a los requerimientos dados en 2.9.

Para mayor información específica acerca de estabilización con cemento o cal y para estabilización química, revisar los Anexos Sección 2, Art. A.2.1 y A.2.2., respectivamente.

2.7.3 CON GEOTEXTILES

En el caso que el proyecto contemple el uso de geotextil, este deberá cumplir con las densidades, traslapos, anchos sobre la subrasante y longitudes que especifique el proyecto, de manera que el mejoramiento cumpla con los requerimientos establecidos.

ART. 2.8 CONTROLES

A continuación se describen los controles que se realizan a la subrasante en suelo natural, subrasante mejorada y rellenos.

2.8.1 GRANULOMETRÍA

Se deberá verificar la graduación de la mezcla resultante de subrasante (subrasante mejorada), según las indicaciones dadas en MC - V8 8.102.1.

Se recomienda realizar un ensayo cada 150 m^3 o 1 ensayo cada 300 ml de calzada.

2.8.2 CBR

Se deberá realizar el ensayo de CBR según las indicaciones de NCh 1852, con una muestra por calle o pasaje como mínimo. De detectarse heterogeneidad del suelo de subrasante o de rellenos, se toman CBR complementarios en otros puntos.

2.8.3 COMPACTACIÓN

2.8.3.1 DENSIDAD

Se deberá realizar un ensayo de densidad in situ, según las indicaciones de NCh 1516, cada 350 m^2 como máximo por capa o bien, como alternativa, cada 50 ml de calle o pasaje.

2.8.3.2 COMPACTACIÓN ESPECIFICADA

2.8.3.2.1 MODALIDAD DE COMPACTACIÓN

La compactación se realizará hasta obtener una densidad mayor o igual al 95% de la D.M.C.S. del Proctor Modificado, según NCh 1534/2, o al 80% de la densidad relativa, (NCh 1726), según corresponda.

2.8.3.2.2 CONTROL DE COMPACTACIÓN

Se controlará la compactación, preferentemente, a través del ensayo del cono de arena. Las pruebas se realizarán en terreno y con la presencia del fiscalizador cuando este así lo determine. En caso de emplear densímetros nucleares o densímetros no nucleares, estos deberán ser previamente contrastados con el ensayo del cono de arena por un laboratorio con inscripción vigente en registros del Minvu.

2.8.3.2.3 UNIFORMIDAD DE COMPACTACIÓN

En los casos en que se encuentre poca homogeneidad en los resultados del control de compactación, se realizará un control de uniformidad de la compactación, para lo cual se generará una cuadrícula uniforme de puntos de control, con un mínimo de 50 puntos por cuadra (cuadra de aproximadamente 110 m de longitud), cuidando que alguno de los puntos se encuentre aproximadamente a 50 cm de un punto de control de densidad, que cumpla con el estándar de compactación especificado.

En todas aquellas zonas en que se registre un valor de compactación inferior al de referencia, se repondrá localmente la compactación hasta lograr la compactación especificada.

2.8.4 CALIDAD

Las acciones de control de calidad deben ser realizadas por el laboratorio designado por el constructor. Este se deberá encontrar con inscripción vigente en los registros del Minvu.

ART. 2.9 ESTABILIZACION DE SUELOS QUE CONFORMAN LA SUBRASANTE

En este artículo se entregan los antecedentes generales que permiten emplear aditivos estabilizadores de suelos para la preparación de la subrasante. Cualquiera sea el material a usar como aditivo estabilizador, deberá demostrar su eficiencia en el cumplimiento de las exigencias indicadas en las especificaciones técnicas del proyecto y en los ensayos de calidad que se realicen.

2.9.1 GENERALIDADES

En muchas ocasiones los suelos existentes en obra, o los disponibles localmente, no cumplen los requisitos de calidad establecidos para las capas de subrasante, subbase o base. Lo anterior conlleva al desarrollo de un proceso de reemplazo o de mejoramiento de dichos suelos, de manera que estos alcancen los requisitos establecidos. Tal proceso recibe el nombre de estabilización de suelos y consiste principalmente en mejorar un suelo, estabilizando su fase sólida o esqueleto resistente, obteniéndose de esta manera, el aumento de su capacidad de soporte y la disminución de las deformaciones inducidas por solicitaciones externas.

La estabilización de suelos toma relevancia cuando los suelos del lugar o los disponibles localmente no cumplen con los requisitos establecidos en el proyecto, generando dificultades en la construcción, como puede ser el procesamiento o el transporte de materiales desde largas distancias. Es por lo anterior, que la estabilización de suelos permite el uso de materiales del lugar y puede ser aplicada tanto al reciclado de materiales como a construcciones nuevas.

Dentro de las técnicas de estabilización de un suelo se incluyen una serie de procesos anexados que hacen factible el aumento de sus capacidades. Es así como se pueden destacar: compactación, drenaje y protección contra erosión e infiltración de humedad. Sin embargo, la estabilización se ha restringido principalmente a la modificación en sí, del propio material, la cual se puede realizar a través de cementantes, impermeabilizantes, soluciones asfálticas, fillers (rellenos de poros) o por cambios en la graduación del suelo tratado.

La utilización de técnicas de estabilización permite la reutilización de suelos inicialmente no aptos, que luego de su estabilización cumplan las especificaciones exigidas. Es por ello que se disminuye el impacto al medioambiente, debido a la menor necesidad de la explotación de recursos de empréstitos y de necesidades de transporte extensivo, lo que se traduce en una menor alteración del entorno a una obra vial.

2.9.2 BENEFICIOS DE LA ESTABILIZACIÓN

Las técnicas de estabilización permiten mejorar en forma total o parcial las propiedades de un suelo, por medio de un conjunto de tratamientos y técnicas implementadas en la ejecución de la vía. Sin embargo, una estabilización podría verse afectada por una gran variedad de suelos y composiciones diferentes, haciendo que cada método sea aplicable a un número limitado de ellos. En cualquier caso, es recomendable que el procedimiento a aplicar sea económico y compatible con el suelo a tratar.

Toda estabilización de suelos, al mejorar sus propiedades, permite obtener los siguientes beneficios o ventajas:

- Mejoramiento de materiales marginales, es decir, materiales que no son utilizados por sus bajas propiedades de resistencia y cohesión.
- Mejoramiento de la resistencia del suelo.
- Aumento de la durabilidad.
- Control de las deformaciones volumétricas del suelo.
- Reducción de los requerimientos de espesor de los pavimentos.
- Aumento de la impermeabilidad del suelo.
- Reducción del polvo.

La optimización de materiales trae como consecuencia un menor impacto ambiental.

2.9.3 TIPOS DE AGENTES ESTABILIZADORES

Hoy en día, en el mundo se utilizan una variada gama de agentes estabilizadores. Estos incluyen compuestos químicos tales como: cloruro de calcio, polímeros y productos derivados del petróleo (aceites sulfonados) y agentes ligantes más convencionales, como cemento, cal y asfalto. Todos ellos apuntan a alcanzar el mismo objetivo: ligar las partículas individuales de agregado para incrementar la resistencia y/o hacer el material más resistente al agua. Algunos son más efectivos, otros tienen claras ventajas de costo, pero todos tienen un lugar en el mercado.

Debido a la gran variedad y la constante innovación en el campo de productos estabilizantes, cuando se decida qué agente estabilizador se empleará, hay que tener presente las siguientes variables, en el orden de importancia que se dan a conocer:

Precio: El costo unitario de estabilizar (normalmente expresado en términos de costo por metro cuadrado de superficie completada).

Disponibilidad de Agentes Estabilizadores Específicos: Puede que no estén disponibles en algunos lugares (regiones y sectores remotos).

Características del Material: Algunos agentes estabilizadores son más efectivos que otros en ciertos tipos de materiales. Por ejemplo, la cal debiera ser preferida por sobre el cemento para suelos de alta plasticidad (IP > 10).

Los agentes estabilizadores como el cemento y, en un grado menor, los derivados del asfalto, han sido ampliamente estudiados. Estos son usados extensamente y los métodos estándar de ensayos están disponibles para determinar diseños óptimos de mezclas y requerimientos de garantía de calidad. Además, tanto el cemento como el asfalto tienen una gran utilización en la industria de la construcción y están generalmente disponibles. Lo anterior conlleva a que estos agentes alcancen una gran popularidad dentro del campo de los estabilizadores.

Los materiales granulares, no estabilizados en pavimentos flexibles, exhiben un comportamiento dependiente del nivel de tensiones. Esto significa que, cuando se confinan en una capa de pavimento, la rigidez efectiva aumenta o disminuye con el incremento del estado de carga. Cuando los materiales son repetidamente cargados a niveles de tensiones que superan su resistencia última, se presentan deformaciones de corte (cizalle) que se traducen en ahuellamiento. Al añadir un agente estabilizador, se ligan las partículas del material, cambiando el comportamiento bajo carga, a tal nivel que una capa de material estabilizado se comporta de forma similar a una losa con distintos patrones de tensiones.

Los agentes estabilizadores cementicios aportan rigidez, mientras que los agentes asfálticos tienden a producir un material relativamente flexible. El material cementicio es propenso a la retracción, que se manifiesta en un agrietamiento en bloque de la capa cuando se somete a cargas repetidas, mientras que los materiales ligados con asfalto tienden a ser más blandos, con mejores propiedades elásticas, tendiendo a deformarse bajo carga. Sin embargo, en la fibra inferior de las capas de material ligado se generan tensiones de tracción cuando el pavimento se deforma bajo carga. Las cargas cíclicas causan que el material sufra una falla por fatiga (o agrietamiento de abajo hacia arriba) y el tipo de agente ligante es uno de los determinantes más importantes en el número de repeticiones que una capa puede soportar, antes de que se desarrolle el agrietamiento.

2.9.3.1 AGENTES ESTABILIZADORES CEMENTANTES

La cal, el cemento y mezclas de estos productos con cenizas volantes, escoria de alto horno y otros materiales puzolánicos, son los agentes estabilizadores más utilizados. La función primaria de estos agentes es aumentar la capacidad de soporte.

La cal es el agente estabilizador más adecuado para materiales más plásticos. La cal liberada durante el proceso de hidratación reacciona con las partículas arcillosas en los suelos plásticos, reduciendo esa característica. El uso reactivo de mezclas de suelo con cemento puede, sin embargo, estar limitado al tratamiento de materiales con índice de plasticidad menor que 12 (IP < 12).

La resistencia adquirida está determinada por la cantidad del agente estabilizador agregado y el tipo de material que se está tratando. En algunas ocasiones, y en especial para algunos materiales, el agregar más cemento para aumentar la resistencia puede ser perjudicial para el desempeño de la capa. El material tratado con un agente estabilizador cementado tiende a ser relativamente frágil, luego el aumentar la resistencia hace que el material sea aún más frágil, con la consecuente reducción en la flexibilidad de la capa estabilizada. Esto lleva inevitablemente a una proliferación de las grietas ante cargas repetitivas de tráfico (especialmente cargas pesadas), reduciendo así el desempeño estructural. Es por ello que es muy importante que los criterios de desempeño de la capa estabilizada sean objetivos y que se realice un diseño adecuado, basado en muestras representativas para determinar la tasa correcta de aplicación.

2.9.3.2 AGENTES ESTABILIZADORES ASFÁLTICOS

Debido a los grandes avances tecnológicos, el uso del asfalto como agente estabilizador ha incrementado enormemente su aplicación, principalmente aplicado en forma de emulsión o en forma de espuma de cemento asfáltico (asfalto espumado).

Estabilizar con asfalto es una manera efectiva, desde el punto de vista de los costos, de mejoramiento de resistencia de un material y, al mismo tiempo, de reducción de los efectos perjudiciales del agua. Este tipo de estabilización es más flexible que aquella en que el material es tratado con un agente cementante.

El material estabilizado con asfalto, con menos de 1,5% en peso de cemento asfáltico, no sufre del fenómeno de agrietamiento por retracción y puede ser abierto al tránsito inmediatamente debido a su resistencia inicial, lo cual previene la pérdida de áridos superficial o desgaste bajo la acción del tráfico. Sin embargo, mientras el material adquiere resistencia y se produce el proceso de curado, es recomendable que los vehículos pesados (incluyendo a los compactadores) no se estacionen en la capa terminada.

Para la utilización de una emulsión asfáltica en un proceso de estabilización aplicado sobre materiales granulares, las probetas de muestra son fabricadas usando una compactación tipo Proctor y todos los procedimientos de mezclas emplean las propiedades de resistencia para determinar el nivel de aplicación requerido. Siendo esencialmente un material granular mejorado, las capas de pavimentos construidas de material estabilizado con asfalto poseen espesores mayores a 100 mm.

Estabilizar con un agente asfáltico crea un material estabilizado que no tiene la apariencia de un pavimento de asfalto. Típicamente, una base de asfalto de graduación continua presenta un contenido de vacíos entre un 3 y un 6%, y cada partícula es cubierta con una capa de asfalto delgada, actuando como un “adhesivo de contacto”. El material estabilizado con asfalto, está caracterizado por la dispersión de asfalto, principalmente entre las partículas finas. Por lo tanto, se conforma un material granular con una matriz rica en asfalto. El contenido real de vacíos de este material, después de compactado, es rara vez menor que 10% y la resistencia bajo carga tiende a ser tomada en parte por la fracción granular, que es capaz de resistir tensiones de compresión/aplastamiento o “crushing”, debido a la fricción inter–partícula y en parte por la matriz fina estabilizada, la cual presenta un comportamiento viscoelástico, capaz de resistir tensiones de tracción repetidas. Es por esto que se considera un material híbrido.

Ciertos materiales marginales tratados con un agente estabilizador no conservan en forma satisfactoria sus propiedades resistentes (por ejemplo, pierden resistencia al sumergirlos en agua). Esto puede ser enfrentado con la adición de un filler activo, como cal hidratada o cemento. En pequeñas cantidades el filler activo (0,5 a 1,5% en masa) puede producir un aumento significativo de la resistencia retenida sin afectar las propiedades de fatiga de la capa.

2.9.3.3 AGENTES ESTABILIZADORES QUÍMICOS

Pese a la gran variedad de productos químicos que existen en el mercado, tales como cloruro de sodio, cloruro de magnesio (bischofita) y otros, su utilización en obras viales es muy reducida comparada con el uso del asfalto, cal y cemento (estabilizadores tradicionales). Esto se produce principalmente porque los beneficios y ventajas económicas de la mayoría de estos productos no han sido verificados en extenso mediante investigaciones de laboratorio y pruebas en terreno. Además, en general, la durabilidad de estos productos es de corto y mediano plazo; en ningún caso su ciclo de vida es superior al de los estabilizadores tradicionales.

En vías de ripio y tierra, la gran mayoría de los compuestos químicos son utilizados principalmente para suprimir el polvo, reducir la formación de deterioros superficiales (baches, calamina, otros) y para mejorar la interacción del agua con el suelo. Pero a diferencia de los estabilizadores tradicionales, esto es consecuencia del pegado de las partículas finas del suelo o de la reducción de la permeabilidad o capacidad de absorción de agua del suelo estabilizado.

Hay que destacar que algunos compuestos químicos también producen cementación del suelo, pero en menor grado que el efecto producido por el cemento o la cal. Es recomendable que el proveedor del estabilizador químico asegure y certifique que su producto no daña el medioambiente. La certificación estará a cargo de un organismo internacional reconocido o por la autoridad sanitaria competente.

2.9.4 EFECTOS DE LOS ESTABILIZADORES SOBRE EL MEDIOAMBIENTE

Es preciso destacar que cualquiera que sea el estabilizador a emplear se requiere espacio suficiente para que equipos como motoniveladoras u otros puedan operar revolviendo y homogeneizando el suelo, previo a su depósito en el lugar definitivo, lo cual genera efectos negativos considerables en el contorno urbano, especialmente cuando hay viviendas habitadas.

2.9.4.1 CONSIDERACIONES AMBIENTALES EN LA ESTABILIZACIÓN CON CAL Y CEMENTO

La utilización de estas técnicas conlleva a la reutilización del suelo, lo que disminuye el impacto al medioambiente, debido a la menor necesidad de la explotación de recursos de empréstitos.

En el caso específico del cemento, se recomienda cuidar la ejecución de obras cuando estas se realizan ante la presencia de vientos relativamente excesivos, ya que esto puede perjudicar el entorno al producirse la dispersión de las partículas por el aire, afectando directamente a las personas que habitan ese lugar.

En el caso de la cal, la contaminación producida por el polvo durante su incorporación se agrava seriamente cuando los trabajos se llevan a cabo en zonas urbanas y aún más, si existe presencia de vientos.

La cal, en particular la cal viva, es un material alcalino en presencia de humedad. Se recomienda que los trabajadores que la manipulan sean entrenados y usen el equipo apropiado. De lo contrario, la cal puede causar:

- Irritación severa de los ojos o quemaduras, incluyendo daño permanente.
- Irritación y quemaduras en la piel, debe evitarse el contacto prolongado con la piel sin protección.
- Irritaciones por inhalación del polvo de cal, contaminación de vías respiratorias tanto de personas que la manipulan, como aquellas que estén en el entorno.

Se debe tener especial cuidado en la mezcla accidental de cal viva y agua (en cualquier forma, incluyendo sustancias químicas que contienen agua de hidratación), y así evitar calor excesivo. El calor liberado por esta reacción puede encender materiales combustibles o causar daños en el entorno (personas, propiedades y medioambiente en general).

Una alternativa para evitar la formación de polvo, obteniendo de esta manera un enorme beneficio sobre el medioambiente, es la utilización del equipo mezclador móvil-estabilizador. Con este, además de evitar la contaminación del entorno, se disminuye la pérdida económica que se produce por el desaprovechamiento de la cal que se va en forma de polvo.

En términos generales, se puede decir que las técnicas de estabilización tanto con cemento como con cal, alivian el problema de la limitación de recursos y su respectivo impacto sobre el medioambiente, obteniéndose ventajas considerables, como son:

- La no utilización de materiales de empréstitos.
- Se evitan operaciones de transporte y acopio, no produciéndose ruidos molestos por los camiones y generando una menor contaminación por funcionamiento de motores (plantas y camiones).
- Mejor aprovechamiento de terrenos marginados.
- Mejor gestión de los recursos naturales.

2.9.4.2 CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES GENERALES EN LA ESTABILIZACIÓN QUÍMICA

Hoy en día, existe un sinnúmero de productos químicos que sirven para mejorar las condiciones de soporte de una vía, así como para eliminar la emisión de polvo. Sin embargo, los efectos ambientales no difieren de manera importante a los ya citados para las técnicas que utilizan tanto cal como cemento.

Por lo anterior, se puede señalar que la estabilización con productos químicos contribuye al mejoramiento del suelo natural sin necesidad de recurrir al movimiento de materiales de empréstitos, lo cual colabora con el medioambiente, ya que estos materiales son cada vez más limitados.

Es preciso comprobar que las tecnologías químicas tengan un impacto neutro en los suelos tratados y en el entorno de estos, lo cual se puede verificar mediante técnicas de "Difracción de Rayos X" y "Lixiviación", aplicadas a suelos en estado natural y tratados con el estabilizador químico, demostrando que no existe contaminación. La técnica de "Lixiviación" se puede hacer según Norma NLT 326: "Ensaye de Lixiviación para materiales para carreteras".

En casos particulares (sales) se recomienda considerar que la zona destinada al acopio del agente estabilizador no se encuentre a menos de 10 m de cualquier tipo de canalización de agua, ya que esta puede verse alterada. Además, que se considere remover cualquier sobrante del agente al finalizar la faena, para evitar la alteración del entorno.

Es preciso emplear la NCh 2505 para verificar que las propiedades del agente químico cumplan lo establecido en las características proporcionadas en la especificación del fabricante, la cual establece los ensayos a aplicar para verificar el desempeño del suelo tratado.

2.9.5 SELECCIÓN DE ESTABILIZADORES

La selección de los estabilizadores depende fundamentalmente del propósito que tenga su aplicación, distinguiéndose entonces, si los requerimientos son de tipo estructural o simplemente su empleo es para eliminación de polvo en la vía.

Las características del suelo que se va a estabilizar orientan en la selección del estabilizador, por lo cual se requiere un mínimo de ensayes para determinar qué estabilizador se empleará. Entre los parámetros que se pueden considerar para su caracterización, se destacan: clasificación del suelo, granulometría, propiedades índice y, para cuantificar la mejora estructural de la estabilización, es conveniente disponer de un ensaye de CBR.

Una de las metodologías de selección usual del agente estabilizador se basa en la relación entre el porcentaje de material que pasa por la malla Nº 200 y el índice de plasticidad, como se muestra en la Tabla 2.1.

En Tabla 2.2 se puede seleccionar el estabilizador de acuerdo a objetivo y tipo de suelo.

El proceso de estabilización con asfalto se logra cuando este último se localiza en torno a las partículas, mejorando de esta forma la cohesión e impermeabilización del suelo.

Por otra parte, en suelos no cohesivos (arenas y gravas), se desarrollan dos mecanismos: la impermeabilización y la adherencia. El primero se desarrolla de manera similar al de los suelos finos. El segundo corresponde a la unión de las partículas de agregados con asfalto, consiguiéndose el aumento de la resistencia al corte, ya que entrega cohesión.

La estabilización en suelos finos depende de sus características de plasticidad y del porcentaje de suelo que pasa por la malla Nº 200 (0,08 mm). Debido a que este tipo de partículas tienen una alta superficie específica, la cantidad de asfalto requerida para cubrirlas todas es excesiva y, por lo tanto, un tratamiento con asfalto solo recubre aglomeraciones de partículas con porcentajes menores de asfalto.

TABLA 2.1
SELECCIÓN DE ESTABILIZANTES SEGÚN % QUE PASA POR MALLA Nº 200 Y EL ÍNDICE DE PLASTICIDAD (*)

	MAYOR QUE 25% PASANDO POR TAMIZ Nº200			MENOR QUE 25% PASANDO POR TAMIZ Nº200		
Índice de Plasticidad	IP ≤ 10	10 ≤ IP ≤ 20	IP ≥ 20	IP ≤ 6 (IP x % pasando en Nº200 ≤ 60)	IP ≤ 10	IP ≥ 10
Agente Estabilizador						
Emulsión Asfáltica	Cuestionable	Cuestionable	Normalmente no apropiado	Normalmente apropiado	Normalmente apropiado	Cuestionable
Asfalto Espumado	Cuestionable	Cuestionable	Cuestionable	Normalmente apropiado	Normalmente apropiado	Normalmente apropiado
Cemento	Normalmente apropiado	Cuestionable	Normalmente no apropiado	Normalmente apropiado	Normalmente apropiado	Normalmente apropiado
Cal	Normalmente no apropiado	Normalmente apropiado	Normalmente apropiado	Normalmente no apropiado	Cuestionable	Normalmente apropiado
Químico	Normalmente no apropiado	Normalmente apropiado	Normalmente apropiado	Normalmente no apropiado	Cuestionable	Normalmente apropiado
Mecánica	Normalmente apropiado	Normalmente no apropiado	Normalmente no apropiado	Normalmente apropiado	Normalmente apropiado	Cuestionable

Normalmente no apropiado — Cuestionable — Normalmente apropiado

(*) Es una adaptación extraída de documento Estabilización de Suelos G. Hicks 2002

TABLA 2.2
MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN (**)

OBJETIVO	TIPO DE SUELO	MÉTODO DE ESTABILIZACIÓN RECOMENDADO
1. Estabilización subrasante		
1.1 Mejora de distribución de cargas y esfuerzos.	Granular grueso Granular fino Arcillas de bajo IP Arcillas de alto IP	SA, SC, MB SA, SC, MB SC, SL SL
1.2 Reduce la suceptibilidad a helada.	Granular fino Arcillas de bajo IP	SA, SC, LF SC, SL
1.3 Impermeabilizar y mejorar la escorrentía.	Arcillas de bajo IP	SA, SL
1.4 Control de contracción e hinchamiento	Arcillas de bajo IP Arcillas de alto IP Arcillas de alto IP	SC, SL SL SL
1.5 Reduce elasticidad	Limos y arcillas elásticas	SC
2. Estabilización base gruesa		
2.1 Mejora de materiales de baja calidad	Granular fino Arcillas de bajo IP	SC, SA, LF, MB SC, SL
2.2 Mejora de la distribución de cargas y esfuerzos	Granular grueso Granular fino	SA, SC, MB, LF SC, SA, LF, MB
2.3. Reducción del bombeo	Granular fino	SC, SA, LF, MB
3. Aceras		
3.1 Mejorar la resistencia de carga	Todos los suelos	SA, SC, MB SA, SC, MB SC, SL SL
3.2 Mejorar la durabilidad	Todos los suelos	SA, SC, MB SA, SC, MB SL, LMS
3.3 Impermeabilización y es correntía	Suelos plásticos	CMS, SL
3.4 Control de contracción e hinchamiento	Suelos plásticos	SC
4. Atenuar el polvo		
	Granular fino Suelos plásticos	CL, SA CL, SL
5. Recubrimiento de zanjas		
	Granular fino Suelos plásticos	CS, SA CS
6. Rehabilitación y reconstrucción		
	Suelo granular	SC, SA, LF, MB

Simbología	
CL: Cloruros CS: Solidificante químico LF: Cenizas - cal MB: Mezcla mecánica	SA: Suelo asfalto SC: Suelo cemento SL: Suelo cal

(**) Es una adaptación de tabla de documento de US Army Corps Soil Stabilizations

SECCIÓN 03
BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

SECCIÓN 03

BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

ART. 3.1 DEFINICIÓN

Se define como subbase de pavimentos a la capa de agregados pétreos, convenientemente graduados y compactados, que cumplen las especificaciones técnicas generales y especiales del proyecto, colocada sobre la subrasante ya preparada y recepcionada conforme, según las consideraciones indicadas en la Sección 2 y sobre la cual se construye la base.

Se define como base, a la capa de agregados pétreos compactados bien graduados y provenientes de un proceso de producción mecanizada de trituración y selección y que puede incorporar o no, un agente estabilizador. La capa de base se construye sobre la subbase y sobre ella se construye la capa de rodado.

ART. 3.2 SUBBASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Su ejecución se ajusta a lo establecido en los apartados siguientes:

3.2.1 MATERIALES

El material a utilizar debe ser homogéneo, libre de grumos o terrones de arcilla, materiales vegetales o de cualquier otro material perjudicial.

3.2.1.1 GRANULOMETRÍA

La subbase está constituida por mezclas de agregados granulares y finos, de tal manera que estén comprendidos en cualquiera de las siguientes bandas de la Tabla 3.1.

TABLA 3.1
BANDAS GRANULOMÉTRICAS PARA MATERIALES DE SUBBASES

TAMIZ [mm]	% que pasa en peso	
	Banda 1	Banda 2
50	100	100
40		70-85
25	55-100	55-85
20		45-75
10	30-75	35-65
5	20-65	25-55
2	10-50	15-45
0.5	5-30	5-25
0.08	0-10	0-10

3.2.1.2 CONDICIONES DE FILTRO

Es recomendable que la subbase cumpla las siguientes condiciones de filtro: (esta condición es ratificada y certificada en laboratorio).

$$1)\ \frac{D15_Subbase}{D85_Subrasante} \leq 5$$

$$2)\ D15_Subbase \geq 0,42mm$$

$$3)\ \frac{D50_Subbase}{D50_Subrasante} \leq 25$$

$$4)\ \frac{D15_Subbase}{D15_Subrasante} \geq 5$$

Siendo:
DN = diámetro de la abertura del tamiz en que pasa N% del material.

El constructor propone y asegura el suministro (antes de iniciar la obra) de un material que cumpla con una curva característica para la subbase, y esta, durante la obra, puede tener una tolerancia de +/- 10% para tamices sobre 5 mm y de +/- 4% para tamices inferiores, es decir, la uniformidad se controla en obra en función de una banda de trabajo preestablecida, la cual no se puede cambiar.

3.2.1.3 REQUISITOS DE CALIDAD DE LOS AGREGADOS

En la construcción de subbases granulares, los agregados pétreos deben cumplir además, con los siguientes requisitos de calidad:

3.2.1.3.1 LÍMITES DE ATTERBERG

Para la fracción fina de los agregados (que pasa por tamiz 5 mm):

- Límite Líquido (L.L.) (NCh1517/1) : 35 máx.
- Índice de plasticidad (I.P.)(NCh1517/2) : 8 máx.

3.2.1.3.2 RESISTENCIA AL DESGASTE

El agregado grueso (retenido en tamiz 5 mm) debe tener un desgaste inferior a un 40% (NCh 1369)

3.2.1.3.3 RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (CBR)

El CBR será igual o superior al 40% (NCh 1852) y se mide a 0.2" de penetración en una muestra saturada y previamente compactada a una densidad igual o superior al 95% de la D.M.C.S., obtenida en el ensayo Proctor Modificado (NCh 1534/2).

En zonas donde la precipitación media anual sea inferior a 50 mm, el ensayo de CBR se ejecuta sobre muestras no saturadas, siempre que sea autorizado previamente por el fiscalizador.

3.2.1.3.4. ZONAS DE HELADAS

Se exige:

- Límite Líquido (L.L.) (NCh. 1517/1): 25 máx.
- Desintegración por sulfato de sodio, porcentaje medio ponderado (NCh1328): 12% máx.

3.2.2 COMPACTACIÓN

3.2.2.1 DENSIDAD

La subbase se compacta hasta obtener una densidad no inferior a un 95% de la D.M.C.S., obtenida en el ensayo Proctor Modificado (NCh 1534/2).

3.2.2.2 TOLERANCIA DE ESPESOR Y TERMINACIÓN SUPERFICIAL

Se acepta una tolerancia máxima de terminación de -10 mm. En puntos aislados, se acepta hasta un 5% menos del espesor de diseño.

3.2.3 CONTROLES

3.2.3.1 CONFECCIÓN Y COLOCACIÓN

El Fiscalizador verifica que:

- La confección de la subbase se ejecute en plantas procesadoras fijas o móviles, que aseguren la obtención de material que cumpla con los requisitos establecidos.
- El material se acopie en canchas habilitadas especialmente para este efecto, de manera que no se produzca contaminación ni segregación de los materiales.
- La subbase granular debidamente preparada, se extienda sobre la subrasante de la vía, mediante equipos distribuidores autopropulsados, de manera que quede el material listo para ser compactado, sin necesidad de mayor manipulación para obtener el espesor, ancho y bombeo especificado. Alternativamente, el material puede transportarse y depositarse sobre la subrasante, formando pilas que den un volumen adecuado para obtener el espesor, ancho y bombeo especificado. En este último caso, los materiales apilados se mezclan por medios mecánicos hasta obtener la homogeneidad y humedad necesarias, tras lo cual se extienden uniformemente.
- Se aplique agua en forma uniforme y controlada en todo el ancho y longitud de la zona a trabajar (el equipo de riego, tiene corte de riego controlado y absoluto, cualquier equipo que no cumpla esta condición es retirado de la obra).
- La subbase se construya por capas de espesor compactado no superior a 0,30 m ni inferior a 0,12 m. Espesores superiores a 0,30 m, se extienden y compactan en capas. El material extendido, al ser de una granulometría uniforme, no presenta bolsones o nidos de materiales finos o gruesos.
- Si la subbase es de igual calidad que la base, la recepción se hace en forma independiente.

3.2.3.2 COMPACTACIÓN

3.2.3.2.1 DENSIDAD

Se verifica que la subbase se encuentre compactada al 95% de la densidad del Proctor modificado (NCh 1534/2).

3.2.3.2.2 ENSAYOS
En la capa de subbase, se efectúa un ensayo de densidad (NCh 1516) cada 350 m^2 como máximo. Como alternativa se puede efectuar uno cada 75 ml de calzada de calle o pasaje.

La compactación se controla preferentemente a través del ensayo del cono de arena. En el caso de emplear densímetro nuclear o densímetro no nuclear, para validar sus resultados, estos deberán ser previamente contrastados con el procedimiento del cono de arena. Dicha contrastación deberá ser realizada por un laboratorio oficial inscrito en los registros del Minvu.

3.2.3.2.3 UNIFORMIDAD DE COMPACTACIÓN
En caso que la fiscalización encuentre poco homogénea la uniformidad de la compactación del material de subbase, solicitará al autocontrol de la empresa del constructor, un control de uniformidad de la compactación. Para lo anterior se genera una cuadrícula uniforme de puntos de control con un mínimo de 50 puntos por cuadra (cuadra de aproximadamente 110 m longitud), cuidando de que alguno de los puntos se encuentren aproximadamente a 50 cm de un punto de control de densidad, que cumpla con el estándar de compactación especificado.

En aquellas zonas en que se registre un valor de compactación inferior al de referencia, se repone localmente la compactación hasta lograr la compactación especificada.

3.2.3.3 REQUISITOS DE CALIDAD DE LOS AGREGADOS

3.2.3.3.1 RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (CBR)
Un ensayo por obra (NCh 1852) si el material proviene de una planta de áridos fija o uno por lugar de procedencia.

3.2.3.3.2 GRADUACIÓN Y LÍMITES DE ATTERBERG
Un ensayo por obra si el material proviene de una planta de áridos fija o uno por lugar de procedencia, empleando las siguientes normas según corresponda: NCh 1517/1 y NCh 1517/2. Además se verifica cumplimiento de las condiciones de filtrado.

3.2.3.3.3 RESISTENCIA AL DESGASTE
Un ensayo, según la NCh 1369, por obra si el material proviene de una planta de áridos fija o uno por lugar de procedencia.

3.2.4 CALIDAD
Las acciones de control de calidad deben ser realizadas por un laboratorio con inscripción vigente en los registros del Minvu.

Se podrá aceptar como material de subbase, el mismo material que se especifique para la base granular, si en el entorno de la obra no sea posible conseguir el material para esta capa. El cambio de material deberá ser autorizado por el fiscalizador y será de exclusiva responsabilidad del constructor, debiendo respetar los espesores del diseño estructural. Si la subbase es de las mismas características y de igual calidad que la base, la recepción se hace en forma independiente, es decir, por separado base y subbase.

ART. 3.3 BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Su ejecución se ajusta a lo establecido en los apartados siguientes:

3.3.1 MATERIALES
El material a utilizar está constituido por un suelo del tipo grava arenosa. Se define como base una capa de agregados pétreos muy bien graduados y provenientes de un proceso de producción mecanizado de chancado y selección, homogéneamente revuelto, libre de grumos o terrones de arcilla, de materiales vegetales o de cualquier otro material perjudicial.

3.3.1.1 GRANULOMETRÍA
La base debe estar constituida por mezclas de agregados granulares y finos, realizadas en una planta mecanizada de chancado y selección, de tal manera que la granulometría esté comprendida en cualquiera de las bandas de la Tabla 3.2.

TABLA 3.2
BANDAS GRANULOMÉTRICAS BASE GRANULAR

TAMIZ [mm]	% que pasa en peso			
	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4
40	100	100	100	100
25	55-85	100	70-100	80-100
20	45-75	75-100	60-90	-
10	35-65	50-80	40-75	50-80
5	25-55	35-60	30-60	35-65
2	15-45	20-40	15-45	25-50
0.5	5-25	8-22	10-30	10-30
0.08	0-5	0-10	0-15	5-15

La fracción que pasa por la malla Nº 200 (0,08 mm) no debe ser mayor a los 2/3 de la fracción del agregado que pasa por la malla Nº 40 (0,5mm). La fracción que pasa la malla Nº 4 (5mm) puede estar constituida por arenas naturales o trituradas.

Se fija como tolerancia de la banda, +/- 7% para los gruesos y +/- 3% para el fino, con límite en la malla N°200 (0,08 mm).

Se debe cuidar que la banda a utilizar, proporcione a la base granular, las características necesarias para dar cumplimientos a todos los requisitos que se establecen en este Código, como por ejemplo el CBR mínimo.

3.3.1.2 CONDICIONES DE FILTRO
La base granular cumple las siguientes condiciones de filtro, las cuales son ratificadas y certificadas en laboratorio (ya que es parte de la teoría de diseño estructural, nunca ha sido exigida y es muy probable que las fallas en muchos pavimentos sean por no cumplir esta condición):

$$1)\ \frac{D15_Base}{D85_Subbase} \leq 5$$

$$2)\ D15_Base \geq 0,42mm$$

$$3)\ \frac{D50_Base}{D50_Subrasante} \leq 25$$

$$4)\ \frac{D15_Base}{D15_Subrasante} \geq 5$$

3.3.1.3 REQUISITOS DE CALIDAD DE LOS ÁRIDOS

3.3.1.3.1 PARTÍCULAS CHANCADAS

El porcentaje de partículas chancadas, con a lo menos 2 caras fracturadas debe ser igual o mayor que el 70%.

3.3.1.3.2 GRANULOMETRÍA Y LÍMITES DE ATTERBERG

El material debe cumplir con una de las bandas de la Tabla 3.2 y sus respectivas tolerancias y que a su vez la fracción del material que pasa la malla N° 40 (0.5mm) deberá tener un límite líquido inferior a 25% y un índice de plasticidad inferior a 6 o No Plástico (NP). Los ensayos se realizan según corresponda con las normas: MC - V8 8.102.1.a, NCh 1517/1 y NCh 1517/2.

Elegida la banda de trabajo por el contratista y autorizada por el fiscalizador, esta no podrá cambiarse, salvo que exista alguna razón fundada que justifique su cambio.

3.3.1.3.3 RESISTENCIA AL DESGASTE

De acuerdo a este ensayo (NCh 1369), el agregado grueso debe tener un desgaste inferior a un 35%.

3.3.1.3.4 RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA

El CBR debe ser superior a 80% en las bases para pavimentos asfálticos, compuestos de carpeta asfáltica y binder cuyo espesor total de las capas asfálticas supere o iguale los 10 cm (NCh 1852).

Para pavimentos asfálticos cuya estructura cuente con sola una carpeta asfáltica (o de contar con dos, estas no superen los 10 cm de espesor), el CBR debe ser igual o superior al 100% (NCh 1852). Sin perjuicio de lo indicado, en el caso que no sea posible alcanzar CBR 100%, el espesor de carpeta asfáltica debe fundamentarse de acuerdo a los métodos de diseño del presente Código, considerando llegar a un espesor mínimo de 10 cm.

El CBR se mide a 0.2" de penetración, en una muestra saturada y previamente compactada a una densidad mayor o igual al 95% de la D.M.C.S., obtenida en el ensayo Proctor Modificado, (NCh 1534/2), o al 80% de la densidad relativa (NCh 1726), según corresponda.

En zonas donde la precipitación media anual sea inferior a 50 mm, el ensayo de CBR se ejecuta sobre muestras no saturadas, siempre que sea autorizado previamente por el fiscalizador.

3.3.1.3.5 EQUIVALENTE DE ARENA

Debe tener un valor mínimo de 50%, según NCh1325.

3.3.1.3.6 PORCENTAJE DE SALES SOLUBLES TOTALES

Este porcentaje no debe superar un 4%, según NCh1444/1.

3.3.1.3.7 ZONAS HELADAS

Se debe cumplir con un porcentaje medio ponderado de 12% máx. para la desintegración por Sulfato de Sodio, según NCh 1328 y un 0% de finos bajo la malla 200.

3.3.2 COMPACTACIÓN

3.3.2.1 DENSIDAD

La base granular se compacta hasta obtener una densidad no inferior al 95% de la D.M.C.S., obtenida en el ensayo Proctor Modificado (NCh 1534/2), o al 80% de la densidad relativa (NCh 1726), según corresponda.

3.3.2.2 TOLERANCIA DE ESPESOR Y TERMINACIÓN SUPERFICIAL

Se acepta una tolerancia de terminación máxima de -8 mm. En puntos aislados, se acepta hasta un 5% menos del espesor de diseño.

3.3.3 CONTROLES

3.3.3.1 CONFECCIÓN Y COLOCACIÓN

El Constructor debe demostrar que para la obra se verifica que:

- La confección de la base se ejecute en plantas procesadoras fijas o móviles, que aseguren la obtención de material que cumpla con los requisitos establecidos.
- El material se acopie en canchas habilitadas especialmente para este efecto, de manera que no se produzca contaminación ni segregación de los materiales.
- La base granular debidamente preparada, se extienda sobre la plataforma de la vía, mediante equipos distribuidores autopropulsados, quedando así el material listo para ser compactado, sin necesidad de mayor manipulación, para obtener el espesor, ancho y bombeo deseado. Alternativamente, el material puede transportarse y depositarse sobre la plataforma de la vía, formando pilas que den un volumen adecuado para obtener el espesor, ancho y bombeo especificado. En este último caso, los materiales apilados se mezclan por medios mecánicos hasta obtener la homogeneidad y humedad necesaria, tras lo cual se extienden uniformemente.
- Se aplica agua en forma uniforme y controlada en todo el ancho y longitud de la zona a trabajar (el equipo de riego, tiene corte de riego controlado y absoluto, cualquier equipo que no cumpla esta condición se retira de la obra).
- La base se construye por capas de espesor compactado no superior a 0,30 m ni inferior a 0,15 m. Espesores superiores a 0,30 m, se extienden y compactan en capas. El material que se extiende es de una granulometría uniforme, por lo que no presenta bolsones o nidos de materiales finos o gruesos.
- Si la subbase es de igual calidad que la base, la recepción se hace en forma independiente, es decir, por separado base y subbase.

3.3.3.2 COMPACTACIÓN
Además se verifica:

A. Densidad
En la capa de base granular se efectúa un ensayo de densidad (NCh 1516) cada 350 m^2 como máximo. Como alternativa se puede efectuar uno cada 50 ml de calzada de calle o pasaje.

Se controla la compactación preferentemente a través del ensayo del cono de arena. En el caso de emplear densímetro nuclear o no nuclear, para validar sus resultados, estos deberán ser previamente contrastados con el procedimiento del cono de arena. Dicha contrastación deberá ser realizada por un laboratorio oficial, inscrito en los registros Minvu.

B. Uniformidad de compactación
En caso que el fiscalizador encuentre poco homogénea la uniformidad de la compactación del material, solicitará al autocontrol del constructor, un control de uniformidad de la compactación, para lo cual se generará una cuadrícula uniforme de puntos de control, con un mínimo de 50 puntos por cuadra (cuadra de aproximadamente 110 m longitud), cuidando de que alguno de los puntos se encuentre aproximadamente a 50 cm de un punto de control de densidad, que cumpla con el estándar de compactación especificado.

En aquellas zonas en que se registre un valor de compactación inferior al de referencia, se repone localmente la compactación hasta lograr la compactación especificada.

3.3.3.3 TERMINACIÓN
Una vez terminada la compactación y perfiladura de la base, ajustándose a los perfiles longitudinales y transversales del proyecto, se verifica con nivel, que se presente una superficie de aspecto uniforme y sin variaciones, salvo las tolerancias aceptadas. Se entiende que tanto la compactación y perfiladura son en la superficie completa de la base, según planos y, en especial, que la perfiladura cumple en toda la superficie de los planos que se generen de ella, es decir, el control es más allá de los puntos de estacas preestablecidos, con el fin de asegurar una correcta colocación del pavimento.

3.3.3.4 MATERIAL

3.3.3.4.1 PORCENTAJE DE PARTÍCULAS CHANCADAS
Se debe realizar una verificación por obra si el material a colocar proviene de una planta de áridos fija o uno por lugar de procedencia.

3.3.3.4.2 GRANULOMETRÍA Y LÍMITES DE ATTERBERG
Se debe realizar un ensayo por obra, si el material a colocar proviene de una planta de áridos fija, o uno por lugar de procedencia. Se verifica además condiciones de filtrado. Los ensayos se realizan según corresponda con las normas: MC - V8 8.102.1, NCh 1517/1 y NCh 1517/2.

3.3.3.4.3 RESISTENCIA AL DESGASTE
Se debe realizar un ensayo (NCh 1369) por obra, si el material a colocar proviene de una planta de áridos fija, o uno por lugar de procedencia.

3.3.3.4.4 RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA CBR
Se debe ejecutar un ensayo (NCh 1852) por obra, si el material a colocar proviene de una planta de áridos fija, o uno por lugar de procedencia.

3.3.3.4.5 EQUIVALENTE DE ARENA
Se debe ejecutar un ensayo (NCh 1325) por obra, si el material a colocar proviene de una planta de áridos fija, o uno por lugar de procedencia.

3.3.3.4.6 SALES SOLUBLES
Se debe realizar un ensayo (NCh 1444/1) por obra, si el material a colocar proviene de una planta de áridos fija, o uno por lugar de procedencia.

3.3.3.4.7 DESINTEGRACIÓN POR SULFATOS
Se debe realizar un ensayo (NCh 1328) por obra, si el material a colocar proviene de una planta de áridos fija, o uno por lugar de procedencia.

3.3.4 CALIDAD
Las acciones de control de calidad son realizadas por un laboratorio con inscripción vigente en los registros del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

ART. 3.4 BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS DE HORMIGÓN
Su ejecución se ajusta a lo establecido en los apartados siguientes:

3.4.1 MATERIALES
El material a utilizar estará constituido por un suelo del tipo grava arenosa, homogéneamente revuelto, libre de grumos o terrones de arcilla, de materiales vegetales o de cualquier otro material perjudicial.

Se prefiere para los pavimentos de hormigón, bases más flexibles que permitan acomodar deformaciones de las losas de hormigón (alabeo), lo cual da mayor apoyo y estabilidad, mejorando la serviciabilidad y la vida útil.

Los parámetros que deberán cumplir las bases para pavimentos de hormigón serán los siguientes:

3.4.1.1 GRANULOMETRÍA
La granulometría de las bases para pavimentos de hormigón, estará comprendida dentro una de las bandas granulométricas de la Tabla 3.3 propuesta por indicaciones de MC - V8 8.102.1.

TABLA 3.3
BANDA GRANULOMÉTRICA DE LA BASE GRANULAR PARA PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

TAMIZ [mm]	% que pasa en peso	
	Banda 1	Banda 2
50	100	
25	-	100
20	70-90	70-100
10	30-65	50-80
5	25-55	35-65
2	15-40	25-50
0.5	8-20	10-30
0.08	2-8	0-15

El constructor indicará la curva característica de los materiales que serán utilizados para la base granular del proyecto, la que deberá ser verificada y aprobada por la fiscalización. La uniformidad se controlará en obra, en función de esta banda de trabajo preestablecida, la cual no se podrá cambiar, a menos que se justifique y demuestre las ventajas de una modificación, la que deberá ser verificada y aprobada por la fiscalización.

El material de la base granular para el pavimento de hormigón, podrá tener como máximo las variaciones que se indican a continuación:

- +/- 10% para tamices sobre 5 mm
- +/- 4% para tamices inferiores a 5 mm

Se deberá cumplir adicionalmente que:

- La fracción que pasa por el tamiz 0,08 mm (ASTM Nº 200) no sea mayor a los 2/3 de la fracción del árido grueso que pasa por el tamiz de 0,5 mm (ASTM N°40).
- La fracción que pasa el tamiz de 5 mm (ASTM Nº 4) esté constituida por arenas naturales o trituradas.

En caso de utilizar pavimentos con juntas espaciadas a menor distancia que las convencionales se deben tener las siguientes consideraciones:

La base estará limitada hasta un máximo de 10% de finos (material bajo la malla ASTM N° 200) y en caso de pavimentos de un tráfico mayor a 3.000.000 de Ejes Equivalentes, el porcentaje de fino quedará restringido a un máximo de un 8%.

3.4.1.2 REQUISITOS DE CALIDAD DE LOS ÁRIDOS

3.4.1.2.1 LÍMITES DE ATTERBERG

Se recomienda que la fracción del material que pasa la malla Nº 40, tenga un límite líquido inferior a 25% y un índice de plasticidad inferior a 6 ó No Plástico (NP), según NCh 1517/1 y NCh 1517/2.

3.4.1.2.2 RESISTENCIA AL DESGASTE

El árido grueso debe tener un desgaste inferior a un 50%, de acuerdo al Ensayo de Desgaste, según NCh 1369.

3.4.1.2.3 RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA, BASE CON CBR ≥ 60%

El CBR, definido según NCh 1852, se mide a 0.2" de penetración, en muestra de suelo granular saturada y previamente compactada a una densidad mayor o igual al 95% de la D.M.C.S., obtenida en el ensayo Proctor Modificado, según NCh 1534/2 o al 80% de la densidad relativa (NCh 1726), según corresponda. En caso de utilizar pavimentos con juntas espaciadas a menor distancia que las convencionales, se deben tener las siguientes consideraciones:

- En sectores donde las precipitaciones sean mayores a 800 mm al año y vías cuyo tránsito sea mayor a 25.000.000 EE en la vida de diseño, se deberá utilizar base granular con CBR ≥ 80%:
- Para vías cuyo tránsito sea mayor a 3.000.000 de EE en la vida de diseño, y presencia de suelos finos, (CBR <10% en la subrasante) se debe colocar una lámina geotextil bajo la base granular de apoyo, con la finalidad de evitar la contaminación de esta con los finos provenientes de la subrasante.

El geotextil debe tener las siguientes propiedades mínimas:

- Resistencia a la tracción ≥ 480 N (medido según norma ASTM D4632)
- Resistencia al punzonamiento ≥ 290 N (medido según norma ASTM D4833)
- Abertura Aparente de Poros ≤ 0,16 mm (medido según norma ASTM D4751)
- Resistencia al Reventado ≥ 950 KPa (medido según norma ASTM D3786)

No se colocará ningún material impermeable entre la base y las losas de hormigón. La base no se mojará antes de colocar el hormigón, a menos que el riego sea para disminuir la temperatura de esta en verano.

3.4.1.2.4 ZONA DE HELADAS

En zonas donde las bases estarán sometidas a ciclos de heladas, se deberán cumplir las siguientes recomendaciones:

A. Se exige para el material que pase por el tamiz 0,5 mm (ASTM Nº 40), que el límite inferior sea de 0% y que por el tamiz 0,08 mm (ASTM Nº 200), el porcentaje que pasa esté comprendido entre 0% y 5%.

B. Para la desintegración por sulfato de sodio, según NCh 1328, el porcentaje medio ponderado debe ser de 12% máx.

3.4.2 COMPACTACIÓN

3.4.2.1 DENSIDAD

La base granular para pavimentos de hormigón, se compactará hasta obtener una densidad no inferior al 95% de la D.M.C.S. obtenida en el ensayo Proctor Modificado, según NCh 1534/2, o al 80% de la densidad relativa según NCh 1726, según sea el caso.

3.4.2.2 TOLERANCIA DE ESPESOR Y TERMINACIÓN SUPERFICIAL

Se aceptará una tolerancia de terminación máxima de –8 mm. En puntos aislados, se aceptará hasta un 5% menos del espesor de diseño.

3.4.3 CONTROLES

En las bases granulares para pavimentos de hormigón, se controlarán los siguientes parámetros:

3.4.3.1 CONFECCIÓN Y COLOCACIÓN

La fiscalización o profesional responsable del Serviu verificará que:

- La preparación de los materiales de la base granular debe ser ejecutada en plantas procesadoras, fijas o móviles, que aseguren la obtención de un material que cumpla con los requisitos establecidos.
- El material se acopie en canchas habilitadas especialmente para este efecto, de manera que no se produzca contaminación ni segregación de las bases preparadas.
- El material se transporte y deposite sobre la plataforma de la vía, formando pilas que den un volumen adecuado antes de su nivelación. Los materiales apilados se nivelarán por medios mecánicos hasta obtener la homogeneidad y humedad necesarias, tras lo cual se extienden uniformemente.
- El material de base, se extienda sobre la plataforma de la vía, mediante equipos distribuidores autopropulsados, que mantengan su graduación y homogeneidad, quedando listo para ser compactado sin necesidad de mayor manipulación, y en una cantidad suficiente para obtener el espesor, ancho y bombeo especificados.
- La base se construya por capas de espesor compactado no superior a 0,30 m ni inferior a 0,15 m.

Espesores superiores a 0,30 m, se extienden y compactan en capas. El material que se extiende es de una granulometría uniforme, por lo que no presenta bolsones o nidos de materiales finos o gruesos.

- La tolerancia de espesor y terminación superficial sean aceptables.
- Una vez terminada la compactación y perfiladura de la base, ajustada a los perfiles longitudinales y transversales del Proyecto, se presente una superficie de aspecto uniforme y sin variaciones, salvo las tolerancias aceptadas, según:
  - ◊ Tolerancia de terminación máxima de - 8 mm.
  - ◊ En puntos aislados, se acepta hasta un 5% menos del espesor de diseño.
- La base deberá estar húmeda, pero sin pozas de agua ni saturada al momento de recibir el hormigón de la capa de rodado.

3.4.3.2 COMPACTACIÓN

Se verificará la compactación de la base granular, según las siguientes indicaciones:

3.4.3.2.1 DENSIDAD

En la capa de base del pavimento de hormigón, se efectuará un ensayo de densidad in-situ, según NCh 1516, cada 350 m^2 como máximo, o como alternativa cada 50 ml de calle o pasaje.

Se controlará la compactación preferentemente a través del ensayo del cono de arena. En el caso de emplear densímetro nuclear o densímetro no nuclear, para validar sus resultados, estos deberán ser previamente contrastados con el procedimiento del cono de arena. Dicha contrastación deberá ser realizada por un laboratorio oficial inscrito en los registros del Minvu.

3.4.3.2.2 UNIFORMIDAD DE COMPACTACIÓN

En caso que la fiscalización considere que la uniformidad de la compactación de la capa de base para el pavimento de hormigón es poco homogénea, se solicitará al autocontrol del constructor, un control de uniformidad de la compactación, mediante un laboratorio con inscripción vigente en los registros del Minvu. Para este efecto, se generará una cuadrícula uniforme de puntos de control, con un mínimo de 50 puntos por cuadra (cuadra de aproximadamente 110 m longitud), cuidando que alguno de los puntos se encuentre aproximadamente a 50 cm de un punto de control de densidad, que cumpla con el estándar de compactación especificado.

En todas aquellas zonas en que se registre un valor de compactación inferior al de referencia, se volverán a ejecutar localmente los trabajos de compactación hasta lograr los valores especificados. Se deberá controlar el cumplimiento de la compactación final obtenida una vez finalizados estos procedimientos.

3.4.3.3 MATERIAL

Se deberán realizar ensayos adicionales a los indicados cada vez que cambie la procedencia de los áridos, de manera de asegurar constantemente la verificación de los parámetros de calidad de los materiales que están siendo utilizados.

3.4.3.3.1 GRANULOMETRÍA

Se realiza un ensayo (MC - V8 8.102.1) por obra, si el material a colocar proviene de una planta de áridos fija, o uno por cada planta de procedencia. Además se verifican las condiciones de filtrado.

3.4.3.3.2 RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (CBR)

Se realiza un ensayo (NCh 1852) por obra, si el material a colocar proviene de una planta de áridos fija, o uno por cada planta de procedencia.

3.4.3.3.3 LÍMITES DE ATTERBERG

Se realiza un ensayo (NCh 1517/1 y NCh 1517/2) por obra, si el material proviene de una planta de áridos fija, o uno por cada planta de procedencia.

3.4.3.3.4 RESISTENCIA AL DESGASTE

Se realiza un ensayo por obra, si el material a colocar proviene de una planta de áridos fija, o uno por cada planta de procedencia (NCh 1369).

3.4.4 CALIDAD

Las acciones de control de calidad son realizadas por un laboratorio con inscripción vigente en los registros del Minvu, el cual deberá informar oportunamente cualquier variación o situación anómala que se produzca en los resultados.

ART. 3.5 BASES ESTABILIZADAS

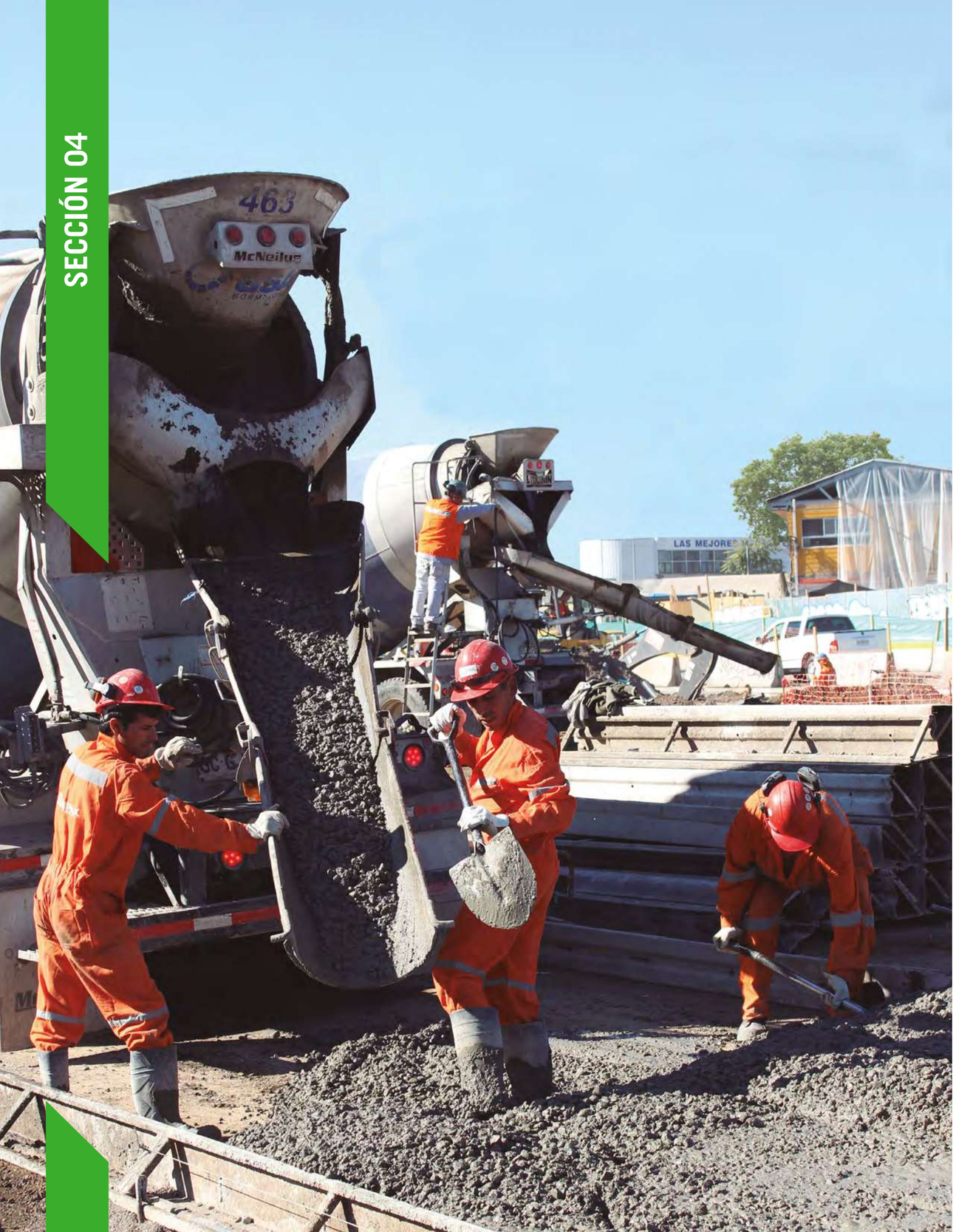
3.5.1 BASES ESTABILIZADAS CON CEMENTO

Esta partida se refiere a la construcción de materiales tratados con cemento para ser empleados como subbase y/o base de pavimentos de hormigón o asfalto, en vías de servicio, locales y pasajes, las cuales se refieren a suelos estabilizados para obtener resistencias a la compresión a los siete días, comprendidas entre 2.5 y 4.5 MPa.

3.5.2 BASES ESTABILIZADAS CON ESTABILIZADORES QUÍMICOS

Esta partida se refiere a la construcción de materiales tratados con productos químicos, para ser empleados como subbase y/o base de pavimentos de hormigón o asfalto, en vías de servicio, locales y pasajes, las cuales se refieren a suelos estabilizados para obtener resistencias a la compresión a los 7 días, comprendidas entre 2.5 y 4.5 MPa.

SECCIÓN 04
PAVIMENTOS DE HORMIGÓN



SECCIÓN 04
PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

ART. 4.1 DEFINICIÓN Y ALCANCE

El hormigón es una mezcla de cemento hidráulico, áridos gruesos y finos, agua, aditivos y/o adiciones, que es utilizado para la pavimentación en la forma y condiciones que se describen en esta sección.

Los pavimentos de hormigón, pueden ser con juntas simples, con barras en juntas o continuamente armados, y se construirán sobre una base granular preparada de acuerdo a las especificaciones de la Sección 3 del presente Código, además de las Especificaciones Técnicas Especiales de cada proyecto y en conformidad a las dimensiones, espesores y perfiles de los Planos respectivos.

Para el diseño y construcción de pavimentos de hormigón, se deberá cumplir con las disposiciones de las Normas Técnicas Oficiales del Instituto Nacional de Normalización que apliquen, en su versión más actualizada, u otras que se indiquen, y en especial la NCh 170 - Hormigón - Requisitos Generales, salvo que las especificaciones técnicas del proyecto dispongan algo diferente.

ART. 4.2 MATERIALES

Los materiales que se usen en la preparación del hormigón y en la construcción de los pavimentos, deberán cumplir con los requisitos de las normas que apliquen a cada material y, de ser el caso, de las Especificaciones Técnicas Generales del proyecto. Para asegurar la calidad de los materiales se utilizan las normas, especificaciones técnicas o recomendaciones de construcción previstas por el proyecto o proveedor, en las versiones más actualizadas que se indican a continuación:

4.2.1 CEMENTO
Según NCh 148 - Cemento - Terminología, Clasificación y Especificaciones Generales.

4.2.2 ÁRIDOS
Según NCh 163 - Áridos para Morteros y Hormigones - Requisitos Generales.

4.2.3 AGUA
Según NCh 1498 - Hormigón - Agua de Amasado.

4.2.4 ADITIVOS Y ADICIONES
Según NCh 2182 - Hormigón y Mortero. Aditivos - Clasificación y Requisitos.
Según NCh 170 – Hormigón – Requisitos Generales. En los puntos referentes a aditivos y adiciones y su utilización en el hormigón.

4.2.5 MEMBRANAS DE CURADO
Las membranas de curado deberán cumplir como referencia las disposiciones de la Norma ASTM C-309, AASHTO M-148, y/o su especificación técnica similar MCV.8 8.401.2.

Al no existir norma chilena al respecto, las membranas de curado que se utilicen para la protección del hormigón, deberán haber sido usadas anteriormente y demostrado eficiencia en la protección del hormigón, las que se verificarán mediante el cumplimiento de las especificaciones contenidas en 4.6.6.1.

Se deberá indicar en el proyecto o por el proveedor de las membranas de curado seleccionadas, el sistema de control de calidad a utilizar para garantizar la aplicabilidad del material, fechas de expiración y condiciones para su uso.

4.2.6 MATERIALES DE SELLO DE JUNTAS

Los materiales de sello de juntas pueden ser a base de asfalto, poliuretanos, materiales premoldeados, elastoméricos, u otros. Por no existir norma chilena asociada para los sellos de juntas, se considerará como parámetros de selección el tiempo de deterioro del material en servicio, la calidad de adherencia con el hormigón y su preservación de la forma geométrica, con el objetivo de garantizar la continuidad de la función sellante, según indicaciones de aplicación y conservación del fabricante.

4.2.7 ARMADURAS

Las armaduras en elementos de hormigón armado deberán cumplir con las exigencias que se establecen a continuación, según el tipo y calidad del acero especificado:

A) Barras de acero: Según NCh 204 - Acero - Barras Laminadas en Caliente para Hormigón Armado.

B) Barras de acero con resaltes: Según NCh 204 - Acero - Barras Laminadas en Caliente para Hormigón Armado y NCh 211 - Barras con Resaltes en Obras de Hormigón Armado.

C) Barras de refuerzo: Según NCh 434 - Barras de Acero de Alta Resistencia en Obras de Hormigón Armado.

Las armaduras deben estar libres de suciedad, lodo, escamas sueltas, aceite u otra sustancia extraña al momento de la colocación del hormigón.

ART. 4.3 DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

4.3.1 CONSIDERACIONES GENERALES

La dosificación de los componentes del hormigón para pavimentos, consiste en determinar las cantidades necesarias de cemento, razón agua/cemento, cantidad y proporción de áridos, tipos y dosis de aditivos y/o adiciones, que se requieran para cumplir con las propiedades del hormigón, tales como la docilidad del hormigón fresco, los valores de resistencias a las edades de control, y otras propiedades que se necesite y que se señalen las Especificaciones Técnicas del proyecto.

Se deberá considerar requisitos especiales que deba cumplir el hormigón, adicionales a los indicados en este código, en el caso de requerirse mayores exigencias de durabilidad, docilidad, resistencias u otros, según las disposiciones de NCh 170.

4.3.2 ESPECIFICACIONES DEL HORMIGÓN

4.3.2.1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN

El hormigón requerido para la obra será especificado y controlado en base a los siguientes parámetros de resistencia, considerando su cumplimiento a los 28 días desde su fabricación:

(1) Rmf: Valor de la resistencia media a la flexotracción de diseño del proyecto de pavimentación, y a partir del cual se debe calcular la resistencia especificada del hormigón para la provisión en obra.

(2) fc: Resistencia especificada a la compresión cilíndrica expresada a partir de la resistencia media a la compresión cilíndrica.

El hormigón será controlado mediante ensayos de testigos del pavimento ejecutado. Los valores deberán ser corregidos para corresponder al valor de compresión cilíndrica en probetas de 30 cm de alto y esbeltez 2, de manera que sean comparables con los requisitos especificados para el proyecto en hormigón moldeado en fresco, considerando las indicaciones de las Normas NCh 1171/01 y NCh 1171/02.

Los requisitos mínimos que se deberán cumplir para la especificación del hormigón de pavimentos, son los indicados en la Tabla 4.1.

TABLA 4.1
ESPECIFICACIONES PARA EL HORMIGÓN DE PAVIMENTOS

TIPO DE VÍA	Resistencia media a la flexotracción de diseño (MPa) Rmf	Grado especificado a compresión cilíndirca, para fc fracción defectuosa 20%
Expresa, Troncal y Colectora	5.0	G30
Servicio, Local y Pasajes *	5.0	G30

Los valores de fc han sido obtenidos desde los valores de fm presentados en la Tabla 4.1 considerando un coeficiente de variación del 10% y un factor t de student de 0,842, que se usa para más de 30 resultados de ensayos (NCh 1998). Para otros valores de fm y/o cantidad de ensayos a evaluar utilice la expresión: fc = fm (1 - t * 0,1), donde t es el coeficiente de student.

(*) Para este tipo de vías se permitirá considerar una Resistencia media a la flexotracción de diseño menor a la indicada en la Tabla 4.1 pero en ningún caso menor a 4,0 MPa (G25). Se hace presente que los espesores de las cartillas de diseño (Sección 14) para este tipo de pavimentos, son válidos para los valores ilustrados en la Tabla 4.1, por lo tanto, el uso de resistencias menores implicarán justificar los espesores adoptados usando metodologías mecanicistas.

Los valores obtenidos para fc del hormigón especificado para el proyecto, serán controlados según las indicaciones dadas en 4.8.3.4.

4.3.2.2 TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO

El valor del tamaño máximo del árido a utilizar en el hormigón del proyecto de pavimentación, será el mayor posible que cumpla:

I. Dn ≤ 1/3 del espesor de la losa.
II. Que la profundidad del corte sea mayor al tamaño máximo del árido.

4.3.2.3 DOCILIDAD DEL HORMIGÓN FRESCO

La docilidad del hormigón fresco, medida por el valor de asentamiento de cono de Abrams realizado al hormigón en estado fresco, se establecerá sobre la base de las necesidades de los equipos y maquinarias que se utilizarán en la construcción del pavimento y que se asegure en su uso una buena calidad de terminación. De ser requerido, se puede utilizar aditivos, tales como fluidificantes, reductores de agua, incorporadores de aire, entre otros que pudieran ser necesarios para asegurar una buena colocación, compactación y terminación superficial.

ART. 4.4 FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN

La fabricación del hormigón debe ser preferentemente realizada por proveedor de hormigón premezclado con mezcladora industrializada, la que deberá cumplir las disposiciones indicadas en 4.4.1.

Se aceptará que el contratista realice su fabricación en instalaciones propias, debiendo para ello contar con centrales hormigoneras cercanas a la obra, que tengan sistemas de pesaje de los materiales y que certifiquen su operación y resultados, cumpliendo para ello las disposiciones indicadas en 4.4.2.

4.4.1 CENTRALES HORMIGONES (HORMIGÓN PREMEZCLADO)

Las centrales hormigoneras que se usan en la fabricación del hormigón basan sus procesos en las indicaciones de la NCh 1934 - Hormigón preparado en central hormigonera, por lo que la provisión desde centrales de este tipo es preferible para un mejor control de las dosificaciones, volúmenes, y calidad del hormigón preparado.

Las centrales hormigoneras de proveedor industrial para la fabricación del hormigón, deben contar con sistemas de precisión para la dosificación y preparación de las mezclas, que aseguren el cumplimiento de los requisitos de calidad especificados para el hormigón y las tolerancias de medición de los materiales establecidas en la NCh 170.

El contratista podrá solicitar, como respaldo de las mezclas proporcionadas, un informe de las impresiones automáticas de carga de sus despachos, de manera de contar con el seguimiento a las dosificaciones de los hormigones colocados. Esta información podrá ser verificada, por la fiscalización técnica o profesional responsable, como un procedimiento de control de calidad de las dosificaciones que han sido proporcionadas para la obra y detectar variaciones que pudieran afectar el desempeño de la ejecución del hormigón en obra y eventuales variaciones en resistencia.

4.4.2 EN OBRA (POR CONTRATISTA)

La fabricación del hormigón en obra por el contratista se podrá realizar siempre y cuando se disponga del equipamiento necesario para la dosificación, mezclado y transporte de las mezclas producidas, asegurando su provisión y calidad. Se deberá asegurar la provisión de materias primas locales para la determinación de la dosificación necesaria para el hormigón especificado, y que estará basada en hormigones de prueba, preparados y ensayados por un laboratorio oficial con inscripción vigente en el registro del Minvu. Se deberá verificar además que el proceso de producción de las mezclas cumpla con los requisitos especificados para los hormigones del proyecto, cumpliendo con las tolerancias de medición de los materiales establecidas en la NCh 170.

La disposición anterior se debe cumplir siempre, debiendo ser verificada por la fiscalización técnica o profesional responsable, pudiendo requerir nuevos hormigones de prueba y dosificaciones para ajustar las modificaciones que se realicen, cada vez que se produzcan cambios de los equipos de producción, en los tipos de materiales utilizados y en la procedencia de los áridos, debiéndose en este último caso diferenciar claramente los acopios de las nuevas partidas, para asegurar el cumplimiento de la dosificación y la calidad del hormigón resultante.

Con el objeto de mantener uniformidad del hormigón fresco y hacer cumplir las propiedades establecidas en las especificaciones técnicas del proyecto, se deberá realizar todos los ensayos que se indican en el apartado 4.8.2.1 “Control del Hormigón Fresco. Hormigón Fabricado in Situ”.

Para la medición de los materiales, las tolerancias en peso para dosificación en sitio son, según NCh 170, las siguientes:

- Cemento a granel: ± 1%.
- Áridos : ± 3%, se corrigen según el porcentaje de humedad presente.
- Agua : ± 1%, en peso o en volumen, se corrige según la humedad de los áridos y la cantidad de aditivo líquido, en caso de uso.
- Aditivos : según recomendaciones del fabricante.

ART. 4.5 TRANSPORTE DEL HORMIGÓN

El transporte del hormigón debe asegurar el cumplimiento de las propiedades del hormigón fresco desde el sitio de preparación hasta el punto de colocación en la obra.

4.5.1 DESDE CENTRALES HORMIGONERAS

El transporte de hormigón desde centrales hormigoneras está normado por lo establecido en NCh 1934 - Hormigón preparado en central hormigonera.

4.5.2 DESDE PLANTAS DE CONFECCIÓN EN OBRA

El transporte de hormigón desde plantas en sitio está normado por lo establecido en NCh 170 - Hormigón – Requisitos Generales.

ART. 4.6 CONSTRUCCIÓN DEL PAVIMENTO

4.6.1 PREPARACIÓN DE LA BASE

La preparación de la base se efectúa según lo especificado en la Sección 3 del presente código y cumpliendo los criterios entregados al respecto en las Secciones 12 y 14.

La inspección técnica o profesional responsable deberá revisar la base y dar su aprobación y recepción, previo al inicio de la faena de hormigonado.

Una vez que esté finalizada la base y lista para la recepción del hormigón, esta se deberá encontrar limpia y sin pozas de agua. La base no deberá encontrarse seca, por lo que en este caso, se deberá realizar un riego uniforme con agua de procedencia conocida, previo a la colocación del hormigón.

La base deberá contar con una superficie homogénea y plana (sin segregación, depresiones o lomos), sin presencia de desniveles, de manera de asegurar el espesor mínimo del pavimento en cualquier punto de la obra. Se pueden usar máquinas escarificadoras para mejorar la precisión de los niveles de la base.

La base estará preparada para la circulación de camiones de hormigón, u otros, durante la construcción del pavimento. No obstante lo anterior, se deberá verificar que la circulación de vehículos no produzca deterioro a la base, lo cual deberá ser corregido cada vez que se requiera, para que la base siempre cumpla las recomendaciones indicadas en este punto.

4.6.2 SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN

Los equipos mecanizados y herramientas que se empleen en la construcción del pavimento de hormigón deberán ser probados de manera de cumplir con los requisitos de manejo, colocación, compactación y terminación de la estructura total del pavimento.

Para las operaciones de vaciado, extensión, compactación y terminación del hormigón en obra, pueden emplearse sistemas de moldes fijos o pavimentadoras de molde deslizante.

Independiente del sistema que sea utilizado, este debe asegurar que cumple con los anchos, espesores y pendientes (transversales y longitudinales) indicadas en el Proyecto; además de contar con un buen manejo del hormigón en fresco, y no producir segregación, falta de compactación, nidos de piedra, bajas densidades, entre otros.

4.6.2.1 PAVIMENTACIÓN CON EQUIPO SOBRE MOLDES FIJOS

a) Trabajos previos:

El borde de las losas de hormigón queda restringido lateralmente por soleras, por la pared lateral del pavimento existente o por moldes con el espesor del pavimento, que están perfectamente nivelados y lisos para evitar imperfecciones en la superficie del pavimento.

Los moldes que son utilizados pueden ser metálicos, de madera, una combinación de ambos materiales u otros. En su instalación deberán quedar adecuadamente fijados a la base del pavimento de manera de evitar su movimiento durante la colocación del hormigón y deben ser capaces de no deformarse por el peso de la cercha mecánica ni por la presión lateral del hormigón. Longitudinalmente, los moldes son rectos, sin curvaturas, deflexiones, abolladuras, ni otros defectos, pudiendo tener una sección transversal trapezoidal o vertical, tal como lo defina el proyecto para la junta longitudinal y el borde externo del pavimento, según corresponda.

Para curvas con radios menores de 30 m, pueden usarse moldes flexibles horizontalmente o moldes curvos de radio adecuado.

En el caso de los moldes metálicos, se fabricarán con planchas de acero de una sola pieza, con una altura igual al espesor de la losa. Según defina el proyecto, para la sección en la junta longitudinal podrán ser rectos o contar con una sección transversal para materializar una articulación con llave, la que será según las dimensiones dadas en la figura 14-5, de manera que presente en su pared lateral una saliente de forma trapezoidal a la mitad de la altura.

Se recomienda que el constructor mantenga en obra una cantidad de moldes adecuada, de acuerdo al avance requerido de la faena. Al colocar los moldes, se asegura su linealidad general, el perfecto afianzamiento entre molde y base y entre cada molde y sus vecinos, así como la estanqueidad y la limpieza de los mismos, después de cada uso.

Los moldes deben quedar perfectamente conectados entre sí, tanto en altura como en eje longitudinal. No es necesario el apoyo de los moldes sobre la base si el sistema de moldeo y afianzamiento no lo requiere, pero en ese caso se requiere dejar un espacio no mayor a 2 cm entre la parte inferior del molde y la base.

En todo caso, ya sea que los moldes queden en contacto o no con la base, el sistema de moldes debe quedar firmemente sujeto en su posición mediante estacas o apoyos tipo L, que no permitan el movimiento por vibración de la cercha o por el empuje del hormigón fresco. Se recomienda un mínimo de tres sujeciones de apoyo por cada de 3 m de molde de acero, y al menos cuatro sujeciones por cada 3 m de molde de madera.

La colocación de moldes y el sistema de terminación deben asegurar el cumplimiento de niveles, cotas, pendientes, espesores y rugosidad superficial de recepción, según corresponda a la realidad del proyecto, y según los requisitos que se han especificado para el pavimento.

Se podrá utilizar sistemas de corrección de nivel de la superficie en los moldes, de manera de cumplir con el requerimiento especificado de rugosidad para el proyecto, tales como tornillos para corregir alturas del soporte de cercha, cepillado para moldes de madera, entre otras opciones que podría sugerir el contratista, para cumplir este objetivo.

Las cotas, pendientes y alineaciones del moldaje se recibirán conforme por la inspección técnica o profesional responsable, inmediatamente antes de hormigonar. Se acepta como tolerancia hasta ± 2 mm con respecto a las cotas establecidas en el Proyecto.

b) Colocación del hormigón

El hormigón se coloca directamente sobre la base y se distribuye uniformemente a lo ancho de la faja por pavimentar y en el sentido de avance de la pavimentación, mediante sistemas que no produzcan segregación del hormigón.

La distribución manual se realiza con palas de punta cuadrada o esparcidores para evitar la segregación del hormigón.

Para la nivelación del hormigón, se utiliza una cercha vibradora que se desplaza apoyada sobre los moldes u otro sistema que se apoye en maestras o guías de hormigón fresco ubicadas entre moldajes y previamente preparadas para nivelar y compactar. En ambos casos, el espesor de la losa corresponde a la distancia entre el plano generado por los moldajes y la base.

Cuando se pavimente una faja adyacente de una etapa de hormigonado previo, y un costado de la cercha se apoye directamente sobre el hormigón endurecido, la superficie de apoyo debe estar limpia en toda su extensión, eliminando de ella trozos de hormigón adherido y otros residuos de materiales, de manera de asegurar la correcta nivelación de este lado del pavimento. Podría ser necesario raspar o escobillar la superficie endurecida en el ancho requerido de apoyo de la cercha para evitar estas imperfecciones.

Se considerará las condiciones atmosféricas del lugar de colocación para resguardar la protección del hormigón en etapas tempranas de endurecimiento. En condiciones extremas (tiempo frío, tiempo caluroso, viento excesivo o humedad relativa baja) se utilizan sistemas de protección especiales tales como túneles o carpas para mantener protegido el hormigón, así como también se toman en cuenta las recomendaciones establecidas en la NCh 170 y en el apartado 4.6.7.

Los moldes deben permanecer en su lugar al menos una noche después de colocado el hormigón, y serán retirados cuando el proceso de desmolde no dañe el borde del pavimento al retirar el moldaje.

c) Compactación del hormigón

El hormigón se compactará debidamente a todo lo ancho del pavimento mediante vibradores de superficie, vibradores de inmersión o por otros procedimientos que produzcan resultados equivalentes, sin provocar segregación y cuidando que se obtenga una compactación homogénea de la mezcla. Los métodos de compactación del hormigón que resulten con deficiencias, tales como segregación o formación de nidos de piedra, son descontinuados y corregidos por el constructor.

Cuando se compacte con cercha vibradora, se exigirá además el uso de vibradores de inmersión en los bordes y al costado de los moldes del pavimento.

Se recomienda que los vibradores tengan una frecuencia de vibración igual o mayor que 3.500 vibraciones por minuto y sobre 5.000 vibraciones por minuto si son de inmersión. El radio de acción de los vibradores de inmersión debe ser superior a 0,30 m y en su utilización se debe considerar este parámetro para establecer el patrón de vibrado, que deberá realizar el operador, para que actúe en todo el volumen de hormigón colocado de manera correcta, con los equipos que serán utilizados.

Es aconsejable que los vibradores de inmersión no entren en contacto con los moldes ni se usen para esparcir la masa de hormigón depositado frente al equipo.

El mortero sobrante en la superficie debe ser removido mediante un sistema enrasador (reglas) apoyado sobre el moldaje y no es reutilizado.

4.6.2.2 PAVIMENTACIÓN CON EQUIPOS DE MOLDES DESLIZANTES

Se aceptará la utilización de pavimentación con moldes deslizantes en los casos en que el lugar permita acomodar las configuraciones y restricciones inherentes a este sistema.

La pavimentación con moldes deslizantes, corresponde a un proceso continuo de colocación, moldeo, consolidación y terminación de la superficie de una masa de hormigón en estado plástico, por medio del desplazamiento de un equipo autopropulsado.

El principio de operación de los equipos pavimentadores con moldes deslizantes, es el de extrusión, es decir, dar forma al material forzándolo a pasar a través de un molde.

4.6.2.2.1 TRABAJOS PREVIOS

a) Subrasante y base estabilizada

Se requiere una estructura del suelo para la subrasante y base, acorde a la Sección 3 del presente Código de bases para pavimentos de hormigón, y que sea capaz de soportar el peso del sistema de pavimentación sin deformarse.

Se considera la construcción de la base con sobreancho para apoyar el sistema de propulsión de la pavimentadora.

b) Suministro de hormigón

Se recomienda contar con una capacidad de abastecimiento acorde al avance óptimo del equipo a ser usado, según las recomendaciones del fabricante. Para la correcta ejecución de la terminación superficial del pavimento se evitará la detención de la pavimentadora durante la faena de colocación, de manera de evitar deformaciones sobre la superficie del pavimento.

c) Pines de referencia

Es recomendable que se instalen pines de referencia en la posición que el sistema de pavimentación requiera, siendo su función dar el nivel de proyecto de la superficie del pavimento a ser construido y la posición de la calzada. Los pines se fijan con nivel de precisión topográfica, dejando estos elementos totalmente normales al eje de la calzada y firmemente afianzados a la base, de manera que no sean interferidos por el tensado del cable guía.

Se recomienda que la distancia de separación entre estos elementos, no exceda los 10 m en tramos rectos de la vía, ni 5 m en tramos de curvas con radios inferiores a 500 m y curvas verticales con parámetros menores a 2.000 m.

Además es necesario identificar en un estacado paralelo a los pines, la información de la rasante, como son la referencia topográfica y la distancia de desplazamiento lateral de los pines (se ajusta según el equipo), de manera que puedan ser verificados fácil y rápidamente en cualquier instante durante la ejecución del proyecto.

d) Colocación de la Línea Guía

La línea guía se instala sobre apoyos ajustados en los pines de referencia, dando la altura requerida para asegurar el espesor del pavimento. Es aconsejable que la línea guía se tense lo suficiente para evitar desviaciones entre apoyos en más de 1 mm cada 10 m. Terminado este proceso, y antes de iniciar los trabajos de colocación del hormigón, la inspección técnica o profesional responsable realizará una verificación visual exhaustiva para evitar diferencias con lo que se estipula en el proyecto y posibles defectos accidentales que pudiesen haber ocurrido por efectos de variación de temperaturas o simplemente falla humana. Además, es importante considerar que la inspección visual se hace también durante el proceso de hormigonado, ya que el factor temperatura puede generar consecuencias no deseadas. Se recomienda tener especial cuidado de no interferir la línea guía con herramientas, tránsito de personas u otros eventos durante la ejecución de la pavimentación.

e) Preparación del equipo

Antes de iniciar la pavimentación, es recomendable verificar el correcto funcionamiento de todos los equipos que componen el sistema pavimentador, mediante la verificación de una lista de chequeo preparada previamente con recomendaciones del fabricante. Se puede solicitar una prueba del sistema en vacío para ajuste y comprobación de los equipos. Se deberá verificar el correcto funcionamiento de a lo menos los siguientes equipos, según corresponda:

- Colocadora – esparcidora
- Pavimentadora y sus sistemas vibradores
- Colocadora automática de membrana de curado
- Sistema de colocación automático de barras
- Sistema de sensores del equipo pavimentador
- Sistema automático de alisado superficial del equipo

4.6.2.2.2 PROCESO DE PAVIMENTACIÓN CON MOLDES DESLIZANTES

El proceso de pavimentación se inicia con la entrega de hormigón en el frente de ataque del equipo pavimentador, ya sea la extendedora o la pavimentadora misma. Lo importante es ajustar el flujo de entrega con la velocidad de avance del equipo, para obtener un pavimento con las condiciones deseadas. En los primeros metros de ejecución de la faena diaria se verifica el espesor de la calzada resultante y el correcto moldeo de la capa de hormigón formada, la cual no puede deformarse en los bordes ni desmoronarse, quedando perfectamente estructurada.

El proceso restante es fundamentalmente un control del proceso normal del equipo, verificando la tensión de la guía, el funcionamiento correcto de los vibradores, la terminación superficial, la perpendicularidad de los bordes dejados atrás por los moldes, desmoronamientos, etc., haciendo los controles de flujo y ajustes de velocidad del equipo respectivo.

4.6.2.2.3 COLOCACIÓN DE ARMADURA DE REFUERZO

La colocación de armadura de refuerzo puede hacerse en forma automática si el sistema pavimentador lo permite durante la colocación del hormigón fresco, o dejando el sistema de barras instalado previo a la colocación del hormigón, de manera que quede embebido e inalterado posterior al paso de la pavimentadora.

En el caso de instalación previa al hormigonado se cuenta con sistemas de sujeción de las barras en su posición final, de manera que queden perfectamente afianzadas a la base y no sean perturbadas por el movimiento de colocación del hormigón ni de los vibradores. Para ello, se acepta el uso de sistemas de canastillos u otros que fijen la posición de las barras. Se considera en la instalación de las barras, el uso dado a estas, por lo que se recomienda que contengan sistemas especiales o recubrimientos, para asegurar el perfecto desempeño de la barra en la junta, según lo indicado en el apartado 4.6.4, para juntas de contracción transversales, con barras de traspaso de carga, y juntas longitudinales, con barras de amarre.

Se acepta la utilización de un sistema de colocación automática de barras (o insertadores automáticos, DBI) que posea el sistema pavimentador, el que va colocando las barras a las distancias que fije el proyecto y en la posición correcta, de manera que el corte de junta de contracción posterior coincida en la ubicación exacta de estas.

Se puede utilizar sistemas de localización que queden perdidos en la superficie del hormigón, de manera de permitir una buena definición de la posición de las barras para realizar el corte de juntas contracción y juntas longitudinales, de ser el caso.

4.6.2.2.4 TÉRMINO DE FAENA DE HORMIGONADO

La culminación del trabajo de un día o la detención del proceso de avance de la pavimentadora por un tiempo mayor al que permita el revibrado del hormigón fresco, necesariamente implica la ejecución de una junta de construcción. Estas juntas se deben ejecutar según las indicaciones entregadas en 4.6.4.3, y su ubicación se deberá hacer coincidir con la posición de una junta de contracción. Para que la junta quede en la posición correcta, se determina la cantidad de hormigón necesaria a partir de los últimos camiones, mediante la estimación del material necesario para cumplir con el hormigón que permita llegar hasta la posición de dicha junta.

Para materializar esta junta se recomienda mantener el hormigonado terminando más allá de la posición de la junta. Posteriormente se realiza el corte en todo el espesor del pavimento y se retira el material sobrante. Se colocan barras de traspaso de carga según las indicaciones entregadas en los apartados 4.2.7, 4.6.4.3 y 14.3.1.3 y según el detalle presentado en Lámina Tipo 4.4 del Apéndice III.

4.6.3 TERMINACIÓN Y TEXTURA DE LA SUPERFICIE

La terminación superficial del pavimento debe ser realizada por medio de sistemas que aseguren la lisura superficial y cumplan con los criterios de terminación especificados para el proyecto. La operación de terminación puede ser automática, realizada por el sistema pavimentador mismo, o manual con equipos y herramientas que sean aptas para dejar la superficie lisa según las especificaciones de terminación. Cualquiera sea el caso, se realiza un adecuado trabajo sobre la superficie para eliminar imperfecciones y deformaciones y lograr la planeidad requerida por el proyecto.

El contratista deberá contar con equipos que permitan lograr la lisura, en una cantidad adecuada para realizar estas faenas a tiempo y contará con operarios que estén capacitados en su uso. Dentro de las alternativas que existen para las labores de terminación de la superficie y sin ser excluyentes, se nombran las siguientes:

- Bump-Cutter de magnesio, de largo no menor a 3 m para lograr planeidad.
- Platacho de magnesio, de largo no menor a 1,5 m para lograr lisura.

Para dar rugosidad a la superficie se emplean escobillones o arpilleras húmedas, cuya dirección de avance es preferentemente a lo largo del pavimento. Es recomendable que la rugosidad superficial sea visible a simple vista y de por lo menos 1 mm de profundidad.

4.6.3.1 SUPERFICIE ESTAMPADA

En proyectos especiales, en que se especifique estampado de la superficie, se podrá utilizar técnicas de moldes especiales que permitan cumplir las especificaciones del pavimento estampado como terminación superficial, pero se deberá cumplir la fricción superficial del pavimento, que asegure que este puede ser utilizado de manera segura.

Esta partida deberá ser ejecutada por empresas especializadas en el rubro. Sin embargo, si el constructor decide emplear personal de la propia empresa para esta faena, deberá demostrar a la fiscalización su experiencia, mediante la realización de pruebas y muestras a su costo, para fundar dicha decisión.

Procedimiento de Trabajo

Se debe incorporar endurecedor al pavimento, cuya dosificación deberá ser proporcionada por el proveedor especialista en este tipo de obra; considerándose mezcla en polvo formada por cemento, pigmentos no metálicos resistente a los rayos ultravioletas y agentes atmosféricos, de ser requerido por el proyecto, además de agregados no reactivos acondicionadores de la superficie.

Aplicación

Una vez que el hormigón alcance el estado plástico y el exceso de agua haya desaparecido de la superficie, se aplica el endurecedor, a razón de entre 3 kg/m^2 y 6 kg/m^2.

Para esparcir el material sobre la superficie, se empleará la técnica de voleo a mano, utilizando guante de goma y mascarilla filtrante como protección. Se dejará reposar el endurecedor sobre la superficie algunos minutos, permitiendo que la humedad del hormigón humedezca homogéneamente el polvo.

En la primera aplicación se utilizará el 60% del material endurecedor; en la segunda aplicación se aplica el saldo, hasta alcanzar una distribución uniforme de toda la superficie. Se aplicará afinado con llana de madera sobre toda la superficie, evitando afinado demasiado fuerte. No debe aplicarse agua durante este proceso, ya que esta es aportada por el hormigón fresco.

Agente Desmoldante

Luego de la aplicación del endurecedor, se procederá a la aplicación de desmoldante, utilizando la misma técnica de voleo a mano, con las precauciones indicadas anteriormente y aplicándose una cantidad de aproximadamente 0,15 kg/m^2.

Estampado

El estampado se efectuará mediante la aplicación de moldes con patrón definido según proyecto. Inmediatamente aplicado el desmoldante se colocan los moldes con el diseño especificado, cuidando especialmente de mantenerlos ajustados para evitar retoques adicionales de terminación. Los moldes no deben ser golpeados, necesitándose solo apoyarlos sobre la mezcla preparada. Estos se levantan inmediatamente después del estampado, lavando de forma ligera las líneas de relieve y emboquillado además de remover el desmoldante de los puntos altos de la superficie.

Terminación

Una vez concluido el estampado se deberá permitir el endurecido del hormigón por tres días o más. Luego se barre la superficie y se limpia con agua a presión quitando el exceso de polvo desmoldante.

Finalmente, con la superficie perfectamente limpia y seca, se aplica sellador líquido trasparente, en base a solvente acrílico en 2 capas. La primera muy liviana y dejando secar al menos una hora, aplicándose la segunda capa mediante pulverizador de baja presión de tipo manual o jardinería, aplicado a 20 cm de la superficie, hasta saturarla. La cantidad de sello a utilizar es de 0,2 litros/m^2.

Se deberá tener la precaución de no aplicar ante la posibilidad inminente de lluvia.

4.6.3.2 COLORACIÓN DEL HORMIGÓN

En las zonas donde el proyecto de pavimentación contemple ejecutar calzadas de HCV con coloración, esta deberá incorporarse en toda la mezcla, es decir, no solo en su superficie. Esta coloración se obtendrá incorporando a la mezcla de hormigón el pigmento del color especificado por proyecto, en una proporción adecuada para lograr el color específico. El color especificado por proyecto debe ser

claramente identificable en algún sistema de clasificación cromática, recomendando para esto, la utilización de un rango de N° de pantone definido previamente.

La incorporación del pigmento se deberá realizar en la planta fabricadora del hormigón. En casos debidamente justificados, se permitirá que la adición del pigmento se realice directamente en el camión mezclador antes de salir de la planta. Dicha adición se realizará mediante sacos de pigmento, cuidando respetar la dosificación.

Bajo ninguna circunstancia se podrá utilizar pigmentos orgánicos ni de un nivel de pureza inferior al 95%, lo cual será evaluado cada 1000 m^3 o fracción inferior de hormigón, adoptando para ello, el ensayo ASTM D 126 – 87 Standard Test Methods for Analysis of Yellow, Orange, and Green Pigments Containing Lead Chromate and Chromium Oxide Green.

Antes de la colocación masiva del hormigón, el contratista deberá declarar a la Fiscalización Técnica de la Obra, la dosificación y el tipo de pigmento a utilizar, confeccionando además tres probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 20 cm de espesor. Estas probetas se someterán al ensayo de medición del tipo de pigmento, dosis y coloración.

El color de las probetas se comparará con el rango de números del pantone especificado por proyecto, dando por aprobada la dosificación propuesta, si el color satisface el requisito. Esta evaluación se podrá realizar solo después de 7 días de la fabricación de la probeta, sobre la base de un hormigón con curado húmedo y estando la probeta seca. Las superficies que pudieran verse afectadas por la aplicación del desmoldante, no se utilizarán para la evaluación del color.

Una vez aceptada la dosificación propuesta, el contratista deberá tomar al pie de obra, al menos una muestra diaria mientras duren las faenas de hormigonado, generando los correspondientes registros y comparando esta, con la muestra patrón, en caso de dudas.

Se evitará arrojar agua en forma directa al hormigón mientras se esté ejecutando el terminado final, ya que esta acción provoca manchas sobre el pavimento, lo cual podría significar el rechazo del sector afectado por parte de la Fiscalización.

No se podrá cambiar la dosificación ni el tipo de pigmento aprobado por la Fiscalización, salvo que por motivos justificados sea necesario hacerlo, debiendo someter la nueva dosificación y pigmento a los ensayos y aprobaciones indicados anteriormente.

De aplicar membranas de curado, estas deberán ser en base a resinas y transparentes de modo de no afectar la coloración especificada.

4.6.4 CONSTRUCCIÓN DE JUNTAS

En los pavimentos de hormigón se puede construir los siguientes tipos de juntas: transversales, longitudinales y de construcción. Se procura que a ambos lados de las juntas del pavimento se conserve la misma lisura de las demás áreas de la calzada.

Como complemento a este apartado, se recomienda revisar la Sección 14, apartado 14.3 en cuanto a Juntas en Pavimentos de Hormigón.

4.6.4.1 JUNTAS TRANSVERSALES DE CONTRACCIÓN

Las juntas transversales de contracción se construyen principalmente mediante aserrado y sus especificaciones se presentan en este acápite.

Las juntas transversales de contracción se construyen a la distancia y dirección que especifique el proyecto de diseño del pavimento, realizado en base a los criterios y especificaciones que establece la Sección 14 de este código, formando preferentemente esquemas de corte cuadrados con las juntas longitudinales, cuyas distancias pueden variar desde un espaciamiento igual a la mitad del ancho de la calzada, o eventualmente una distancia menor.

Las juntas se forman mediante aserrado a una profundidad y espesor mínimo, que dependerá del sistema de corte, en fresco o endurecido, seleccionado para el proyecto, operación que el constructor ejecutará una vez que el hormigón haya endurecido lo suficiente, de manera que no se marque su superficie por el peso del equipo sobre el pavimento y que el proceso de corte no produzca la desintegración de los bordes al paso de la sierra. Hay que considerar que el proceso de corte debe ser realizado siempre antes de que pueda ocurrir agrietamiento de las losas.

Se recomienda que el corte se realice cada dos o tres losas o 12 m iniciales para aliviar tensiones, y evitar un posible agrietamiento por retraso del corte, y luego ejecutar los cortes intermedios. En general, cualquier proceso o metodología de corte que se utilice debe siempre evitar agrietamiento del hormigón del pavimento.

Los cortes se realizarán mediante equipo con sierra diamantada, realizándolos hasta una profundidad de 1/4 del espesor de diseño del pavimento, con una profundidad no menor a 25 mm, cuando se realice corte en fresco, y de 1/3 del espesor de diseño del pavimento, cuando se utilice corte en hormigón endurecido. En todo caso, se deberá cuidar que la profundidad del corte sea mayor al tamaño máximo del árido, de manera de asegurar el corte completo de algún árido que haya quedado en la junta, evitando que se desgrane ese punto por movimiento de las losas que suelten dicho árido, produciendo un desprendimiento de material en la arista del corte.

Cuando se utilice sierra delgada de corte de un espesor no mayor a 2 mm, se podrá dejar la junta sin sello posterior, considerando que el corte realizado ha quedado con una buena calidad, que no presente defectos y su aspecto de terminación sea aceptable. En caso contrario, la inspección técnica o profesional responsable podrá indicar el sello posterior, para mejorar la ejecución de esa junta.

Cuando el proyecto especifique el sello de las juntas, se deberá ejecutar sobre el primer corte, realizado con anterioridad, una mayor abertura de la junta con un sistema de sierra que forme una ranura de aproximadamente 8 mm de ancho, con una profundidad no superior a 1/4 del espesor de la losa. Se deberá eliminar toda suciedad al interior de la junta, debiendo colocar el cordón de respaldo del sello en su interior, si el proyecto lo especifica (ver Lámina N°4.5, Detalle Aserrado de Juntas para Cordón, y recomendaciones dadas en apartado 14.3) luego se procederá a realizar el sello con los materiales indicados en 4.2.6, siguiendo las recomendaciones del fabricante para su uso.

Cuando el proyecto especifique barras de traspaso de carga en las juntas de contracción, estas deberán quedar colocadas de manera paralela al eje de la vía, con una tolerancia de 50 mm respecto de su posición horizontal y 20 mm respecto de la vertical, para evitar daños y agrietamiento por esfuerzos mecánicos que se pudieran producir debido a trabazón del movimiento de las losas por las barras.

4.6.4.2 JUNTAS TRANSVERSALES DE CONSTRUCCIÓN

Estas juntas se realizan en los términos de faena diaria o de etapa de hormigonado, haciéndolas coincidir con una junta transversal de contracción especificada o aquella existente en pavimento contiguo ya construido, de ser el caso.

Para materializar dicha junta, se puede:

I. Realizar la colocación del hormigón, continuando más allá de donde se realizará la junta, de manera de evitar mala terminación y luego cortar en todo el espesor y eliminar el hormigón en exceso o,
II. Colocar un molde de tope donde se realizará esta junta, para cortar contra este el hormigón o,
III. Unir de tope el hormigón contra el pavimento existente, y materializar la junta aserrada.

Cualquiera sea el caso, de las opciones indicadas en el párrafo anterior, estas juntas estarán provistas de barras de transmisión de carga, de acero A440-280H, lisas de 22 mm de diámetro, 46 cm de longitud, y espaciadas a 30 cm entre sí, cumpliendo las especificaciones dadas en 4.2.7, y en la sección 14, apartado 14.3.1.3, y en Apéndice III, Lámina N°4.4.

Las barras se insertan en el pavimento endurecido en una profundidad igual a la mitad del largo especificado de la barra. Para ello se realiza una perforación perfectamente perpendicular al borde del pavimento y en la mitad del espesor de la losa. Las perforaciones para insertar las barras se materializan con una broca de diámetro 2 mm superior al de la barra a insertar. Se debe asegurar la perpendicularidad entre la perforación y el borde del pavimento, evitando así fisuras debido a la trabazón de las barras de acero cuando se produzca movimiento de las losas en estas juntas.

Se deberá ejecutar sobre esta junta un corte con sierra, según el esquema de corte y sello usado en el resto del proyecto, siguiendo la guía de las juntas de contracción, de forma de generar la separación del material en su parte superior, que evite el agrietamiento posterior de manera aleatoria en el hormigón.

4.6.4.3 JUNTAS LONGITUDINALES

Estas juntas dividen la calzada en dos o más fajas paralelas y la distancia máxima recomendada entre ellas es de 4,0 m. Las juntas longitudinales deben materializarse cuando se realiza la colocación del hormigón en dos calzadas consecutivas, cuando la etapa del hormigonado es de más de 4 m de ancho, o cuando el proyecto utiliza diseño de juntas longitudinales intermedias, a distancia menor que el ancho de la calzada. En este último caso, se debe considerar la ejecución de cortes transversales adicionales, para materializar esquemas de corte cuadrado, según lo indicado en 4.6.4.1 y 14.3.1.1 acerca de Juntas Transversales de Contracción.

En el caso de que la junta se realice por tope de hormigonado entre calzadas adyacentes, se colocan barras de amarre de acero estriado, mediante la realización de una perforación perfectamente perpendicular en el borde de la primera calzada de hormigonado en la que se introduce la barra y se adhiere con epóxico.

Se acepta la utilización de un sistema de barras con coplas de empalme en la zona de borde, que dejen la copla y barra embebidos en la etapa de hormigonado inicial, de manera que se evite la realización de perforaciones posteriores. En este último caso, se acoplan posteriormente las barras del pavimento contiguo, las que se encuentran limpias antes de la colocación del hormigón y quedan embebidas en este.

En el caso de que se construya de una vez ambas fajas de pavimento, se provee un sistema que permita dejar colocadas las barras en la posición correcta al momento del hormigonado y posteriormente la junta se materializa mediante aserrado.

En el caso de materializar juntas longitudinales intermedias al ancho de la calzada, se puede evitar la utilización de barras de amarre adicionales en estas juntas, debido al efecto de confinamiento de los elementos adicionales de la urbanización (soleras, aceras, entre otras) que evitan la separación de la calzada. En caso de no existir estos elementos de confinamiento, se pueden instalar 2 estacas de acero por losa, de 30 cm de largo y con un diámetro de 12 cm, las que son enterradas en el borde exterior del pavimento en la base y tocando la losa para afianzarla, de manera de evitar el desplazamiento de estas losas de menores dimensiones.

4.6.5 SELLADO DE JUNTAS

4.6.5.1 PREPARACIÓN DE LA JUNTA

Las juntas que han sido aserradas para recibir sellos, deben contar con una cavidad de entre 8 y 12 mm de ancho, según el tipo de sellante y material de respaldo a emplear.

Previo al sellado, las juntas son limpiadas completamente de todo material extraño, mediante aire a presión; y se encuentran secas al momento de aplicar el sellante.

Es importante materializar el sellado de las juntas cuando estas se encuentran limpias y que el sello quede debidamente colocado, para evitar su deterioro y el del hormigón por introducción de partículas duras durante su uso.

4.6.5.2 SELLADO

Se coloca un cordón de respaldo de material compresible en el interior de la cavidad, pudiendo ser de goma, algodón u otro equivalente, y de diámetro del espesor de la abertura a ser sellada. Su función es la de limitar la profundidad del sellante, ayudar a mantener una configuración adecuada al mismo, y evitar la adherencia del sellante en la superficie inferior de la junta. (Ver Lámina N° 4.5, Detalle de Aserrado de Juntas para Cordón).

Para el sellado de las juntas se usa un material que puede ser a base de asfalto, poliuretano, polisulfuro, epoxipolisulfuro o silicona. Los tipos de aplicación de material sellante pueden ser los siguientes, que serán regidos por la norma indicada:

- Aplicación en frio : según ASTM D 1850
- Elastomérico aplicado en caliente : según ASTM D 3406
- Elástico aplicado en caliente : según AzSTM D 1190
- Sellante aplicado en caliente : según ASTM D 3405

Las características que el material manifiesta, al ser sometido a ciclos repetidos de elongación y contracción y de variaciones de temperatura son:

- Impermeabilidad al agua y a la infiltración de humedad
- Adherencia con el hormigón
- Elasticidad durable en el tiempo
- No fluir de la junta
- Resistencia a los agentes químicos y atmosféricos
- Invariabilidad volumétrica, 100% de reactividad sin solventes y resistencia a la acción de solventes aromáticos y alifáticos
- Cumplir con la norma AASHTO M 173 – 74 y ASTM 1851 – 74

Al aplicar el sellante, se tiene que considerar como mínimo la antigüedad de la fabricación del material a ser usado y las condiciones ambientales al momento de colocación. La aplicación del material de sello se realiza utilizando una pistola de calafateo, siguiendo las recomendaciones del fabricante para la aplicación eficiente y durable.

Se coloca la cantidad de sello necesaria para rellenar la junta hasta quedar 4 mm bajo la rasante del pavimento. Luego del sellado, los posibles derrames sobre la superficie fuera de la junta, se eliminan.

4.6.6 CURADO DEL HORMIGÓN

El procedimiento de curado del hormigón se efectúa inmediatamente después de la terminación de la superficie. El constructor mantendrá, durante todo el período de curado, una constante observación del pavimento y se encontrará atento para reparar cualquier área en que el sistema de curado haya sido deteriorado.

4.6.6.1 MEMBRANAS DE CURADO

El compuesto de las membranas de curado debe cumplir con las normas ASTM C 309 - 58 y AASHTO M 148 - 62; y estar constituidos en base a resinas, contar con una capacidad de reflejar más de un 60% de la luz solar, poseer alta viscosidad y secarse en un tiempo máximo de 30 minutos.

Su aplicación debe poder ejecutarse aun en presencia de agua superficial, sin que haya un desmedro de sus propiedades. Se sugiere utilizar una dosis mínima de 0,2 l/m^2 con una tolerancia del 5% u otra que indique las recomendaciones técnicas del fabricante.

Se aconseja aplicar el compuesto mediante nebulizadores sobre la superficie expuesta del pavimento (superficie de rodado y costados de borde) e inmediatamente después de realizada la terminación rugosa.

Se deberá reponer la membrana de curado luego de la ejecución de los cortes en la superficie del pavimento, de manera de proteger esa zona de un secado rápido producido por el disco de corte. Es aconsejable humedecer la junta antes de la aplicación de la membrana de curado, sobretodo en el caso de corte endurecido, de manera de reponer el agua para hidratación del cemento en esa zona.

En situaciones ambientales críticas, en zonas donde existan temperaturas elevadas y altas tasas de evaporación, se recomienda el siguiente procedimiento para el curado, el cual contempla dos etapas:

- Primera etapa, colocar retardador de evaporación (alcohol alifático): este producto se debe colocar una vez realizada la terminación superficial del concreto, con el hormigón fresco. Este producto evitará las primeras fisuras por retracción plástica y disminuirá el alabeo de construcción por secado de la superficie. Se puede omitir el uso de este producto, en caso de pavimentar bajo temperaturas no superiores a 20°C y además sin presencia de viento.
- Segunda etapa, colocar membrana de curado en base a resina: Una vez terminada la exudación del hormigón, es decir una vez endurecido este, se aplicará la membrana de curado tradicional, protegiendo el hormigón de la evaporación.

4.6.6.2 CURADO ACELERADO

Se acepta la utilización de métodos de aceleración de fraguado del cemento, en el caso en que se requiera una rápida apertura al tráfico. Entre los métodos existentes, destacan la utilización de láminas de polietileno con burbujas, geotextiles o mantas de abrigo.

El sistema de curado acelerado se coloca tan pronto el hormigón no quede marcado por el peso del material del método empleado. Es removido en las zonas donde posteriormente se realicen cortes de junta de contracción y es vuelto a reponer, una vez realizado el corte, por el máximo periodo que sea posible mantenerlo.

La duración de la utilización del sistema de curado acelerado depende de la resistencia que se requiera para la apertura rápida al tráfico y de la aptitud del hormigón en el desarrollo de resistencia para lograrlo. Se puede entregar al tráfico cuando el hormigón tenga por lo menos el 75% de la resistencia a compresión especificada por el diseño, lo que podrá ser verificado en terreno utilizando los métodos de madurez, con equipo en terreno, o curvas de resistencia del hormigón efectuadas en laboratorio.

4.6.7 COLOCACIÓN DE HORMIGÓN EN CLIMAS EXTREMOS

En climas fríos y calurosos, definidos según la NCh 170, se toman precauciones adicionales en la colocación del hormigón, de manera de asegurar un adecuado desarrollo de resistencia, independiente de las condiciones ambientales existentes, y de considerar la protección del hormigón para evitar choques térmicos que produzcan daño al pavimento.

En climas fríos se pueden considerar las siguientes acciones:

- Proteger térmicamente el hormigón con sistema que asegure al menos 5° C.
- Calentamiento de los materiales.
- Usar cemento de alta resistencia a temprana edad, para obtener un endurecimiento rápido.
- Usar aditivo acelerador de fraguado.

En climas calurosos se pueden considerar las siguientes acciones:

- Enfriar uno o más componentes antes de mezclarlos.
- Controlar la tasa de evaporación, según lo indicado por NCh 170.
- Enfriar los equipos de manejo y terminación del hormigón, rociándolos periódicamente con agua mediante nebulizadores.

En el caso de utilizar techos móviles de protección, se verifica que no se formen túneles que aumenten la velocidad del viento en su interior.

ART. 4.7 ENTREGA DEL PAVIMENTO AL TRÁNSITO

El pavimento puede abrirse al tránsito si se ha verificado el cumplimiento de los siguientes requisitos:

- Espesores (según apartado 4.8.3.1.).
- Resistencia: la resistencia del pavimento es igual o superior al 75% de la resistencia a compresión especificada de diseño (según apartados 4.3.2. y 4.8.3.4.).
- Regularidad superficial (según apartado 4.8.3.2.).

En todo caso, necesariamente el constructor solicitará a la inspección técnica o profesional responsable su autorización para la entrega al tránsito. Excepcionalmente puede autorizar por escrito también su apertura al tránsito, estando aún pendientes algunos de los controles o si hubiere rechazo de algunos sectores de la obra.

Por otra parte, la entrega al tránsito se concede una vez que se haya constatado que la superficie del pavimento esté perfectamente limpia y se haya procedido al sellado de las juntas, de ser el caso, así como también de la correcta terminación y limpieza de las obras anexas al pavimento.

ART. 4.8 CONTROL DE CALIDAD DEL HORMIGÓN

Las metodologías de control se realizan utilizando la normativa nacional vigente.

4.8.1 CONTROL DE LOS COMPONENTES DEL HORMIGÓN

Los controles a seguir para el aseguramiento de un control adecuado son:

4.8.1.1 CEMENTO

Que el cemento cumpla en cualquier momento de su utilización los requisitos dados en NCh 148 y NCh 170.

4.8.1.2 AGUA
Que el agua para la fabricación del hormigón cumpla los requisitos de NCh 1498.

4.8.1.3 ÁRIDOS

4.8.1.3.1 ENSAYOS
Se deben efectuar los ensayos indicados en NCh 163, de acuerdo a las especificaciones del proyecto.

Particularmente, en el caso de hormigones con fabricación en obra, se deberá realizar los ensayos correspondientes a fin de verificar el cumplimiento de las especificaciones técnicas contenidas en este Código.

4.8.1.3.2 FRECUENCIA DE MUESTREOS
Se deberá contar con ensayos destinados a control de recepción, con una antigüedad no superior a un año desde su fecha de emisión, los que pueden ser entregados por el proveedor del material, de manera de asegurar una fuente confiable de origen del material. Estos análisis se exigirán nuevamente en la obra cada vez que se cambie de proveedor o la procedencia de los áridos.

Se recomienda contar con a lo menos un muestreo de áridos para ensayos destinados a control y para el uso antes del inicio de la fabricación del hormigón, con una antigüedad no mayor a los 3 meses.

4.8.1.3.3 ALMACENAMIENTO
Se deberá tomar las siguientes precauciones para el almacenamiento de los áridos especificados para la dosificación del hormigón:

- Aislar los áridos del terreno, preparando la superficie para el acopio mediante una capa de 20 cm del mismo árido, debidamente compactada.
- Separar los diferentes áridos mediante mamparas de tablestacados, o mediante acopios separados a lo menos 5 metros entre sí.
- Permitir que el agua liberada de la humedad de los áridos, pueda drenar libremente a través de la superficie del terreno.

4.8.1.4 ADITIVOS
Para el almacenamiento de los aditivos se considera el envejecimiento, sedimentación, efectos del calor, congelamiento y la mantención de la etiqueta del fabricante que identifique claramente: el nombre del producto; recomendaciones de uso, fechas de vencimiento, toxicidad y cuidados para su manejo y almacenamiento.

4.8.2 CONTROL DEL HORMIGÓN FRESCO
Los ensayos que se deben realizar al hormigón fresco se clasifican dependiendo del volumen de hormigón que vaya a ser utilizado en la obra.

La toma de muestras y ensayo de probetas de hormigón fresco es una medida de control de la obra pero no es un ensayo que sirva para la recepción final del pavimento.

4.8.2.1 HORMIGÓN FABRICADO IN SITU (PEQUEÑOS VOLÚMENES)
Se deben ejecutar los siguientes controles y ensayos, con la frecuencia que se indica:

- Control de la humedad para corregir el peso de los áridos y del agua en la dosificación (diario).
- Control de docilidad medido por medio del asentamiento de cono de Abrams, según NCh 1019 (una vez al día).
- Control de rendimiento volumétrico de la amasada, mediante el ensayo de densidad aparente, aplicando el procedimiento de la NCh 1564 (una vez por semana o cada 50 m^3).
- Control de resistencia mecánica. Se toman y ensayan a lo menos tres muestras de hormigón en la obra o cada 100 m^3, según las normas NCh 171 - Hormigón. Extracción de muestras del hormigón y NCh 1017 - Hormigón. Confección y curado en obra de probetas para ensayos de compresión y tracción.
- El muestreo para ensayes de resistencia mecánica, se programa de forma que las muestras sean extraídas al azar, en función del volumen total de hormigón de la obra. Los ensayos a ser realizados son los siguientes:
  - ◊ **Control del aire incorporado:** Si se emplean aditivos incorporadores de aire, el control del porcentaje de aire se hace, a lo menos, una vez cada 50 m^3.
  - ◊ **Control del aire atrapado:** Se realiza en cada oportunidad que se muestree el hormigón para formar probetas destinadas al control de la resistencia mecánica.
  - ◊ **Control de temperatura:** Se realiza en cada oportunidad que se muestree el hormigón para formar probetas destinadas al control de la resistencia mecánica.

Las tolerancias en los resultados a los ensayos del hormigón fresco deben cumplir los rangos establecidos en la NCh 170.

Cuando se detectan variaciones que superen las tolerancias indicadas en dichas normas, se debe proceder de inmediato a aplicar medidas correctivas y efectuar las correcciones y ajustes que corresponda.

4.8.2.2 HORMIGÓN FABRICADO EN CENTRAL HORMIGONERA (GRANDES VOLÚMENES)
Los ensayos de evaluación de hormigones fabricados en central hormigonera se encuentran normados por lo establecido en la NCh1934, los cuales deberán ser realizados en el proyecto para verificar el cumplimiento de la calidad del hormigón especificada.

Los hormigones que sean usados para el proyecto de pavimentación podrán ser controlados según los criterios de la Tabla 4.2 que dependen del tipo de fabricación y la magnitud de la obra. Cabe mencionar que estos controles no serán considerados para efectos de la recepción final del pavimento.

TABLA 4.2
CRITERIOS DE MUESTREO DE HORMIGÓN FRESCO

	FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN	
MAGNITUD DE OBRA	EN SITIO (1)	CENTRAL HORMIGONERA
Obra Menor (< 150 m^3)	Probetas Hormigón Fresco	Estadística(2) y dosificación(3)
Obra Mayor	Probetas Hormigón Fresco	Probetas Hormigón Fresco(4)

(1) La confección de probetas se realiza en la planta donde se produce el hormigón.

(2) Se permite usar la estadística de resistencia de obras anteriores, obtenida para hormigones de igual designación y del mismo proveedor, por laboratorios acreditados con inscripción vigente en los registros del Minvu.

(3) En caso de no contar con la información anterior, se puede utilizar la estadística industrial de producción del proveedor, con resultados de ensayos anteriores a hormigones de similares características, incluyendo la dosificación del hormigón usado como respaldo.

(4) Probetas confeccionadas en el lugar de colocación. De ser necesario, se puede trasladar la muestra de hormigón en cantidad suficiente a un lugar diferente en que, posterior a su re-homogeneización, se confeccionan las probetas y se almacenan en un lugar donde pueda permanecer sin alteraciones hasta su retiro al laboratorio de ensayo.

En obras en que la cantidad de hormigón corresponde a magnitud de Obra Menor se deberá considerar un (1) muestreo del hormigón.

En proyectos de magnitud de Obra Mayor, se deberá considerar muestreo por cada 250 m^3 de hormigón, según requisitos de NCh1998, u otra frecuencia que definan la Especificaciones Técnicas del proyecto Serviu respectivo.

4.8.3 CONTROL DE HORMIGÓN ENDURECIDO

La recepción final del pavimento será mediante ensayos de control de hormigón endurecido.

4.8.3.1 CONTROL DE ESPESOR DEL PAVIMENTO

El control de espesor debe realizarse mediante la extracción de testigos.

Para controlar el espesor de un pavimento, se realizará una extracción cada 1.000 m^2 de superficie pavimentada, con un mínimo de dos extracciones, excepto en obras de menos de 100 m^2, en las que solo solicitará una extracción.

Luego de efectuada la extracción, se acepta el área representada por esta, si su altura no es inferior en más de un 5% respecto al espesor especificado por proyecto.

Se recomienda que el criterio de aceptación o rechazo, de las áreas de pavimento representadas por extracciones, cuya altura promedio sea inferior en un rango de 5% a 10% del espesor especificado por proyecto, sea definido por las Especificaciones Técnicas del Proyecto, pudiendo dejar esta definición a criterio de la Fiscalización Técnica de la Obra si es necesario.

En ningún caso se aceptarán mediciones cuya altura promedio sea inferior a un 10% del espesor especificado por proyecto.

Sin embargo, cualquier área que no cumpla los criterios de aceptación, podrá ser reevaluada a solicitud de la Fiscalización Técnica de la Obra, mediante extracciones exploratorias, realizadas a distancias no menores de 3 m, ni mayores de 20 m de los puntos de exploración objetados. La realización de dichas extracciones será a costo del constructor.

4.8.3.2 CONTROL DE REGULARIDAD SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO

La regularidad superficial del pavimento se realizará mediante control por medio de IRI (Índice de Regularidad Internacional), según las disposiciones que se indican a continuación:

4.8.3.2.1 VÍAS EXPRESAS, TRONCALES Y COLECTORAS

En vías expresas, troncales y colectoras se realizará el control de IRI con equipos de alto rendimiento y por una empresa con experiencia en la materia, mediante un equipo perfilómetro de clase 1, según especificación del Banco Mundial. El control se puede hacer por sectores homogéneos, entendiéndose por ello, que corresponden a una misma estructuración. No se consideran puentes, badenes u otras singularidades que afecten la medición.

Se medirá en forma continua en tramos de 200 m, o fracción en caso de que el último tramo de un sector homogéneo no alcance a los 200 m, y se informa el IRI (m/km) con un decimal, debidamente georeferenciados por kilometraje del proyecto.

La regularidad se mide longitudinalmente por pista, mediante un sistema perfilométrico láser clase 1 de precisión, midiendo la elevación del perfil al milímetro y con una frecuencia igual o superior a cuatro puntos por metro, es decir, cada 250 mm como máximo y ejecutando el programa IRI.

Alternativamente, este control se puede hacer con rugosímetros tipo respuesta, debidamente calibrados con algún sistema perfilométrico que cumpla con las mismas características mencionadas anteriormente. El perfilómetro se hace pasar por la dirección de las huellas normales de circulación vehicular.

La evaluación del IRI se hace por media móvil, tomando los valores de cinco tramos consecutivos. Se entiende que la superficie del pavimento tiene regularidad aceptable si todos los promedios consecutivos de cinco valores de IRI, tienen un valor igual o inferior a 2,0 m/km y ninguno de los valores individuales supera 2,8 m/km.

En caso de incumplimiento de esta última condición, se recomienda que el constructor efectúe las reparaciones necesarias para llegar a un valor de IRI bajo el límite máximo establecido.

4.8.3.2.2 VÍAS LOCALES Y DE SERVICIO

Para las vías locales y de servicio, se controlará la regularidad superficial del pavimento, mediante el empleo del equipo Hi-LO o MERLIN.

El equipo recorre el pavimento en sentido longitudinal, a lo largo de tres posiciones paralelas al eje de la calzada. Se registran irregularidades superficiales a lo largo de su recorrido entre dos puntos situados en distancias de 3 m entre sí. Se marcan las zonas en que se compruebe irregularidades iguales o mayores que 5 mm.

Se recomienda aceptar de inmediato las losas del pavimento en donde se obtenga, en las tres posiciones del equipo, diferencias o irregularidades inferiores a 4 mm.

Las losas que muestren irregularidades comprendidas entre 5 mm y 12 mm se someten a cepillado en las zonas respectivas, con una herramienta aprobada, a fin de conseguir que dichas irregularidades se reduzcan a menos de 5 mm.

Las zonas rehechas se someten al control de regularidad superficial, en igual forma que lo descrito anteriormente. No obstante lo anterior, las bases técnicas especiales pueden establecer otro sistema para el control de la regularidad superficial y/o precisar la aplicación de este mismo sistema.

4.8.3.2.3 PASAJES

No se establecen requisitos

4.8.3.3 RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

En vías expresas, troncales, colectoras, así como también en aquellas con pendientes longitudinales superiores al 10%, el coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD) debe alcanzar un valor promedio mínimo de 0,60, ninguno de los valores individuales será menor a 0,55.

Los controles del coeficiente CRD serán de cargo del constructor y deberán efectuarse mediante el péndulo británico (Norma NLT-175). Se medirá por pista y a distancias máximas de 50 m, y se contará al menos con 2 mediciones por pista.

En caso de incumplimiento, se podrá optar por mejorar el coeficiente CRD mediante cepillado que cubra el 100% de la superficie del pavimento, cuando esta tiene menos de una cuadra o, en proyectos de mayor longitud, cepillar al menos una cuadra. En ambos casos se cubrirá con el cepillado todas las pistas de la calzada. De persistir el incumplimiento se rehará la carpeta de la zona afectada, delimitada esta por el área de influencia que representa la o las medidas defectuosas.

4.8.3.4 CONTROL DE RESISTENCIAS DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

La resistencia del hormigón se controla de manera de asegurar que se cumpla con la resistencia especificada del proyecto. Para el control de la resistencia, se utilizará la información obtenida de los ensayos de testigos extraídos del pavimento ejecutado, realizados durante el control del hormigón endurecido, que son medidas a los 28 días o corregidos para expresar su resistencia como equivalente a esa edad.

Para la evaluación de entrega de hormigones se considerará la NCh 1998, mediante el lote por parcialidades, obteniendo un grupo de muestras consecutivas, las que se evaluarán a medida que se va utilizando el hormigón en obra. Se podrá utilizar este método para ir verificando que el hormigón que está siendo utilizado, cumple con los parámetros requeridos por proyecto, pudiendo corregir a tiempo en caso de incumplimientos.

Se debe verificar que los resultados de los ensayos de hormigón endurecido no sean menores a los presentados en la Tabla 4.3 para fi de valores individuales, y f3 del promedio de 3 valores consecutivos.

Los ensayes de laboratorio se efectúan por un laboratorio acreditado por el INN de acuerdo a NCh 17025 e inscrito en los registros de la especialidad en el Minvu.

TABLA 4.3
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CILINDRICA MÍNIMA DE HORMIGONES PARA VALORES INDIVIDUALES fi Y PARA PROMEDIO DE 3 MUESTRAS CONSECUTIVAS f3.

TIPO DE VÍA	Resistencia especificada a compresión cilíndrica fc [MPa]	Fracción Defectuosa	
		20%	
		fi	f3
Expresa Troncal y Colectora	30 (G30)	24.5	28.5
Servicio, Local y Pasajes **(*)**	30 (G30)	24.5	28.5

(*) Para este tipo de vías se permitirá considerar una resistencia media a la flexotracción de diseño menor a la indicada en la Tabla 4.1 pero en ningún caso menor a 4,0 MPa (G25). Se hace presente que los espesores de las cartillas de Diseño (Sección 14) para este tipo de pavimentos, son válidos para los valores ilustrados en la Tabla 4.1; por lo tanto, el uso de resistencias menores implicará justificar los espesores adoptados usando metodologías mecanicistas. Para otros valores de fc, se debe calcular los requisitos de fi y f3 según: fi = fc - 5,5 y f3 = fc -1,5.

SECCIÓN 05
PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

SECCIÓN 05
PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

ART. 5.1 GENERALIDADES

Existen diversas formas en que es posible clasificar los pavimentos, una de ellas es hacerlo de acuerdo a la función que desempeñan. Con ese criterio, los pavimentos y revestimientos asfálticos pueden ser clasificados en los siguientes cuatro grupos:

Riegos Asfálticos

- Riego de imprimación
- Riego de liga
- Riego de neblina
- Riego matapolvo

Capas no Estructurales y de Protección

- Lechadas asfálticas
- Microaglomerados en frío
- Sellos asfálticos de agregado
- Cape seal

Capas Estructurales

- Mezclas asfálticas en frío
- Mezclas asfálticas en caliente

Capas Funcionales

- Microaglomerados discontinuos en caliente
- Mezclas Stone Mastic Asphalt (SMA)

ART. 5.2 MATERIALES ASFÁLTICOS

5.2.1 CLASIFICACIÓN
Los materiales asfálticos, también denominados ligantes asfálticos, se clasifican en los siguientes grupos:

- Cementos asfálticos
- Emulsiones asfálticas

5.2.2 ENSAYOS MÍNIMOS PARA EL ÁREA DE ASFALTO Y MEZCLAS ASFÁLTICAS EMPLEADAS EN PAVIMENTOS
A continuación, se identifican los ensayos mínimos referidos a esta área, que deben cumplir los laboratorios

inscritos en el registro Oficial de Laboratorios de Control Técnico de Calidad de Construcción del Minvu.

Para cada una de las normas mencionadas deberá utilizarse la versión oficial vigente.

5.2.2.1 CONTROL DE MEZCLAS EN LABORATORIO

I. Determinación de la densidad máxima de mezclas asfálticas sin compactar, MC 8.302.37.

II. Resistencia a la deformación plástica de mezclas asfálticas usando el aparato Marshall, MC 8.302.40.

III. Determinación de la adherencia de árido-asfalto por el método estático, MC 8.302.29.

IV. Determinación de la adherencia de árido-asfalto mediante carbonato de sodio (Riedel - Weber) MC 8.302.30.

5.2.2.2 CONTROL DE MEZCLAS EN TERRENO

I. Muestreo de mezclas bituminosas, MC 8.302.27.

II. Determinación densidad real de mezclas bituminosas compactadas, MC 8.302.38.

III. Ensayo de extracción, MC 8.302.36.

IV. Ensayo de ignición, MC 8.302.56.

V. Determinación de espesor o altura de probetas provenientes de mezclas bituminosas compactadas, ASTM D3549.

VI. Extracción de testigos de pavimentos asfálticos, NCh 1171/1.

VII. Análisis granulométrico de agregados provenientes de extracción, MC 8.302.28.

5.2.2.3 ASFALTOS Y SUS DERIVADOS

I. Muestreo, NCh 2332.

II. Determinación de la viscosidad cinemática NCh 2335 o la viscosidad absoluta mediante el viscosímetro rotacional MC 8.302.24.

III. Determinación de la viscosidad mediante viscosímetros capilares de vacío, NCh 2336.

IV. Determinación del punto de ablandamiento mediante el aparato de anillo y bola, NCh 2337.

V. Ensayo de penetración, NCh 2340.

VI. Ensayo de película delgada rotatoria, NCh 2346.

VII. Asfaltenos en petróleos combustibles – Método por insolubles en n-heptano, NCh 2034.

VIII. Ensayo de la mancha, NCh 2343.

IX. Ensayo de ductilidad, NCh 2342.

X. Método de ensayo para recuperación del asfalto de mezclas por el método Abson, MC 8.302.34.

5.2.3 CEMENTOS ASFÁLTICOS Y EMULSIONES ASFÁLTICAS

5.2.3.1 CEMENTOS ASFÁLTICOS

5.2.3.1.1 DEFINICIÓN

Se definen como cementos asfálticos (CA), los ligantes hidrocarbonados, sólidos o viscosos, preparados a partir de hidrocarburos naturales por destilación, oxidación o fraccionamiento, que contienen una baja proporción de productos volátiles y que poseen propiedades aglomerantes características siendo esencialmente solubles en sulfuro de carbono.

5.2.3.1.2 CONDICIONES GENERALES

Los cementos asfálticos poseen un aspecto homogéneo y están prácticamente exentos de agua, de modo que no formen espuma cuando se calienten a la temperatura de empleo.

En esta sección se contemplan las siguientes clasificaciones de los cementos asfálticos:

- Por Grado Viscosidad (AC) Tabla 5.1 para cementos asfálticos clasificados por viscosidad (de acuerdo a especificación ASTM D 3381).
- Por Grado por Desempeño (PG) Tabla 5.2 para cementos asfálticos clasificados por desempeño (SUPERPAVE).
- Modificados con Polímero (AMP Y AMP1) Tabla 5.3 para cementos asfálticos elastoméricos.
- Multigrado Tabla 5.4 para cementos asfálticos multigrado.

TABLA 5.1
CEMENTOS ASFÁLTICOS CLASIFICADOS POR VISCOSIDAD

ENSAYO	NORMA	GRADO DE VISCOSIDAD			
		AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Viscosidad, 60°C, (p)	NCh 2336	1000 ± 200	2000 ± 400	3000 ± 600	4000 ± 800
Viscosidad 135°C, min, (cst)	NCh 2335	250	300	350	400
Penetración, 25°C, 100g, 5 seg, min (dmm)	NCh 2340	80	60	50	40
Punto de inflamación, copa abierta Cleveland, min, (°C)	NCh 2338	220	230	230	230
Solubilidad en tridoroetileno, min, (%)	NCh 2341	99	99	99	99
Residuo ensayo de película delgada rotatoria	NCh 2346				
Viscosidad, 60°C, max, (p)	NCh 2336	5000	10000	15000	20000
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, min, (cm)	NCh 2342	75	50	40	25

TABLA 5.2
CEMENTOS ASFÁLTICOS CLASIFICADOS POR DESEMPEÑO (SUPERPAVE)

GRADO DE DESEMPEÑO	PG52	PG58	PG64
	34	28	22
Temperatura máxima de diseño media móvil (7 días) de temp. Max. de pavimento, °C **(a)**	< 52	< 58	< 64
Temperatura mínima del pavimento de diseño, °C	> -34	> -28	> -22
LIGANTE ASFÁLTICO ORIGINAL			
Punto de inflamación, 8.302.9, temperatura mínima, °C		230	
Viscosidad, 8.302.24: máx. 3 Pa.s, temperatura ensaye, °C (b)		135	
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/senδ **(f)** mín. 1,00 kPa, temp. ensaye, °C **(c)**	52	58	64
HORNO ROTATORIO DE PELÍCULA DELGADA RTFOT (8.302.33)			
Pérdida de masa, porcentaje máx.		1	
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/senδ **(f)** mín. 2,2 kPa, temp. ensaye, °C	52	58	64
CÁMARA DE ENVEJECIMIENTO A PRESIÓN PAV (8.302.23)			
Temp. de envejecimiento, °C **(d)**	90	100	100
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*senδ **(f)** máx. 5000 kPa, temp. ensaye, °C	13	19	25
Rigidez en creep, 8.302.25, a 60 s: S máx 300 Mpa, valor-m mín. 0,300 temp. ensaye, °C **(e)**	-24	-18	-12
Tracción directa, 8.302.26, 1 mm/min: deformación de rotura, mín. 1,0% temperatura ensaye, °C	-24	-18	-12

(a) Las temperatura del pavimento son estimadas a partir de las temperaturas del aire, usando un algoritmo incluido en Superpave, o serán provista por la agencia específica.

(b) El método referido será el 8.302.24 (usando un vástago N° 21 a 20 rpm), sin embargo, se pueden usar métodos alternativos para ensayes de rutina y control de calidad. Este requerimiento puede ser omitido si así lo dispone la inspección fiscal, siempre y cuando se garantice que el ligante asfáltico puede ser adecuadamente bombeado y mezclado a temperaturas que satisfagan todos los estándares de seguridad y calidad aplicables.

(c) Para control de calidad de producción de cemento asfáltico no modificado, la medida de la viscosidad puede realizarse por medio de G*/senδ en el reómetro de corte dinámico, a temperaturas de ensaye donde el asfalto se comporta como fluido newtoniano. Cualquier estándar adecuado de medida de viscosidad puede ser usado, incluyendo ensayes por viscosidad capilar o viscosímetros rotacionales.

(d) La temperatura a usar en la cámara PAV está basada en la simulación de las condiciones climáticas y puede ser 90, 100 o 110°C. La temperatura es de 100°C para PG 64 y grados superiores, excepto en climas desérticos, donde es 110°C.

(e) Si la rigidez en creep (S) es menor a 300 Mpa, el ensaye de tracción directa no se requiere. Si está entre 300 y 600 Mpa, se pueden usar los requerimientos de deformación de rotura en el ensaye de tracción directa en vez de los requerimientos de rigidez en creep. El valor-m, en ambos casos, debe ser mayor que 0,300.

(f) G*/senδ = rigidez a altas temperaturas, G*senδ = rigidez a bajas temperaturas.

TABLA 5.3
CEMENTOS ASFÁLTICOS MODIFICADOS CON ELASTÓMEROS

ENSAYO	ESPECIFICACIONES		NORMA
	AMP	AMP1	
ORIGINAL			
Penetración, 25°C,100 g, 5 s, 0,1 mm	60-80	15-30	NCh 2340
Punto de ablandamiento, °C	Mín. 65	Mín. 70	NCh 2337
Ductilidad,			NCh 2342
25°C, 5 cm/min, cm	Mín. 80	Mín. 10	
5°C, 5 cm/min, cm	Mín. 50	-	
Estabilidad al almacenamiento			NLT 328*
Diferencia Punto ablandamiento	Máx. 5	Máx. 5	NCh 2337
Diferencia Penetración	Máx. 10	Máx. 5	NCh 2340
Recuperación Elástica, torsión			NLT 329*
25 °C, %	Mín. 60	-	
40 °C, %	-	Mín. 15	
Punto de Quiebre Fraass, °C	Máx. -17	Máx. -4	NCh 2344
Punto de Inflamación, °C	Min. 235	Mín. 235	NCh 2339
RESIDUO DESPUÉS DE PELÍCULA ROTATORIA			
Variación de masa	Máx.0.8	Máx.1	
Penetración, 25°C,100 g, 5 s, 0,1 mm	Mín. 65	Mín. 70	NCh 2340
Variación del Punto de ablandamiento	-5 a +10	-4 a +8	NCh 2337
Ductilidad 5°C	Min.15		NCh 2342
Ductilidad 25°C		Mín. 5	NCh 2342

* Se aceptará el cambio de las Normas NLT mencionadas en este Código, por sus versiones UNE EN vigentes, siempre y cuando el estándar exigido sea homologado a través de la aplicación de la nueva norma, para lo cual deberá presentar ante Serviu, la fundamentación correspondiente.

Se debe incluir un reporte del ensayo de Microscopía de Epiflourescencia, informando respecto de la compatibilidad Betún-Modificador, rechazando el cemento asfáltico cuando el reporte de compatibilidad sea “Malo”.

Se ha empleado la designación AMP al cemento asfáltico modificado con polímero elastomérico SBS a emplear en mezclas asfálticas especiales, empleadas en carpetas de rodadura.

Se ha empleado la designación AMP1 al cemento asfáltico modificado con polímero elastomérico a ser empleado en mezclas de alto módulo en capas de base o intermedia.

TABLA 5.4
CEMENTOS ASFÁLTICOS MODIFICADOS MULTIGRADO

ENSAYOS		MÉTODO DE ENSAYO	Multigrado 40-60	Multigrado 60-80
Penetración a 25°C, 100 g, 5 seg.	0,1 mm	NCh 2340	40 - 60	60 - 80
Viscosidad absoluta Rotacional a 60 °C	(P)	ASTM D44022	7.000 - 13.000	5.000 - 11.000
Punto de Ablandamiento	(°C)	NCh 2337	Mín. 55	Mín. 52
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min	(cm)	NCh 2342	Mín. 80	Mín. 80
Índice de Penetración	(adim)	P.Abl./Pen	Mín. 0,3	Mín. 0,3
Índice de Fraass	(°C)	NCh 2344	Máx. (-17)	Máx. (-17)
Punto de Inflamación, COC	(°C)	NCh 2338	Mín. 232	Mín. 232
Ensayo de Película Delgada Rotatoria				
Pérdida por calentamiento	(%)	NCh 2346	Máx. 1,0	Máx. 1,0
Penetración de residuo	(% del original)	NCh 2340	Mín. 54	Mín. 54
Viscosidad absoluta Rotacional a 60 °C	(P)	ASTM D4402	Informar	Informar

5.2.3.1.3 TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

El cemento asfáltico se transportará en camiones estanques con sistema de aislación térmica, calefacción y provistos de termómetros situados en puntos visibles. Los estanques deberán estar preparados para poder calentar el cemento asfáltico cuando, por cualquier anomalía, la temperatura de este baje excesivamente, impidiendo su vaciado. Asimismo, deben disponer de un elemento adecuado para la toma de muestras. El cemento asfáltico se almacenará en planta asfáltica, en uno o varios estanques, térmicamente aislados y provistos de bocas de ventilación para evitar que trabajen a presión además deberán contar con dispositivos de medición y seguridad, situados en puntos de fácil acceso. Se debe contar con un mínimo de dos estanques por tipo de cemento asfáltico, uno para trabajo y otro para la recepción del producto. El primero deberá estar siempre a temperatura de trabajo y con recirculación permanente, a modo de garantizar la homogenización del cemento asfáltico. El segundo estanque será para recepcionar y calentar el cemento asfáltico a la temperatura de trabajo, transportándolo hacia el primer estanque.

Los estanques en planta asfáltica deberán estar dotados de su propio sistema de calefacción y provistos con termómetros situados en puntos visibles y de fácil acceso. El sistema de calefacción deberá ser capaz de evitar, ante cualquier anomalía, que la temperatura del producto supere los umbrales fijados para su almacenamiento, en más de 10 grados Celsius (10°C). Asimismo, debe disponer de una válvula adecuada para la toma de muestras.

Cuando los estanques de almacenamiento no dispongan de medios de carga propios, se recomienda que los camiones empleados para el transporte del cemento asfáltico, estén dotados de medios neumáticos o mecánicos para el vaciado rápido de su contenido a los mismos. Cuando se empleen bombas para vaciado, se prefiere las de tipo rotativo a las centrífugas.

Todas las tuberías y bombas utilizadas para el vaciado del cemento asfáltico, desde el camión de transporte hacia el estanque de almacenamiento y de este último hacia el equipo de empleo, deberán estar calefaccionadas, aisladas térmicamente y dispuestas de tal manera, que facilite su limpieza después de cada aplicación y/o jornada de trabajo.

El vaciado desde los camiones de transporte a los estanques de almacenamiento se realizará mediante una tubería directa.

Se tomarán todas las medidas para el cumplimiento de la legislación vigente en materia medioambiental, de seguridad laboral, almacenamiento y transporte.

Se recomienda realizar un informe de visita a planta, con copia a el (los) proveedor (es), en lo referente a los sistemas de transporte, vaciado, almacenamiento y en todo cuanto pudiera afectar la calidad del material suministrado y la salud de los trabajadores.

5.2.3.1.4 RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN

Cada camión estanque de cemento asfáltico que llegue a planta asfáltica, deberá venir acompañado de una guía de despacho (la cual indicará los sellos de seguridad a verificar antes de la descarga) y un certificado con los resultados de los análisis y ensayos correspondientes a la producción a la que pertenezca el camión suministrado (se entiende 5.000 toneladas máximo). Este certificado es emitido por un laboratorio con inscripción vigente del Minvu y comprende los ensayos exigidos al tipo de cemento asfáltico suministrado, de acuerdo con las Tablas 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4.

La guía deberá contener explícitamente, al menos, los siguientes datos:

- Nombre y dirección de la empresa suministradora.
- Fecha de fabricación y de suministro.
- Identificación del vehículo que lo transporta y chofer.
- Cantidad que se suministra.
- Denominación comercial, si la hubiese.
- Tipo de cemento asfáltico suministrado, de acuerdo con la denominación especificada en el presente artículo.
- Nombre del comprador, su dirección y destino.

5.2.3.1.5 CONTROL DE CALIDAD

Control a la entrada del mezclador

Considera como lote, que se acepta o rechaza, de acuerdo a lo dispuesto en el apartado 5.2.3.1.6 del presente artículo, a la cantidad de 100 toneladas o fracción diaria de cemento asfáltico.

Por cada lote, se tomarán dos muestras de al menos un kilogramo (1 kg), según NCh 2332, en algún punto situado entre la salida del estanque de almacenamiento y la entrada del mezclador. Sobre una de las muestras se realizará la determinación de la viscosidad absoluta acorde a NCh 2336.

5.2.3.1.6 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

El fiscalizador rechazará la partida, en el caso de que el cemento asfáltico no cumpla la respectiva especificación establecida en las Tablas 5.1, 5.2, 5.3 o 5.4, según lo especificado.

5.2.3.2 EMULSIONES ASFÁLTICAS

5.2.3.2.1 DEFINICIÓN

Se definen como emulsiones asfálticas, a las dispersiones de pequeñas partículas de un cemento asfáltico, en una solución de agua, aditivos y un agente emulsionante de carácter aniónico o catiónico, lo que determina la denominación de la emulsión.

Se definen como emulsiones asfálticas modificadas con elastómeros, a las dispersiones de pequeñas partículas de un cemento asfáltico y de un polímero en una solución de agua, aditivos y un agente emulsionante.

5.2.3.2.2 CONDICIONES GENERALES

Las emulsiones asfálticas se fabrican en base a un cemento asfáltico de los definidos en el apartado 5.2.3.1: agua, emulsionantes y, en su caso, fluidificantes.

Las emulsiones asfálticas presentan un aspecto homogéneo y una adecuada dispersión del cemento en la fase acuosa.

A efectos de aplicación de este artículo, la denominación del tipo de emulsión asfáltica es la siguiente:

- Catiónica de Quiebre Rápido denominadas, CRS - 1, CRS - 2
- Catiónica de Quiebre Medio denominadas, CMS - 2, CMS - 2h
- Catiónica de Quiebre Lento denominadas, CSS - 1, CSS - 1h
- Aniónica de Quiebre Rápido denominadas, RS - 1, RS - 2.
- Aniónica de Quiebre Rápido Alta Flotación denominada, HFRS - 2
- Aniónica de Quiebre Medio denominadas, MS - 1, MS - 2, MS - 2h
- Aniónica de Quiebre Medio Alta Flotación denominadas, HFMS - 1, HFMS - 2, HFMS - 2h
- Aniónica de Quiebre Lento denominadas, SS - 1, SS - 1h
- Emulsión Imprimante
- Modificadas con elastómero denominadas, ECR-1 - m, ECR-2 - m, ECM - m, EAM - m, ECL -1 - m

De acuerdo con su denominación, las características de las emulsiones asfálticas cumplen las especificaciones de la Tabla 5.5 y Tabla 5.6 según sean aniónicas o catiónicas y para emulsiones asfálticas modificadas con elastómeros correspondientes con su denominación, con la Tabla 5.8.

Las emulsiones asfálticas modificadas con elastómeros presentan un aspecto homogéneo y una adecuada dispersión del cemento asfáltico en la fase acuosa.

La denominación del tipo de emulsión asfáltica modificada con elastómero se compone mediante las letras EA o EC, representativas del tipo de emulsionante utilizado en su fabricación (aniónico o catiónico), seguidas de las letras R, M o L, según su tipo de rotura (rápida, media o lenta), seguida, eventualmente, de un guion (-) y de los números 1,2 (indicador de su grado de viscosidad baja o alta respectivamente) y finalmente, de un guión y la letra m (que identifica el tipo de emulsión especificada en el presente artículo), especificándose para su aplicación en vías urbanas los tipos indicados en la Tabla 5.9.

TABLA 5.5
EMULSIONES ASFÁLTICAS ANIÓNICAS

TIPO GRADO	Quiebre Rápido				Quiebre Rápido Alta Flotación		Quiebre Medio					
	RS 1		RS 2		HFRS 2		MS 1		MS 2		MS 2H	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Ensayos a la emulsión:												
Viscosidad, Saybolt Furol a 25° C, SFs.	20	100	-	-	-	-	20	100	100	-	100	-
Viscosidad, Saybolt Furol a 50° C, SFs.	-	-	75	400	75	400	-	-	-	-	-	-
Ensayo de estabilidad en almacenamiento, 24 h, %. (1)	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1
Demulsibidad, 35 ml, 0,02 N Ca Cl2, %.	60	-	60	-	60	-	-	-	-	-	-	-
Capacidad de cubrimiento y resistencia al agua:												
Cubrimiento, agregado seco.	-	-	-	-	-	-	Bueno		Bueno		Bueno	
Cubrimiento después esparcido.	-	-	-	-	-	-	Regular		Regular		Regular	
Cubrimiento, agregado húmedo.	-	-	-	-	-	-	Regular		Regular		Regular	
Cubrimiento después de esparcido.	-	-	-	-	-	-	Regular		Regular		Regular	
Ensayo de Carga Partícula.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ensayo de tamizado, %.	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10
Ensayo de mezcla con cemento, %.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Destilación:												
Residuo por destilación, %.	55	-	63	-	63	-	55	-	65	-	65	-
Aceite destilado por volumen de emulsión, %.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ensayos al residuo de la destilación:												
Penetración a 25°C, 100 g., 5 seg., 0,1 mm.	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	40	90
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm.	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-
Solubilidad en Tricloroetileno, %.	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-
Ensayo de Flotación a 60°C, s.	-	-	-		1.2	-	-	-	-	-	-	-
Ensayo de la mancha:												
Heptano/Xilol, % Xilol.	-	30	-	30	-	30	-	30	-	30	-	30

TABLA 5.5 (continuación)
EMULSIONES ASFÁLTICAS ANIÓNICAS

TIPO GRADO	Quiebre Medio Alta Flotación						Quiebre Lento					
	HFMS 1		HFMS 2		HFMS 2H		HFMS 2S		SS 1		SS 1H	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Ensayos a la emulsión:												
Viscosidad, Saybolt Furol a 25º C, SFs.	20	100	100	-	100	-	50	-	20	100	20	100
Viscosidad, Saybolt Furol a 50º C, SFs.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ensayo de estabilidad en almacenamiento, 24 h, %, (1)	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1
Demulsibidad, 35 ml, 0,02 N Ca Cl2, %.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Capacidad de cubrimiento y resistencia al agua:												
Cubrimiento, agregado seco	Bueno		Bueno		Bueno		Bueno		-	-	-	-
Cubrimiento después esparcido	Regular		Regular		Regular		Regular		-	-	-	-
Cubrimiento, agregado húmedo	Regular		Regular		Regular		Regular		-	-	-	-
Cubrimiento después de esparcido	Regular		Regular		Regular		Regular		-	-	-	-
Ensayo de Carga Partícula.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ensayo de tamizado, % (1)	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10
Ensayo de mezcla con cemento, %.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0	-	2,0
Destilación:												
Residuo por destilación, %.	55	-	65	-	65	-	65	-	57	-	57	-
Aceite destilado por volumen de emulsión, %.	-	-	-	-	-	-	1	7	-	-	-	-
Ensayo en el Residuo de destilación:												
Penetración a 25°C, 100 g., 5 seg.,0,1 mm.	100	200	100	200	40	90	200		100	200	40	90
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm.	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-
Solubilidad en Tricloroetileno, %.	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-
Ensayo de Flotación a 60°C, s.	1.200	-	1.200	-	1.200	-	1.200	-	-	-	-	-
Ensayo de la mancha:												
Heptano/Xilol, % Xilol.		30		30		30		30		30		30

TABLA 5.6
EMULSIONES ASFÁLTICAS CATIÓNICAS

TIPO GRADO	Quiebre Rápido				Quiebre Medio				Quiebre Lento			
	CRS 1		CRS 2		CMS 2		CMS 2H		CSS 1		CSS 1H	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Ensayos a la emulsión:												
Viscosidad, saybolt furol a 25º c, seg.	-	-	-	-	-	-	-	-	20	100	20	100
Viscosidad, saybolt furol a 50º c, seg.	20	100	100	400	50	450	50	450	-	-	-	-
Ensayo de estabilidad en almacenamiento, 24 h, %.	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1
Demulsibidad, 35 ml, 0,8% dioctylsulfosuccinato de sodio, %.	40	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Capacidad de cubrimiento y resistencia al agua:												
Cubrimiento, agregado seco.	-	-	-	-	Bueno		Bueno		-	-	-	-
Cubrimiento, después de esparcido.	-	-	-	-	Regular		Regular		-	-	-	-
Cubrimiento, agregado húmedo.	-	-	-	-	Regular		Regular		-	-	-	-
Cubrimiento, después de esparcido.	-	-	-	-	Regular		Regular		-	-	-	-
Ensayo de carga de partícula.	Positiva		Positiva		Positiva		Positiva		Positiva		Positiva	
Ensayo de tamizado, %. (1)	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10
Ensayo de mezcla con cemento, %.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0	-	2,0
Destilación:												
Residuo, %.	60	-	65	-	65	-	65	-	57	-	57	-
Aceite destilado por volumen de emulsión, %.	-	3	-	3	-	12	-	12	-	-	-	-
Ensayo en el residuo de destilación:												
Penetración a 25°C, 100 g., 5 seg.,0,1 mm.	100	250	100	250	100	250	40	90	100	250	40	90
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm.	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-
Solubilidad en tricloroetileno, %.	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-
Ensayo de la mancha:												
Heptano/xilol, % xilol.	-	30	-	30	-	30	-	30	-	30	-	30

TABLA 5.7
EMULSIÓN IMPRIMANTE

ENSAYO	EXIGENCIA	MÉTODO
Viscosidad Saybolt Universal a 25°C (sSU)	20 – 100	NCh 2334.
Punto Inflamación (°C)	Mín. 90	NCh 2338
Densidad (kg/m³)	960 – 980	NCh 2333
Destilación		
Residuo (%)	Mín. 20	NCh 2348
Aceite (%)	Máx. 15	NCh 2348
Ensayo en el residuo		
Flotación a 50 °C (s)	Mín. 60	ASTM-D139

TABLA 5.8
EMULSIONES ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON ELASTÓMEROS

CARACTERÍSTICAS	Normas	ECR 1 M		ECR 2 M		ECM M		EAM M		ECL 1 M	
		Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Emulsión Original:											
Viscosidad Saybolt Furol a 50°C, seg.	NCh 2334	-	50	50	200	20	-	50	-	-	50
Ensayo de carga de partícula	NCh 2348	Positiva		Positiva		Positiva		Negativa		Positiva	
Betún asfáltico residual, %. (1)	NCh 2348	57		63		59		57		57	
Sedimentación (a los 7 días), %.	NCh 2348		5		5		5		5		10
Ensayo de tamizado, %.	NCh 2348	0,10		0,10		0,10		0,10		0,10	
Ensayo de mezcla con cemento, %.	NCh 2348	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
Penetración a 25°C, 100 g., 5 seg., 0,1 mm.	NCh 2340	50	90	50	90	-	-	-	-	50	90
Punto de ablandamiento anillo y bola, °C.	NCh 2337	50	-	50	-	40	-	40	-	50	-
Ductilidad, 5°C, 5cm/min, cm.	NCh 2342	10	-	10	-	10	-	10	-	10	-
Recuperación Elástica (25°C Torsión).	NLT 329	12	-	12	-	12	-	12	-	12	-

Destilación por evaporación

El residuo se obtiene en horno a T = 110º ± 3°C, hasta masa constante, llegando a una temperatura máxima de 120°C durante los últimos 15 minutos. Para la evaporación se usa una bandeja plana, con la altura de la emulsión de 1 cm.

TABLA 5.9
TIPOS Y APLICACIONES DE EMULSIONES MODIFICADAS

EMULSIÓN ASFÁLTICA	CARÁCTER IÓNICO	ROTURA	APLICACIÓN
ECR 1 m	Catiónica	Rápida	Riego de adherencia
ECR 2 m	Catiónica	Rápida	Riego de adherencia Tratamiento superficial
ECM m	Catiónica	Media	Mezclas en frío
EAM m	Aniónica	Media	Mezclas en frío
ECL 1 m	Catiónica	Lenta	Microaglomerados en frío

5.2.3.2.3 TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

En las especificaciones técnicas especiales del proyecto se deberán establecer las medidas a tomar para el cumplimiento de la legislación vigente en materia medioambiental, de seguridad laboral, almacenamiento y transporte.

En estanques

Los estanques empleados para el transporte de emulsión asfáltica estarán constituidos por un anillo de una sola pieza, no presentando desperfectos ni fugas y su sistema de cierre será hermético. Se recomienda evitar la utilización, para emulsiones asfálticas aniónicas, estanques que hubiesen contenido emulsiones asfálticas catiónicas y viceversa, para lo cual los estanques van debidamente marcados por el fabricante.

Los estanques con emulsión asfáltica se almacenarán en instalaciones donde queden adecuadamente protegidos de la humedad, calor excesivo, acción de heladas, y zonas de influencia de motores, maquinarias, fuegos o llamas.

En camiones estanques

Las emulsiones asfálticas se podrán transportar en camiones estanques ordinarios, sin aislamiento ni sistema de calefacción, incluso en los empleados normalmente para el transporte de otros líquidos, siempre y cuando, antes de su carga, estén completamente limpios. Los camiones estanques deberán disponer de un elemento adecuado para la toma de muestras.

La emulsión asfáltica transportada en camiones estanques se almacenará en uno o varios estanques, adecuadamente aislados entre sí, provistos de bocas de ventilación para evitar que trabajen a presión, y con dispositivos de medida y seguridad necesarias, situadas en puntos de fácil acceso. Asimismo, deben disponer de un elemento adecuado para la toma de muestras.

Cuando los estanques de almacenamiento no dispongan de medios de carga propios, los camiones estanques empleados para el transporte de emulsión asfáltica requerirán estar dotados de medios neumáticos o mecánicos para el vaciado rápido de su contenido a los mismos. Cuando se empleen bombas de vaciado, es preferible usar las de tipo rotativo.

Todas las tuberías y bombas utilizadas para el traslado de la emulsión asfáltica, desde el camión estanque de transporte hacia el estanque de almacenamiento y de este hacia el equipo de empleo, se dispondrán de manera que puedan limpiarse con facilidad después de cada aplicación y/o jornada de trabajo.

El vaciado desde los camiones estanques de transporte, hacia los estanques de almacenamiento, se realizará mediante una tubería directa.

5.2.3.2.4 RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN

Para cada partida (estanques o camiones estanques) de emulsión asfáltica que llegue a obra, se recomienda ir acompañada de una guía de despacho (donde se indica los sellos de seguridad a verificar antes de la descarga), y el certificado de análisis del producto.

La guía contiene, explícitamente, los siguientes datos:

- Patente del vehículo que lo transporta.
- Nombre y dirección de la empresa suministradora.
- Fecha de fabricación y de suministro.
- Identificación cantidad que se suministra.
- Denominación comercial, si la hubiese, y tipo de emulsión asfáltica suministrado, de acuerdo con la denominación especificada en el presente artículo.
- Nombre del comprador, su dirección y destino.
- La hoja de características contiene, explícitamente, al menos:
- Referencia de la de guía de la partida.
- Denominación comercial, si la hubiese, y tipo de emulsión asfáltica suministrado, de acuerdo con la denominación especificada en el presente artículo.

5.2.3.2.5 CONTROL DE CALIDAD

Las empresas deberán conservar una muestra durante un máximo de quince días para realizar ensayos de contraste, si fueran necesarios.

En cualquier caso, tanto las especificaciones técnicas especiales del proyecto como la fiscalización técnica de obra, podrán fijar otro criterio para el control de recepción de los estanques.

Suministro en camiones estanques

De cada camión estanque de emulsión asfáltica que llegue a la obra, se sugiere tomar dos muestras, de al menos dos kilogramos (2kg), según NCh 2332, al momento del traslado del material del camión estanque al estanque de almacenamiento.

Sobre una de las muestras se sugiere realizar los siguientes ensayos:

- Carga de las partículas, según NCh 2348.
- Viscosidad Saybolt - Furol, según NCh 2348.
- Residuo por destilación, según NCh 2348.
- Tamizado, según NCh 2348.

Para emulsiones asfálticas elastoméricas se detalla además:

- Porcentaje de cemento asfáltico residual.
- Destilación por Evaporación. El residuo se obtiene en horno a T=110° ± 3°C, hasta masa constante llegando a una temperatura máxima de 120°C durante los últimos 15 minutos. Para la evaporación se usa una bandeja plana, con la altura de la emulsión de 1 cm.
- Penetración, según NCh 2340.
- Punto de ablandamiento, según NCh 2337.

La otra se puede conservar durante un máximo de quince días para realizar ensayos de contraste, si fueran necesarios.

Criterios de Aceptación o Rechazo

La fiscalización rechazará la partida de emulsión asfáltica en caso de no cumplir con alguno de los requerimientos establecidos en las Tablas 5.5, 5.6, 5.7 y 5.8.

ART. 5.3 AGREGADOS PÉTREOS

Se recomienda que los agregados pétreos cumplan con las normas correspondientes que se indican en cada caso.

5.3.1 AGREGADOS GRUESOS

Son los agregados pétreos retenidos en el tamiz 2,5 mm. (Malla Nº 8).

5.3.2 AGREGADOS FINOS

Son los agregados pétreos que pasan por el tamiz 2,5 mm (Malla Nº 8) y retenido en tamiz 0,08 mm (malla Nº 200).

5.3.2.1 FILLER MINERAL

Se define como parte de los agregados finos cuyo material pasa totalmente por el tamiz 0,63 mm (Malla Nº 30). También puede ser incorporado adicionalmente, en cuyo caso se habla de filler de aportación.

5.3.3 POLVO MINERAL

Se define como el material que pasa por el tamiz 0,08 mm (Malla Nº 200).

5.3.4 ENSAYOS PARA AGREGADOS PÉTREOS

Los ensayos mínimos para los áridos en mezclas asfálticas son los siguientes:

I. Áridos para tratamientos superficiales y mezclas asfálticas - Tamizado y determinación de la granulometría, NCh 165.
II. Áridos para tratamientos superficiales y mezclas asfálticas - Determinación del material fino menor a 0,08 mm, NCh 1223.
III. Determinación de la cubicidad de partículas, MC 8.202.6.
IV. Determinación del desgaste de las gravas - Método de la máquina de los Ángeles, NCh 1369.
V. Extracción y preparación de muestras de pétreos, NCh 164.
VI. Áridos para tratamientos superficiales y mezclas asfálticas - Determinación de la densidad aparente, NCh 1116.
VII. Áridos para tratamientos superficiales y mezclas asfálticas - Determinación de las densidades real y neta y absorción de agua de las gravas, NCh 1117.
VIII. Áridos para tratamientos superficiales y mezclas asfálticas - Determinación de las densidades real y

neta y absorción de agua de las arenas, NCh 1239.

IX. Índice de Plasticidad NCh 1517/1 y NCh 1517/2.

ART. 5.4 RIEGO DE IMPRIMACIÓN

5.4.1 DESCRIPCIÓN Y ALCANCES

En esta sección se definen las operaciones requeridas para aplicar un riego de asfalto líquido de baja viscosidad, sobre una base granular no tratada.

5.4.2 MATERIALES

5.4.2.1 ASFALTOS

Para imprimar se emplearán emulsiones imprimante, con una dosis entre 0,8 y 1,2 l/m^2. La emulsión imprimante cumplirá lo señalado en Tabla 5.7.

El muestreo de los materiales asfálticos se ajusta a lo dispuesto en NCh 2332.

5.4.3 PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO

5.4.3.1 INSTALACIONES Y EQUIPOS

Se recomienda que todas las instalaciones y equipos se mantengan en forma adecuada y en buen funcionamiento, de tal manera, que en todo momento se asegure una correcta aplicación del asfalto y se cumpla con las normas de seguridad.

5.4.3.2 ALMACENAMIENTO DE LOS ASFALTOS

Los asfaltos se almacenan en estanques cerrados metálicos, de hormigón armado o de fibra de vidrio (en ningún caso del tipo diques) los que, en todo momento, se mantienen limpios y en buenas condiciones de funcionamiento. El manejo de los asfaltos se efectúa de manera de evitar cualquier contaminación con materiales extraños.

Los estanques deben tener equipos para calentar el asfalto, los que están conformados por serpentines y equipo generador de vapor, serpentines y caldera de aceite, calentamiento por gases de combustión u otros diseñados, de modo que no exista contacto entre el asfalto y el vehículo usado para calentarlo.

Bajo ninguna circunstancia las llamas del calentador pueden entrar en contacto directo con el estanque o con el asfalto. Es aconsejable que los estanques para las emulsiones imprimantes tengan agitación y o recirculación.

5.4.3.3 DISTRIBUIDORES DE ASFALTO

Los distribuidores de asfalto consisten en depósitos montados sobre camiones o unidades similares, aisladas y provistas de un sistema de calentamiento que, generalmente, calienta el asfalto, haciendo pasar los gases a través de tuberías situadas en su interior. Disponen de un grupo de motobombas adecuadas para manejar productos con viscosidades entre 20 y 120 Centistokes (10 a 60 sSF). Antes de comenzar los trabajos de imprimación, se aconseja revisar los equipos para asegurar un riego uniforme.

- El equipo distribuidor mantenga continua y uniforme la presión requerida a lo largo de toda la longitud de la barra regadora.
- Antes de comenzar el riego, la barra y las boquillas sean calentadas a la temperatura requerida.
- La disposición de las boquillas sea la adecuada, el ancho del abanico sea igual en todas ellas y forme con la barra, un ángulo apropiado, normalmente de 17 a 33 grad, en tanto que las extremas formen un ángulo entre 67 y 100 grad.
- El ángulo de incidencia del riego con la superficie de la vía sea de 100 ± 5 grad.
- La altura de las boquillas asegure un adecuado traslape de los abanicos de distribución.
- El distribuidor se desplace a una velocidad tal, que mantenga una distribución constante. La velocidad del distribuidor y la bomba de asfalto se controlan mediante dispositivos incorporados al equipo.
- La temperatura del asfalto se controla con termómetros que permitan establecer en forma rápida la temperatura del contenido del estanque.
- El corte del vertido sea instantáneo y sin chorreo, ni goteo. El equipo asegure en todos sus componentes su estanquidad.

5.4.3.4 BARREDORAS Y SOPLADORES

El equipo de limpieza incluye barredoras autopropulsadas, suplementadas con equipo de soplado, en que se ajusta la cantidad de equipo disponible a los requerimientos de la obra.

5.4.3.5 LIMITACIONES METEOROLÓGICAS

No se debe efectuar imprimaciones si el tiempo se presenta neblinoso o lluvioso. Al utilizar una emulsión imprimante, la aplicación se debe realizar cuando la temperatura atmosférica sea por lo menos 5°C subiendo y la de la superficie no sea inferior a 5°C.

5.4.3.6 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE A IMPRIMAR

Previo al inicio de la imprimación sobre la superficie, es preciso tener presente que la humedad de esta es un factor determinante para la absorción del ligante, la cual se aconseja, esté cercana a la óptima.

Antes de imprimar se retira de la superficie todo material suelto: polvo, suciedad o cualquier otro material extraño. Cuando la superficie presente partículas finas sueltas, como consecuencia de una excesiva sequedad superficial, se puede rociar ligeramente con agua, inmediatamente antes de imprimar.

En todo caso, no se imprime hasta que toda el agua de la superficie haya desaparecido.

5.4.3.7 APLICACIÓN DEL ASFALTO

El asfalto se aplica mediante distribuidores a presión que cumplan con lo dispuesto en el apartado 5.4.3.3. En los lugares de comienzo y término de los riegos asfálticos, se coloca un papel, cartón o polietileno de un ancho no inferior a 0,80 m. Una vez utilizado, este se retira de inmediato.

Cuando se deba mantener el tránsito, se recomienda efectuar la imprimación primeramente en la mitad del ancho de la calzada. En tales circunstancias, la imprimación de la segunda mitad, se inicia solo cuando la superficie de la primera mitad se encuentre cubierta con la capa superior y transitable.
Las emulsiones imprimantes se aplican a la temperatura indicada por el proveedor.

Dependiendo de la textura de la superficie a imprimar, la cantidad de asfalto a colocar, en general, está comprendida entre 0,8 y 1,5 kg/m^2 de superficie, debiéndose establecer la cantidad definitiva después de un tiempo de absorción y secado de 6 a 12 horas en ambientes calurosos; de 12 a 24 horas en ambientes frescos y de 24 a 48 horas en ambientes fríos o frescos y húmedos. Si la imprimación seca antes de 6 horas, salvo en épocas muy calurosas, se debe verificar la dosis y las características del imprimante y de la superficie que se esté imprimando. El material asfáltico se distribuye uniformemente por toda la superficie, aplicando la dosis establecida con una tolerancia de ± 5%. Se verifica la tasa de aplicación resultante cada 500 m de imprimación por pasada, como mínimo; frecuencia que el fiscalizador puede aumentar o disminuir de acuerdo a la tecnología que se utilice y a la longitud del tramo a imprimar. Como mínimo, esta verificación se aconseja realizarla una vez al día. Por otra parte,

toda área que no haya quedado satisfactoriamente cubierta con la aplicación del riego, se trata en forma adicional, mediante riego manual. Si estas reparaciones no resultan satisfactorias, a juicio del Fiscalizador, se procede a escarificar en 10 cm la superficie afectada, para volver a re compactar e imprimar.

Las estructuras, la vegetación y todas las instalaciones públicas o privadas ubicadas en el área de trabajo, se protegen cubriéndolas adecuadamente para evitar ensuciarlas. Se aconseja mantener las protecciones hasta que el asfalto haya curado o quebrado completamente.

Las superficies imprimadas se conservan sin deformaciones, saltaduras, baches o suciedad, hasta el momento de colocar la capa siguiente. Esta se coloca una vez que se verifique que el imprimante haya curado o quebrado totalmente, según se utilice asfalto cortado o emulsión, respectivamente.

ART. 5.5 RIEGO DE LIGA

5.5.1 DESCRIPCIÓN Y ALCANCES

En esta sección se definen los trabajos necesarios para aplicar un riego de emulsión asfáltica sobre una superficie pavimentada, con el objeto de producir adherencia entre esa superficie y la capa asfáltica que la cubrirá.

5.5.2 MATERIALES

5.5.2.1 EMULSIÓN

En los riegos de liga se emplean emulsiones asfálticas, las cuales cumplen con los requisitos estipulados en la Especificación descrita en el apartado 5.2.3.2. Además, se puede utilizar una emulsión elastomérica, según se especifica en la Tabla 5.8 del apartado 5.2.3.2.

Se verifica que los materiales a emplear, se ajusten a las especificaciones. Para ello, se recomienda la presentación de certificados de ensayos de, como mínimo, una muestra de emulsión por cada partida que llegue a la faena y que se ajuste a lo dispuesto en la NCh 2332.

5.5.3 PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO

5.5.3.1 INSTALACIONES Y EQUIPOS

El almacenamiento de la emulsión, así como el equipo de distribución y barrido, se debe ajustar a los requisitos estipulados en el apartado 5.4.3 de la Sección Imprimación.

5.5.3.2 LIMITACIONES METEOROLÓGICAS

No se debe efectuar riegos de liga si el tiempo se presenta neblinoso o lluvioso. Las aplicaciones se efectúan únicamente cuando la temperatura atmosférica sea de por lo menos 10°C y subiendo y la temperatura de la superficie del pavimento no sea inferior a 10°C.

5.5.3.3 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE A REGAR

Antes de aplicar el riego de liga, se debe preparar el pavimento existente. eliminando los materiales sueltos, el polvo, la suciedad y todo otro material extraño. La superficie así preparada, es aprobada por el fiscalizador previo al riego.

5.5.3.4 APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN

La aplicación de la emulsión se efectúa mediante distribuidores a presión que cumplan con lo dispuesto en el apartado 5.4.3.3.

Cuando se deba mantener el tránsito, se recomienda aplicar el riego de liga primeramente en una mitad del ancho de la calzada. En tales circunstancias, el riego de la segunda mitad se inicia solo cuando la primera mitad se encuentre cubierta con la capa superior de rodadura correspondiente. No se transita por la superficie regada; si ello ocurre, esta se repara completamente mediante un riego adicional, antes de colocar la capa de recubrimiento.

Las emulsiones se aplican sin diluir y a razón de 0,4 a 0,8 kg/m^2 de superficie. La dosis definitiva a aplicar se determina de acuerdo al estado de la superficie, siendo un mínimo absoluto un residuo asfáltico de 0,25 kg/m^2, pudiendo llegar hasta 0,50 kg/m^2.

Las emulsiones se aplican a una temperatura comprendida entre 20°C y 50°C o lo que recomiende el proveedor, en función de su producto y condiciones locales. La emulsión se distribuye cuidadosa y uniformemente sobre toda la superficie a tratar, incluso sobre las paredes verticales que se generan en las uniones longitudinales entre pistas pavimentadas con mezcla asfáltica, así como también, en las juntas transversales de construcción. La dosis establecida en terreno se aplica con una tolerancia de ± 5%. Se verifica la tasa de aplicación cada 500 ml de superficie regada o con la frecuencia que el Fiscalizador estime. Toda área que no resulte satisfactoriamente cubierta con la aplicación del riego, puede tratarse en forma adicional mediante riego manual.

Las estructuras, vegetación y todas las instalaciones públicas o privadas ubicadas en el área de trabajo, se protegen cubriéndolas adecuadamente para evitar ensuciarlas. Las protecciones se mantienen hasta que la emulsión haya quebrado completamente y no se produzcan salpicaduras.

Las superficies regadas se conservan sin saltaduras o suciedad hasta el momento de colocar la capa siguiente. Se aconseja no permitir el tránsito sobre las superficies regadas.

5.5.3.5 MEDIDAS DE SEGURIDAD

Durante la ejecución de las obras, el constructor debe tener presente lo establecido en las disposiciones de seguridad vigentes.

ART. 5.6 RIEGO DE NEBLINA

5.6.1 DESCRIPCIÓN Y ALCANCES

El riego neblina es un procedimiento mediante el cual se adiciona asfalto emulsionado a una superficie de pavimento, con el objetivo de cubrir, proteger, y/o rejuvenecer la carpeta de asfalto existente. La adición de emulsión también mejora la impermeabilización de la superficie y reduce su susceptibilidad al envejecimiento, al reducir la permeabilidad al agua y al aire. Este procedimiento se aplica en pavimentos asfálticos que presenten los primeros indicios de envejecimiento, tales como:

- Fisuramiento superficial.
- Pérdida de cemento asfáltico en la superficie, que implique leve erosión superficial.

5.6.2 MATERIALES

5.6.2.1 EMULSIÓN

Se utilizan emulsiones asfálticas del tipo: CSS-1h, SS-1h, CSS-1 o SS-1, según el clima y la compatibilidad con el agregado. Además, deben cumplir con los requisitos dispuestos en la Tabla 5.5 o Tabla 5.6 según corresponda. Dependiendo del clima característico de la zona donde se aplica el Riego Neblina es la selección de la emulsión, según la Tabla 5.10.

TABLA 5.10
TIPO EMULSIÓN A UTILIZAR

CLIMA	TIPO DE EMULSIÓN
Caluroso	Emulsión de residuo duro tipo CSS 1h o SS 1h.
Frío	Emulsión de residuo normal tipo CSS 1 o SS 1.

5.6.2.2 AGUA
El agua a utilizar debe ser potable y compatible con la mezcla de la emulsión, y estar libre de materias orgánicas, sales nocivas y otros contaminantes. Dar cumplimiento a lo dispuesto en la NCh 1333.

5.6.3 PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

5.6.3.1 EQUIPO DE EXTENSIÓN
Para la aplicación de la emulsión se utiliza un camión distribuidor que cumpla lo dispuesto en 5.4.3.3.

5.6.3.2 ESTUDIO DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA Y OBTENCIÓN DE LA FÓRMULA DE TRABAJO
La emulsión se aplica diluida en agua (potable y libre de materias extrañas), en proporción 1:1 (una parte de emulsión más una parte de agua) y aplicado a razón de 0,3 a 0,8 Kg/m^2 de superficie, dependiendo de la mayor o menor absorción (porosidad) que esta posea.

A fin de definir la dosis de manera precisa, se recomienda efectuar pruebas con distintas tasas de aplicación. Una vez encontrada la dosis, se procede a verificar la correcta aplicación de la misma por medio del camión regador. Para esto se puede utilizar el método de la bandeja, el cual consiste en la colocación de una bandeja de área conocida bajo la barra regadora. Una vez que el equipo pasa sobre la bandeja, esta se retira y se pesa la cantidad de emulsión aplicada.

5.6.3.3 RECEPCIÓN DE MATERIALES

5.6.3.3.1 RECEPCIÓN DE LA EMULSIÓN
Cada partida que llegue a la obra se inspecciona visualmente, como un primer control. La emulsión debe verse uniforme, sin nata, grumos u otra anomalía.

Al inicio de la obra la emulsión se muestrea para realizar los ensayos de recepción. No obstante, cada partida se recibe contra presentación de un certificado que responda a los requerimientos establecidos en las especificaciones del proyecto o al menos a los requisitos de las Tablas 5.5, 5.6, 5.7 y 5.8, según corresponda.

Las emulsiones se almacenan en estanques cerrados metálicos, de hormigón armado o de fibra de vidrio (en ningún caso del tipo diques) los que, en todo momento, se mantienen limpios y en buenas condiciones de funcionamiento. El manejo de los asfaltos se efectúa de manera de evitar cualquier contaminación con materiales extraños.

Cuando se requiera, los estanques deben tener equipos para calentar la emulsión, los que están conformados por serpentines y caldera de aceite, calentamiento por gases de combustión u otros diseñados, de modo que no exista contacto entre la emulsión y el vehículo usado para calentarlo. Bajo ninguna circunstancia las llamas del calentador pueden entrar en contacto directo con el estanque o con la emulsión. Es aconsejable que los estanques para las emulsiones tengan agitación.

5.6.3.4 EJECUCIÓN RIEGO NEBLINA
La proporción de los componentes del riego debe corresponder a la dosis aprobada por el fiscalizador.

5.6.3.5 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE
Previo a la aplicación del riego Neblina, se debe tener una superficie limpia, con ausencia de polvo y materias extrañas. Para lograr esto, se barre la superficie con una barredora automática o con aire a presión.

En los lugares inaccesibles a estos equipos se pueden emplear escobas de mano. Se cuida especialmente de limpiar los bordes de la zona a tratar.

En caso de existir materias adheridas a la superficie, se sugiere lavar y dejar secar esta, antes de la colocación del riego.

5.6.3.6 EXTENSIÓN DEL RIEGO
La aplicación se debe hacer con un camión regador y la temperatura de la emulsión estar comprendida entre 20°C y 50°C, dependiendo del tipo de emulsión, recomendación de proveedor y la temperatura ambiente.

La emulsión se debe distribuir uniformemente sobre toda la superficie a tratar, aplicando la dosis establecida en terreno con una tolerancia de ± 5%. Si, por las características de la superficie, resultan áreas localizadas en las cuales la cantidad aplicada es insuficiente, ellas pueden reforzarse mediante un regado manual. La dosis de aplicación se verifica cada 500 m por pasada como mínimo, frecuencia que se puede aumentar o disminuir, de acuerdo a la tecnología del equipo que se utilice y la longitud del tramo. Como mínimo, esta verificación se hará una vez al día.

Cuando se mantenga el tránsito, se recomienda efectuar el riego primeramente en una mitad de la calzada. El riego de la segunda mitad, solo comienza cuando el de la primera, haya quebrado completamente y se encuentre el pavimento en condiciones de ser entregado al tránsito.

Se evitará todo tipo de circulación sobre el sello neblina mientras la emulsión no haya quebrado.

5.6.3.7 LIMITACIONES DE LA EJECUCIÓN
La aplicación del riego neblina se llevará a cabo solo cuando la temperatura ambiente sea superior a diez grados Celsius (10°C). Dicho límite se puede rebajar a cinco grados Celsius (5°C), si la temperatura ambiente tiende a aumentar. No se debe realizar trabajos si hay tiempo neblinoso, probabilidades de lluvia o viento fuerte.

En general, cuando se utilicen emulsiones asfálticas en zonas frías, se debe poner especial atención en que las condiciones climáticas sean las adecuadas para permitir el tiempo de quiebre de las emulsiones, antes que se produzca el congelamiento.

5.6.3.8 RECEPCIÓN DE LA UNIDAD TERMINADA
El Fiscalizador verificará visualmente la homogeneidad superficial del riego.

ART. 5.7 RIEGOS MATAPOLVOS

5.7.1 DESCRIPCIÓN Y ALCANCES
Se usan para eliminar el polvo en vías no pavimentadas de suelo estabilizado, carpeta de rodado granular existente o suelo natural.

5.7.2 MATERIAL ASFÁLTICO
Para los riegos matapolvos se utilizará emulsión imprimante, según lo especifiquen las Bases Técnicas Especiales.

5.7.3 PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO

Se rigen por lo establecido en el apartado 5.4.3 del presente Código.

ART. 5.8 LECHADA ASFÁLTICA Y MICROPAVIMENTO

5.8.1 DESCRIPCIÓN Y ALCANCES

La Lechada asfáltica es una mezcla compuesta por emulsión asfáltica de quiebre lento, árido bien graduado, polvo mineral y agua. Eventualmente, se puede incorporar algunos aditivos, si se requieren.

El micropavimento posee los mismos componentes que la Lechada asfáltica, pero la emulsión utilizada es modificada con polímeros y los áridos son de mayor calidad mecánica que los utilizados en las Lechadas, por lo cual, el micropavimento es utilizado en vías importantes.

En actividades de conservación, se aplican principalmente para sellar la superficie del pavimento, rellenando las grietas superficiales de baja severidad y defectos menores. Se utilizan también para detener el desgaste superficial y para mejorar la adherencia entre el pavimento y el neumático.

5.8.2 MATERIALES

5.8.2.1 EMULSIÓN

Para las lechadas asfálticas se pueden utilizar emulsiones del tipo: CSS-1h, CSS-1, SS-1h o SS-1, según la compatibilidad con la carga del agregado y el clima. Las emulsiones deben cumplir, además, con los requisitos dispuestos en la Tabla 5.5, 5.6 o Tabla 5.8, según corresponda.

Dependiendo del clima característico de la zona donde se aplica la Lechada asfáltica o mejoramiento, se selecciona la emulsión según Tabla 5.10. En algunos casos no es posible cumplir los objetivos de la aplicación de la Lechada utilizando emulsiones convencionales. En estos casos, es necesario usar una emulsión modificada con elastómeros. Las principales condiciones que hacen recomendable la utilización de emulsiones modificadas son:

- Zonas con temperaturas extremas (muy altas o muy bajas).
- Zonas de fuertes diferenciales térmicos (día-noche, invierno-verano).
- Vías colectoras, troncales, expresas.
- Fuertes pendientes (8 a 10%).
- Zonas de frenado.
- Curvas cerradas.

Los requisitos de las emulsiones modificadas se encuentran en la Tabla 5.8.
Para los micropavimentos se utilizan emulsiones modificadas, según la Tabla 5.8.
Todo lo referente a Lechadas asfálticas se cumple también para micropavimentos.

5.8.2.2 ÁRIDOS

5.8.2.2.1 GENERALIDADES

Los áridos deben estar limpios (exentos de terrones de arcilla, materia vegetal u otra), angulares, durables y de graduación continua.

5.8.2.2.2 GRANULOMETRÍAS

La granulometría para los distintos tipos de Lechadas van de más finas a más gruesas y corresponden a los tipos A-1, B-1, y C-1, respectivamente. Para procedimientos de conservación en lechadas se pueden utilizar las bandas A-1 y B-1, por ser las más finas y, por lo tanto, las más adecuadas para sellar pequeñas grietas y defectos superficiales.

La banda A-1 se utiliza para sellado de grietas y sello fino en vías con tráfico liviano. La banda B-1 se utiliza en sello general y para aumentar la textura. Para micropavimentos se utiliza únicamente la banda C-1.

TABLA 5.11
GRANULOMETRÍAS DE ÁRIDOS PARA LECHADAS ASFÁLTICAS Y MICROPAVIMENTOS

TAMICES		BANDAS GRANULOMÉTRICAS		
		Porcentaje en peso que pasa; %		
(mm)	(ASTM)	Tipo A-1	Tipo B-1	Tipo C-1
12,5	(1/2")			
10	(3/8")		100	100
5	(Nº4)	100	85 – 95	70 – 90
2,5	(Nº8)	85 – 95	62 – 80	45 – 70
1,25	(Nº16)	60 – 80	45 – 65	28 – 50
0,63	(Nº30)	40 – 60	30 – 50	18 – 34
0,315	(Nº50)	25 – 42	18 – 35	12 – 25
0,16	(Nº100)	15 – 30	10 – 24	7 – 17
0,08	(Nº200)	10 – 20	5 – 15	5 – 11

5.8.2.2.3 ÁRIDO GRUESO

Se define como árido grueso a la parte del conjunto de fracciones granulométricas retenida en el tamiz 2,5 mm, según NCh 1022. El árido grueso se obtiene triturando piedra de cantera o grava natural.

Para lechadas asfálticas y micropavimentos el árido debe cumplir con los requisitos dispuestos en las Tablas 5.12 y 5.13, respectivamente.

TABLA 5.12
REQUISITOS DE LOS ÁRIDOS PARA LECHADAS

ENSAYO	EXIGENCIA	NORMA
Equivalente de arena	Mín. 60%	NCh 1325
Partículas Chancadas	Vías Expresas, Troncales, Colectoras: Min.100%	MC 8.202.6
	Vías De Servicio, Locales y Pasajes: Min. 75%	
Índice de Lajas	Vías Expresas, Troncales, Colectoras: Máx. 25%	MC 8.202.7
	Vías De Servicio, Locales y Pasajes: Máx. 30%	
Resistencia al Desgaste	Vías Expresas, Troncales, Colectoras: Máx.20%	NCh 1369
	Vías De Servicio, Locales y Pasajes: Máx.25%	
Índice de Trituración Total	Máx. 3,5%	MC 8.202.8
Hervido de Texas	_	ASTM D3625

TABLA 5.13
REQUISITOS DE LOS ÁRIDOS PARA MICROPAVIMENTOS

ENSAYO	EXIGENCIA	MÉTODO
Partículas Chancadas	100	MC 8.202.6
Desintegración por Sulfato de Sodio	Máx. 12%	NCh 1328
Resistencia al Desgaste	Máx. 25%	NCh 1369
Equivalente Arena	Mín. 60%	NCh 1325
Índice Plasticidad	NP	NCh 1517/2

5.8.2.2.4 ÁRIDO FINO

Se define como árido fino a la parte del conjunto de fracciones granulométricas que pasa por tamiz 2,5 mm y que es retenida por el tamiz 0,08 mm, según NCh 1022. Se recomienda que el árido fino proceda de la trituración de piedra de cantera o grava natural en su totalidad o en parte de yacimientos naturales.

Únicamente para vías de servicios, locales y pasajes, puede emplearse arena natural, no triturada, la cual se recomienda no ser superior al veinte por ciento (20%) de la masa total del árido combinado, sin que supere, en ningún caso, el porcentaje de árido fino triturado, empleado en la mezcla.

Se recomienda que el árido fino sea de la misma naturaleza que el árido grueso y cumpla las condiciones exigidas en las Tablas 5.12 y 5.13 sobre el Ensayo Desgaste Los Ángeles.

5.8.2.2.5 POLVO MINERAL

Se define como polvo mineral a la parte del conjunto de fracciones granulométricas (árido y productos minerales de aportación) que pasa por el tamiz 0,08 mm según NCh 1022.

Puede suplirse el polvo mineral incluido en el árido grueso y fino con un producto comercial o especialmente preparado, cuya misión sea acelerar el proceso de rotura de la emulsión o activar la cohesión de la Lechada asfáltica. Las proporciones y características de esta aportación, las proporciona el laboratorio que diseñe la lechada, ya que es quien primero advierte el comportamiento árido-emulsión.

5.8.2.3 AGUA

El agua debe ser potable y compatible con la mezcla de la lechada, libre de materias orgánicas, sales nocivas y otros contaminantes y que cumpla lo dispuesto en NCh 1333.

5.8.3 PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

5.8.3.1 EQUIPO DE FABRICACIÓN Y EXTENSIÓN

La Lechada se fabrica en mezcladoras móviles autopropulsadas que simultáneamente realizan la extensión. El equipo dispone de los elementos para realizar o facilitar la carga de todos los materiales (áridos, emulsión, adiciones, agua etc.), así como de la capacidad de carga necesaria para realizar aplicaciones en continuo de más de quinientos metros (500 m). Se recomienda que el mezclador sea de tipo continuo y los tanques y tolvas de los distintos materiales tengan su salida sincronizada con él, con las dosis necesarias para lograr la composición correspondiente a la fórmula de trabajo. La Lechada pasa del mezclador a la caja repartidora a través de una compuerta regulable, provista del número de salidas necesarias para distribuir uniformemente la Lechada asfáltica en la caja repartidora. La extensión de la Lechada asfáltica se realiza por medio de la caja repartidora, remolcada sobre la superficie a tratar, generalmente por el equipo que lleva la mezcladora.

Se recomienda que dicha caja sea metálica, de ancho regulable, y esté dotada de dispositivos de cierre laterales (para evitar pérdida de Lechada) y de una enrasadora de goma flexible. Es aconsejable que ambos dispositivos sean ajustables, de modo que puedan ser adaptados a las secciones con peraltes o bombeos, asegurando una aplicación uniforme de Lechada y que la goma de la enrasadora sea renovada cuantas veces resulte precisa, de modo que la caja lleve en su interior un dispositivo que reparta uniformemente la lechada ante la enrasadora.

5.8.3.2 ESTUDIO DE LA LECHADA ASFÁLTICA Y OBTENCIÓN DE LA FÓRMULA DE TRABAJO

La fórmula de trabajo será propuesta al fiscalizador, para su aprobación, al menos con 15 días de anticipación al comienzo de las obras y será efectuada, acorde a procedimiento MC 8.302.52, por un laboratorio oficial con inscripción vigente Minvu.

Dicha fórmula debe señalar:

- La granulometría de los áridos combinados, empleando los tamices establecidos en la definición de granulometría en la Tabla 5.11, con los porcentajes de las distintas fracciones a emplear en la mezcla.
- El tipo de emulsión.
- La dosificación de emulsión, referida a la masa total de los áridos.
- La dosificación del polvo mineral, referida a la masa total de los áridos.
- Cuando se utilicen otro tipo de adiciones, su dosificación.
- El contenido de emulsión y de las adiciones, cuando se requiera, se fijan por laboratorio donde se evalúa las dosificaciones más adecuadas de las distintas alternativas de materiales y/o aditivos.

TABLA 5.14
EXIGENCIAS PARA LECHADAS

		SEGÚN TIPO VÍAS			
Ensayo	Método	Expresas y Troncales	Colectoras	Servicios y locales	Pasajes y Sellos (*)
Consistencia [cm]	MC 8.302.45	0 a 2			
Abrasión en Medio Húmedo [g/m^2]	MC 8.302.46	450	550	650	750
Par de Torsión mínimo a 60 minutos [kg*cm]	UNE-EN 12274-4	Mín. 20	Mín. 20	-	-

(*) Cuando la Lechada asfáltica tenga la finalidad exclusiva de sellar un pavimento.

Puede mejorarse la adhesividad entre el árido y la emulsión mediante activantes o cualquier otro producto evaluado por la experiencia. En tales casos, el laboratorio que hace el diseño define las condiciones que tienen que cumplir dichas adiciones y las Lechadas asfálticas resultantes.

5.8.3.3 RECEPCIÓN DE MATERIALES

5.8.3.3.1 RECEPCIÓN DE LIGANTE

Al inicio de la obra se muestrea el ligante para realizar los ensayos de recepción. No obstante, cada partida se recibe contra presentación de un certificado que responda a los requerimientos establecidos en las especificaciones técnicas especiales o al menos los requisitos de la Tabla 5.5, Tabla 5.6 o Tabla 5.8, según corresponda.

Se debe almacenar los asfaltos en estanques cerrados, metálicos, de hormigón armado o de fibra de vidrio (en ningún caso del tipo diques) los que, en todo momento, se aconseja mantenerlos limpios y en buenas condiciones de funcionamiento. El manejo de los asfaltos se efectúa de manera de evitar cualquier contaminación con materiales extraños.

Cuando se requiera, los estanques deben tener equipos para calentar el asfalto, los que están conformados por serpentines y caldera de aceite, calentamiento por gases de combustión u otros diseñados, de modo que no exista contacto entre el asfalto y el medio usado para calentarlo.

Bajo ninguna circunstancia las llamas del calentador pueden estar en contacto directo con el estanque o con el asfalto.

5.8.3.3.2 RECEPCIÓN DE ÁRIDOS

Los áridos deben producirse o suministrase en fracciones granulométricas diferenciadas, las cuales se acopian y manejan por separado. La combinación de las distintas fracciones en las proporciones definidas en la fórmula de trabajo puede hacerse en el propio acopio, empleando medios mecánicos que aseguren la homogeneidad de la mezcla resultante.

Los áridos combinados se deben acopiar por separado, tomando las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones hasta el momento de la carga en el equipo de fabricación.

Cada fracción del árido se debe acopiar separada de las demás, sobre una superficie limpia, plana y nivelada, evitando inter-contaminaciones. Si los acopios se disponen sobre el terreno natural, no se debe utilizar los quince centímetros (15 cm) inferiores de los mismos. Las cargas del material se colocan adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación o contaminación.

Cuando se detecten anomalías en el suministro de los áridos, se recomienda acopiar por separado. Esta misma medida puede ser aplicada cuando se autorice el cambio de procedencia de un árido.

5.8.3.3.3 RECEPCIÓN DE POLVO MINERAL

Se recomienda que por su sensibilidad a la humedad, el polvo mineral se almacene en contenedores metálicos. En caso de ser suministrados en sacos, se almacenen en una bodega.

5.8.3.4 FABRICACIÓN DE LA LECHADA ASFÁLTICA

Las proporciones de los componentes de la Lechada se deben atener a la fórmula de trabajo aprobada por el Fiscalizador.

La incorporación de los materiales puede hacerse de manera que el recubrimiento de los áridos por el ligante sea completo y homogéneo, mientras la Lechada permanezca en la mezcladora. Se debe pasar la lechada fabricada a la caja repartidora de forma continua. El desnivel entre el vertedero del mezclador y la caja esparcidora se regula, de forma que no se produzcan segregaciones.

Toda lechada heterogénea o que muestre un recubrimiento defectuoso de los áridos por la emulsión, pudiese ser rechazada.

5.8.3.5 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE EXISTENTE

Se debe, previo a la colocación de la Lechada, aplicar un riego de liga en pavimentos antiguos. Su objetivo es permitir una correcta adherencia de la lechada a la superficie subyacente. En pavimentos nuevos la aplicación del riego puede ser opcional.

Inmediatamente antes de proceder a la aplicación de la lechada, se debe limpiar la superficie: de polvo, suciedad, barro, materias sueltas o perjudiciales. Para ello, se utiliza barredoras mecánicas o aire a presión. En lugares inaccesibles a estos equipos se puede emplear escobas de mano. Se cuida especialmente de limpiar los bordes de la zona a tratar. En caso de existir materias adheridas a la superficie, esta se lava y deja secar antes de la colocación de la lechada. Si en la superficie de pavimento existe un exceso de ligante, se debe eliminar mediante fresado y reparar los desperfectos que pudieran impedir una correcta adherencia de la Lechada.

El Fiscalizador puede autorizar, si lo estima conveniente, la humectación de la superficie a tratar inmediatamente antes de la aplicación de la Lechada asfáltica, con la dotación de agua fijada por él, repartida de manera uniforme.

5.8.3.6 EXTENSIÓN DE LA LECHADA ASFÁLTICA

Es recomendable que las especificaciones técnicas especiales, o en su defecto el fiscalizador, establezcan la anchura extendida en cada aplicación. El avance de los equipos de extensión se puede hacer paralelamente al eje de la vía, con la velocidad conveniente para obtener la dotación prevista y una textura uniforme, de tal forma que los bordes longitudinales de la Lechada coincidan con las juntas longitudinales del pavimento existente.

Cuando se extienda la Lechada por franjas longitudinales, entre cada dos (2) contiguas puede establecerse un traslape de diez centímetros (10 cm). En el caso de aplicaciones de segunda capa, se recomienda no coincidir los traslapes de la primera y la segunda capa, para evitar una dosis excesiva.

Al finalizar la extensión de cada franja se hace una junta transversal de trabajo, de forma que quede recta y perpendicular al eje de la vía. Cuando la lechada se aplique en áreas de difícil acceso para la caja esparcidora, se puede extender con enrasadoras de mano, provistas de cintas de goma flexible u otros medios.

La Lechada asfáltica se coloca por capa de espesor nominal comprendido entre 5 y 10 mm, según las especificaciones técnicas especiales. Para espesores mayores se aplicarán capas sucesivas, previo quiebre de la capa precedente. Cuando se especifique el paso de un rodillo neumático para acelerar la salida del agua de la lechada y su mejor maduración, este se efectúa con rodillo neumático autopropulsado. El paso del rodillo comienza solo cuando el quiebre de la lechada o microaglomerado permita el paso de los rodillos sin que se adhiera a las ruedas.

5.8.3.7 LIMITACIONES DE LA EJECUCIÓN

5.8.3.7.1 LIMITACIONES CLIMÁTICAS

La aplicación de la Lechada asfáltica se llevará a cabo solo cuando la temperatura ambiente sea superior a diez grados Celsius (10°C). Dicho límite se puede rebajar por el Fiscalizador a cinco grados Celsius (5°C), si la temperatura ambiente tiende a aumentar. No se debe hacer trabajos si hay tiempo neblinoso, probabilidades de lluvia, formación de hielo en el pavimento o viento fuerte.

En general, cuando se utilicen emulsiones asfálticas en zonas frías, se debe poner especial atención en que las condiciones climáticas sean las adecuadas, para permitir el tiempo de quiebre de las emulsiones, antes que se produzca el congelamiento.

5.8.3.7.2. LIMITACIONES TÉCNICAS

No se debe colocar una mezcla cuya emulsión haya quebrado antes de las operaciones de esparcido, ni cuando haya demoras de más de 30 minutos entre la preparación de la mezcla y su colocación. Se deben tener mezclas homogéneas y uniformes, para lo cual, el constructor, dispondrá del número de unidades mezcladoras suficientes para asegurar una operación continua e ininterrumpida.

Se debe evitar todo tipo de circulación sobre la Lechada asfáltica, mientras la emulsión no haya quebrado y la Lechada no haya adquirido la resistencia suficiente para soportar el tránsito.

Cuando se prevea más de una (1) capa de Lechada, se puede aplicar la última, después de haber sometido la anterior a la acción de la circulación, durante al menos un (1) día y previo barrido del material desprendido. Cuando se requiera mantener el tránsito, se recomienda colocar la Lechada asfáltica por media calzada, no pudiéndose iniciar los trabajos en la otra mitad, hasta que no haya sido entregada al tránsito la primera. Además el constructor proveerá los medios necesarios para controlar el tránsito usuario de la ruta, de manera de minimizar las molestias e impedir que este interfiera en la ejecución de las obras.

5.8.3.8 ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD TERMINADA

La superficie de la capa debe presentar una textura uniforme y exenta de segregaciones.

Para vías expresas, troncales y colectoras, el coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD) medido con el péndulo británico, según NLT-175, o con equipo Griptester, según MC 8.502.18, se recomienda que sea superior a 0,6.

Se medirá por pista y, en caso de emplear péndulo, se determinará a distancias máximas de 50 m y se contará al menos con 2 mediciones por pista. Las especificaciones del proyecto definirán el criterio de aceptación y rechazo.

ART. 5.9 SELLO DE AGREGADOS

5.9.1 DESCRIPCIÓN Y ALCANCES

El sello de agregado es un tipo de recubrimiento sobre superficies pavimentadas, que consiste básicamente en la aplicación de un riego de emulsión asfáltica convencional o modificada, seguido de una cobertura de agregados monogranulares. Se habla de tratamiento superficial simple cuando el sello consiste en solo una aplicación de emulsión y agregado. Cuando dicho proceso se repite, se denomina tratamiento superficial doble. En actividades de conservación se utiliza principalmente con el propósito de impermeabilizar, sellar fisuras, restituir textura superficial y/o proteger el pavimento asfáltico.

La otra función básica que cumple el sello de agregados es restaurar la funcionalidad de un pavimento frente a diversas causas de deterioro. Para su aplicación, las superficies a tratar deben cumplir con lo siguiente:

- Adecuada capacidad estructural
- Adecuado IRI (Índice de Rugosidad Internacional)
- Ahuellamiento por pista menor a 5 mm

En la siguiente Tabla se muestran los niveles de deterioros aceptables para la aplicación del sello.

TABLA 5.15
DEFECTOS ACEPTABLES EN UN PAVIMENTO PARA RECIBIR UN SELLO DE AGREGADOS

TIPO DE DEFECTO	DEFECTO	SEVERIDAD	EXTENSIÓN MÁXIMA
Estructural	Grietas por fatiga	Moderada (< 3 mm)	15%
Funcional	Pérdida de agregados	Pérdida de agregados finos.	30%
	Exudación (1)	Moderada	10%
	Grietas transversales y longitudinales	< 6 mm selladas	10%
		< 3 mm	

Nota: Si la exudación es uniforme, se pueden aceptar extensiones mayores.

5.9.2 MATERIALES

5.9.2.1 EMULSIÓN

Se puede utilizar como ligante emulsiones tipo CRS-1 o CRS-2 y RS-1 o RS-2, según la compatibilidad eléctrica con la carga del agregado y el clima. Las emulsiones, además, se especifican con los requisitos dispuestos en la Tabla 5.5, Tabla 5.6 o Tabla 5.8, según corresponda. En algunos casos no es posible cumplir los objetivos de la aplicación del sello de agregados utilizando emulsiones convencionales. En estos casos, se recomienda usar una emulsión modificada con elastómeros.
Las principales condiciones que requieren la utilización de emulsiones modificadas son:

- Zonas con temperaturas extremas (muy altas o muy bajas)
- Zonas de fuertes diferenciales térmicos (día-noche, invierno-verano)
- Vías colectoras, troncales y expresas
- Fuertes pendientes (> 8%)
- Zonas de frenado
- Curvas cerrada

Los requisitos de las emulsiones modificadas se encuentran dispuestos en la Tabla 5.8.

5.9.2.2 ÁRIDOS

Las granulometrías de los agregados deben cumplir las bandas de la Tabla 5.16 y pueden ser de 5 tipos, dependiendo principalmente del tipo de tráfico, la dureza de la superficie y la ubicación del agregado en el sello.

TABLA 5.16
GRANULOMETRÍA DE ÁRIDOS PARA SELLOS

PORCENTAJE EN PESO QUE PASA						
TAMICES		TN 12,5 5	TN 10 2,5	TN 10 6,3A	TN 10 6,3B	TN 5 1,25
(mm)	ASTM					
20	(3/4")	100	---	---	---	---
12,5	(1/2")	90 - 100	100	100	100	---
10	(3/8")	40 - 70	85 - 100	95 - 100	85 - 100	100
6,3	(1/4")	---	---	0 - 40	0 - 25	----
5	Nº4	0-15	10 - 30	0 - 5	0 - 10	85 - 100
2,5	Nº8	0 - 5	0 - 10	---	0 - 1	10 - 40
1,25	Nº16	---	---	0 - 1	---	0 - 10
0,315	Nº50	---	---	---	---	0 - 5
0,08	Nº200	0 - 0,5	0 - 0,5	0 - 0,5	0 - 0,5	0 - 0,5

Además, el agregado debe cumplir con los requisitos dispuestos en la Tabla 5.17, para garantizar su buen comportamiento.

TABLA 5.17
GRANULOMETRÍA DE ÁRIDOS PARA SELLOS

ENSAYO	EXIGENCIA	MÉTODO
Desgaste Los Ángeles	Máximo 25% **(1)**	NCh 1369
Desintegración con Sulfato de Sodio	Máximo 12%	NCh 1328
Árido Chancado	Mínimo 70%	MC 8.202.6
Lajas	Máximo 10%	MC 8.202.7
Índice de Lajas	Máximo 30%	MC 8.202.7

(1) El proyecto puede indicar otro valor, debidamente justificado, que no supere el 30%.

5.9.3 PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

5.9.3.1 EQUIPO

5.9.3.1.1 EQUIPO DE EXTENSIÓN DE ASFALTO

Para la aplicación de la emulsión se debe emplear un camión distribuidor de asfalto que cumpla lo dispuesto en 5.4.3.3.

5.9.3.1.2 EQUIPO DE EXTENSIÓN DE AGREGADOS (GRAVILLADOR)

El gravillador debe incluir un esparcidor de agregados autopropulsado, soportado por ruedas neumáticas. Se puede utilizar un equipo integrado, con riego sincronizado de emulsión y gravilla simultáneo. En obras de poca envergadura, se puede utilizar un esparcidor de arrastre de diseño apropiado, que disponga de un mecanismo efectivo que deposite uniformemente el árido necesario en el ancho requerido. En todo caso, es preciso que los equipos sean capaces de distribuir los áridos en un ancho mínimo, de una pista.

5.9.3.1.3 EQUIPO DE RODILLADO

Debe estar constituido por rodillos autopropulsados de neumáticos múltiples, de peso no inferior a 10 t, que estén en perfectas condiciones mecánicas y sus ruedas no tengan una diferencia de presión de inflado mayor a 0,03 MPa entre ellas. Optativamente, estos equipos pueden ser respaldados por rodillos lisos, todos ellos en perfectas condiciones mecánicas, en especial, en lo que se refiere a la suavidad de los arranques, paradas e inversiones de marcha.

En lugares inaccesibles para los equipos se emplean pisones mecánicos u otros medios aprobados previamente por el Fiscalizador, los cuales logran resultados análogos a los obtenidos por aquellos.

5.9.3.2 ESTUDIO DEL SELLO DE AGREGADOS Y OBTENCIÓN DE LA FÓRMULA DE TRABAJO

Será responsabilidad del constructor determinar la dosificación a emplear, la cual se establece de acuerdo con el método de la “Dimensión Mínima Promedio”, según procedimiento MC 8.302.50, y es presentada por un laboratorio oficial con inscripción vigente en el Minvu.

El sello de agregados no debe iniciarse hasta que el Fiscalizador haya aprobado la correspondiente fórmula de trabajo, la cual señala:

- La granulometría de cada fracción del árido.
- La dotación máxima, media y mínima de cada riego de ligante y de cada fracción de árido.
- Cuando se utilicen adiciones, su dosificación.
- La temperatura de aplicación del ligante.

Las dotaciones de cada riego de ligante, de cada fracción de árido y en su caso, de las adiciones se fijan basándose principalmente en la experiencia obtenida en casos análogos y a la vista de:

- El tipo de riego con gravilla previsto en las especificaciones técnicas especiales.
- Los materiales a emplear.
- El estado de la superficie que se vaya a tratar.
- La intensidad de la circulación, especialmente de vehículos pesados.
- El clima.

5.9.3.3 RECEPCIÓN DE MATERIALES

5.9.3.3.1 RECEPCIÓN DE LA EMULSIÓN

Es recomendable que cada partida que llegue a la obra sea inspeccionada visualmente, como un primer control y que la emulsión se vea uniforme, sin nata, grumos u otra anomalía. Las emulsiones modificadas pueden presentar algunas diferencias como espuma, grumos de color, etc., en este caso es preferible consultar al proveedor acerca de las características particulares de la emulsión. Al inicio de la obra se debe realizar el muestreo de la emulsión, realizando ensayos para recepción.

No obstante, cada partida puede ser recibida contra presentación de un certificado que responda a los requerimientos establecidos en las especificaciones o al menos los requisitos de la Tabla 5.5, Tabla 5.6 o Tabla 5.8, según corresponda.

Se debe almacenar la emulsión en estanques cerrados, metálicos, de hormigón armado o de fibra de vidrio (en ningún caso del tipo diques) los que, en todo momento, se mantendrán limpios y en buenas condiciones de funcionamiento. El manejo de la emulsión se efectúa de manera de evitar cualquier contaminación con materiales extraños.

Cuando se requiera, los estanques pueden tener equipos para calentar la emulsión, los cuales se conforman por serpentines y caldera de aceite, calentamiento por gases de combustión u otros diseñados, de modo que no exista contacto entre la emulsión y el vehículo usado para calentarlo. Bajo ninguna circunstancia las llamas del calentador pueden entrar en contacto directo con el estanque o con la emulsión.

5.9.3.3.2 RECEPCIÓN DE ÁRIDOS

Se deben verificar que los áridos se suministren fraccionados. Cada fracción, debe ser suficientemente homogénea para que se pueda acopiar y manejar sin peligro de segregación, observándose las precauciones que se detallan a continuación:

Cada fracción del árido se acopia separada de las demás, sobre una superficie limpia, plana y nivelada, debiendo evitar inter-contaminaciones. Si los acopios se disponen sobre el terreno natural, no puede utilizar los quince centímetros (15 cm) inferiores de los mismos. Las cargas del material se colocan adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación o contaminación.

Cuando se detecten anomalías en el suministro de los áridos, se recomienda acopiarlos por separado hasta confirmar su aceptación. Esta misma medida se puede aplicar cuando se autorice el cambio de procedencia de un árido.

El volumen mínimo de acopio de áridos, antes de iniciar la confección del sello, viene fijado en las Especificaciones Técnicas Especiales, no siendo inferior al cincuenta por ciento (50%) del total de la obra o al correspondiente a un mes de trabajo, salvo que se especifique lo contrario.

Se recomienda humedecer los áridos convenientemente, antes de su empleo.

5.9.3.4 FABRICACIÓN DEL SELLO DE AGREGADOS

Las proporciones de los componentes del sello de agregados se deben atener a la fórmula de trabajo.

Si el constructor no dispone en todo momento del total de equipo necesario para continuar satisfactoriamente con las faenas, el fiscalizador puede ordenar la paralización de los trabajos hasta que se normalice dicha situación.

Se debe rechazar todo sello heterogéneo o que muestre un recubrimiento defectuoso.

5.9.3.5 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE EXISTENTE

Inmediatamente antes de proceder a la aplicación de la primera capa de emulsión, se debe limpiar la superficie: de polvo, suciedad, barro, materias sueltas o perjudiciales. Para ello, se pueden utilizan barredoras mecánicas o aire a presión. En los lugares inaccesibles a estos equipos se pueden emplear escobas de mano. Se recomienda un especial limpiado de los bordes de la zona a tratar. En caso de existir materias adheridas a la superficie, esta se lava y se deja secar antes de la colocación del sello.

Si en la superficie de pavimento existe un exceso de emulsión, se puede eliminar mediante micro fresado y se pueden reparar los desperfectos que pudieran impedir una correcta adherencia del sello.

5.9.3.6 EXTENSIÓN DEL SELLO DE AGREGADOS

Cuando se deba mantener el tránsito, el sello de agregados se puede construir por media calzada y se recomienda no iniciar los trabajos en la otra mitad, hasta que no haya sido entregada al tránsito la primera. Es aconsejable que el Constructor provea los medios necesarios para controlar el tránsito usuario de la ruta, de manera de minimizar las molestias e impedir que este interfiera en la ejecución de las obras.

En los lugares de comienzo y término de los riegos asfálticos, se puede colocar una protección transversalmente al eje de la vía, compuesta por una tira de papel o cartón de un ancho no inferior a 0,80 m. También se usa esta protección en las zonas donde se interrumpa el riego, para evitar el exceso de emulsión. Una vez utilizada, esta se retira de inmediato.

Se recomienda que la distancia entre el gravillador y el distribuidor de ligante sea tal, que el agregado sea aplicado en un lapso no superior a un minuto después de aplicado el ligante, para asegurar que quede adecuadamente embebido. En general, se aconseja que la distancia entre ambos equipos no sea nunca mayor de 60 m.

5.9.3.6.1 PRIMER RIEGO DE EMULSIÓN

La emulsión se debe distribuir uniformemente sobre la superficie a sellar, aplicando la dosis establecida con una tolerancia de ± 5%. Cualquier área que quede con deficiencia de emulsión, se repasará de inmediato mediante equipo manual.

Se aconseja verificar la tasa de aplicación del riego cada 500 m de sello por pasada. Se puede aumentar o disminuir esta frecuencia, de acuerdo a la tecnología del equipo que se utilice y la longitud del tramo a controlar. Como mínimo, esta verificación se puede hacer una vez al día. Se recomienda no aplicar más emulsión que la que pueda ser cubierta con agregado, dentro de un lapso breve.

5.9.3.6.2 PRIMERA EXTENSIÓN DE ÁRIDO

Una vez aplicada la emulsión sobre la superficie a sellar, se debe proceder de inmediato a cubrirlo con los áridos.

Los áridos pueden ser transportados a los lugares de colocación en camiones tolva, convenientemente preparados para este objetivo. En el caso que se estime necesario, se puede ordenar que los áridos sean ligeramente humedecidos, previos a su colocación.

La extensión del árido se puede hacer de manera uniforme y con la dotación prevista en la fórmula de trabajo. Tan pronto como se haya cubierto un determinado tramo, se recomienda su revisión para verificar si existen zonas deficientes de áridos, las que se pueden recubrir con material adicional, de manera que se evite el contacto de las ruedas del gravillador con el ligante sin cubrir.

Salvo que el equipo para la aplicación de la emulsión tenga dispositivos para asegurar la uniformidad de su reparto transversal junto a los bordes, donde aquella se realice por franjas, el árido se puede extender de forma que quede sin cubrir una banda de unos veinte centímetros (20 cm) de la franja regada, junto a la que todavía no lo haya sido, para conseguir un ligero solape al aplicar el ligante en esta última.

Las eventuales áreas con exceso de emulsión, se pueden recubrir de inmediato con arena limpia.

Los áridos aplicados en exceso o sobre superficies regadas con un sobreancho casual, pueden ser removidos de inmediato.

5.9.3.6.3 PRIMER “RODILLADO SIN VIBRACIÓN”

Inmediatamente después de la extensión de la primera capa de áridos, en sellos bicapa, se debe proceder a su rodillado en sellos monocapa doble engravillado. Se procederá a un rodillado auxiliar siempre que se requiera.

El rodillado se puede ejecutar longitudinalmente, comenzando por el borde inferior, progresando hacia el centro y traslapando cada pasada, un mínimo de 0,30 m con la anterior, hasta cubrir el ancho total de la superficie.

En los trabajos de rodillado puede continuar utilizando equipo complementario, hasta lograr un perfecto acomodo de las partículas. La faena de rodillado consiste en un mínimo de tres pasadas completas de rodillo sobre la misma superficie. El procedimiento de rodillado aquí establecido, se puede modificar con previa autorización del fiscalizador o profesional responsable, según los requerimientos de la obra.

5.9.3.6.4 SEGUNDO RIEGO DE EMULSIÓN

En el caso de sello bicapa, para el segundo riego de emulsión, se recomienda su aplicación con la dosis y la temperatura aprobadas, prevista en la fórmula de trabajo, de la misma forma que la primera.

5.9.3.6.5 SEGUNDA EXTENSIÓN DE ÁRIDO

En el caso de sello bicapa o monocapa doble engravillado, la segunda extensión y compactación del árido se puede realizar con la dotación prevista en la fórmula de trabajo, de la misma forma que la primera.

5.9.3.6.6 RODILLADO FINAL

Inmediatamente después de la extensión del último árido se procede a su rodillado, el que se puede ejecutar longitudinalmente, comenzando por el borde inferior, progresando hacia el centro y solapándose cada pasada, un mínimo de 0,30 m, con la anterior, hasta obtener una superficie lisa y estable.

El rodillado se complementa con el trabajo manual necesario para la corrección de todos los defectos e irregularidades que se puedan presentar.

5.9.3.6.7 TERMINACIÓN

Una vez terminado el rodillado del árido y transcurrido el plazo necesario para que el ligante utilizado en el riego alcance una cohesión suficiente para resistir la acción de la circulación normal de vehículos, se debe eliminar todo exceso de árido que haya quedado suelto sobre la superficie, antes de permitir dicha circulación.

Cuando se emplee un ligante del tipo emulsión normal o emulsión modificada con elastómero y una vez terminado el rodillado final de la superficie sellada, se debe proceder a efectuar un barrido que asegure únicamente la eliminación del árido en exceso; tras lo cual, se aplica un riego neblina según el procedimiento descrito en el Art. 5.6. Riego de Neblina, en dosis de 0,3 a 0,5 kg/m^2 de emulsión normal diluida en agua 1:1 (una parte de agua por una parte de emulsión), con una tolerancia de ± 0,1 kg/m^2. Esta dosis puede ser adicional a la establecida en la dosificación del sello asfáltico.

Sobre el riego neblina se puede efectuar una aplicación de mezcla de polvo, arena o mezcla de ambos, uniformemente distribuida, la cual se ajusta a la banda granulométrica de la Tabla 5.18 y a los requisitos de la Tabla 5.19, dejando la superficie terminada a plena satisfacción.

TABLA 5.18
GRANULOMETRÍA MEZCLA DE POLVO DE ROCA Y ARENA

TAMICES		PORCENTAJE QUE PASA EN PESO, %
mm	ASTM	
5	Nº 4	100
0,16	Nº 100	10 - 30
0,08	Nº 200	0 - 10

TABLA 5.19
REQUISITOS A MEZCLA DE POLVO DE ROCA Y ARENA PARA SELLOS

ENSAYO	EXIGENCIA	MÉTODO
Desintegración con sulfato de sodio	Máximo 12 %	NCh 1328
Partículas lajeadas	Máximo 10 %	MC 8.202.6

A menos que el proyecto establezca otra cosa, la superficie del sello de agregado puede barrerse una vez que transcurran, a lo menos, 24 horas de aplicado el riego neblina y polvo de roca cuando corresponda y cuando el ligante haya curado o quebrado completamente.

En el caso que ocurra desprendimiento de áridos incrustados en el ligante, el barrido puede ser postergado por un período adicional al señalado.

La velocidad de operación se puede restringir mediante la señalización adecuada, hasta la mañana siguiente o hasta que se lo determine. Asimismo, dicha señalización sirve para prevenir a los usuarios sobre la presencia de gravilla suelta en la calzada.

Alternativamente, el tramo terminado se puede entregar al tránsito al día siguiente de su construcción, previo barrido de su superficie e instalación de la señalización adecuada, incluso con velocidad restringida cuando lo estime necesario.

Conjuntamente, se recomienda barrer la superficie de todo tramo terminado y entregado al tránsito, cada mañana, por los siguientes cuatro días consecutivos a su construcción. Inmediatamente después del último barrido, se recomienda despejar la plataforma de la vía de todo árido suelto que se encuentre en sus costados y que dicho material se disponga de manera que no interfiera con el drenaje superficial de la calle.

5.9.3.7 LIMITACIONES DE LA EJECUCIÓN

La aplicación del sello se debe llevar a cabo solo cuando la temperatura ambiente sea superior a diez grados Celsius (10°C). Dicho límite se puede rebajar por el Fiscalizador a cinco grados Celsius (5°C), si la temperatura ambiente tiende a aumentar. No se recomienda realizar trabajos si hay tiempo neblinoso, probabilidades de lluvia, hielo en la superficie o viento fuerte.

En general, cuando se utilicen emulsiones asfálticas en zonas frías, es recomendable poner especial atención en que las condiciones climáticas sean las adecuadas para permitir el tiempo de quiebre de las emulsiones, antes que se produzca el congelamiento.

5.9.3.8 ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD TERMINADA

La superficie de la capa debe presentar una textura uniforme y exenta de segregaciones.

Para vías expresas, troncales y colectoras, el coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD), medido con el péndulo británico según NLT-175, o con equipo Griptester, según MC 8.502.18, se recomienda sea superior a 0,6.

Se medirá por pista y, en caso de emplear péndulo, se determinará a distancias máximas de 50 m y se contará al menos con 2 mediciones por pista.

Las especificaciones del proyecto definirán el criterio de aceptación y rechazo.

ART. 5.10 CAPE SEAL

La aplicación conocida como Cape Seal, consiste en la combinación de los sellos definidos en los dos ítem anteriores; esto es, se define como Cape Seal aquel tratamiento resultante de la aplicación de una primera capa de Sello de Agregado (según artículo 5.9) y la aplicación de una segunda capa compuesta por una lechada o micropavimento asfálticos (según artículo 5.8). La aplicación de la capa de lechada o micropavimento se ejecuta solo una vez terminada y curada la capa de sello de agregado. Normalmente ello requerirá un intervalo de tiempo mínimo de 24 horas.

Cada uno de los ítems correspondiente a los materiales, procedimientos de trabajo, estudio de dosificación, fabricación, colocación y limitaciones de ejecución de cada una de las respectivas aplicaciones antes señaladas se regirá por lo indicado en el artículo respectivo.

ART. 5.11 MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

5.11.1 DESCRIPCIÓN Y ALCANCES

En esta Sección se definen los trabajos de construcción de mezclas de áridos no calentados u otras técnicas (mezclas templadas, mezclas tibias entre otras), mezclados con emulsiones asfálticas. Las mezclas en frío se confeccionan en planta.

5.11.2 MATERIALES

5.11.2.1 ÁRIDOS

Los áridos se deben clasificar y acopiar separadamente en al menos tres fracciones, en canchas habilitadas especialmente para este efecto, de manera que no se produzca contaminación ni segregación de los materiales y que se ajusten a los requisitos señalados en 5.12.2.2, de Art. 5.12 Mezclas Asfálticas en Caliente.

5.11.2.1.1 FRACCIÓN GRUESA

La fracción retenida en tamiz 2,5 mm (ASTM N° 8) debe estar constituida por partículas chancadas, tenaces, limpias; entendiéndose por esto, partículas libres de materia orgánica, arcilla o materias extrañas.

Ante alguna duda, se puede exigir su limpieza por lavado, aspiración u otro método. La fracción gruesa se ajusta de acuerdo a los requisitos que se indican en la Tabla 5.20, para el tipo de mezcla que se especifique en el proyecto.

5.11.2.1.2 FRACCIÓN FINA

La fracción fina, es decir, aquella que pasa por tamiz 2,5 mm (ASTM N° 8), debe estar constituida por arenas naturales o provenientes de la trituración de rocas o gravas.

Sus partículas sean duras, tenaces y libres de arcilla o sustancias perjudiciales. Ante alguna duda al respecto, se puede exigir su limpieza por lavado, aspiración u otro método reconocido.

5.11.2.1.3 MEZCLA DE ÁRIDOS

Las distintas fracciones de áridos se deben combinar en proporciones tales, que la mezcla resultante, se ajuste a aquellas bandas granulométricas especificadas en las Tablas 5.20 o 5.21, o las que indique el proyecto.

TABLA 5.20
GRANULOMETRIA DE ÁRIDOS / GRANULOMETRÍA DENSA

DENOMINACIÓN	IV – 10	IV – 12	IV – 20	IV – 25
Tamices (mm) (astm)	Porcentaje que pasa en peso, %			
40 (1 1/2")				100
25 (1")			100	80 - 100
20 (3/4")		100	80 - 95	---
12,5 (1/2")	100	80 - 95	65 - 80	---
10 (3/8")	80 -100	67- 85	57 - 75	55 - 75
5 (Nº 4)	55 - 75	46 - 65	45 - 63	45 - 62
2,5 (Nº 8)	35 - 50	35 - 48	33 - 48	35 - 50
0,63 (Nº 30)	18 - 29	15 - 25	17 - 29	19 - 30
0,315 (Nº 50)	13 - 23	13 - 23	13 - 23	13 - 23
0,16 (Nº 100)	8 - 16	8 - 16	7 - 14	7 - 15
0,08 (Nº 200)	4 - 10	4 - 10	4 - 8	0 - 8

La banda IV-10 se puede utilizar solo para ciclovías, veredas o reparaciones puntuales en vías de bajo tránsito o empalmes de desniveles.

TABLA 5.21
GRANULOMETRÍA DE ÁRIDOS / GRANULOMETRÍA SEMIDENSA

DENOMINACIÓN	IV – A – 12	IV – A – 20	IV – A – 25
Tamices (mm) (astm)	Porcentaje que pasa en peso %		
40 (1 1/2")			100
25 (1")		100	80 - 100
20 (3/4")	100	80 - 95	73 - 88
12,5 (1/2")	80 - 95	65 - 80	60 - 75
10 (3/8")	70 - 85	57 - 73	55 - 70
5 (Nº 4)	43 - 58	40 - 55	39 - 54
2,5 (Nº 8)	28 - 42	28 - 42	28 - 42
0,63 (Nº 30)	13 - 24	13 - 24	13 - 24
0,315 (Nº 50)	8 - 17	8 - 17	8 - 17
0,16 (Nº 100)	6 - 12	6 - 12	6 - 12
0,08 (Nº 200)	4 - 8	4 - 8	4 - 8

5.11.2.2 EMULSIÓN

Salvo indicación en contrario en el proyecto, se debe emplear emulsiones asfálticas que cumplan con el apartado 5.2.3.2. Emulsiones Asfálticas.

5.11.2.3 DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

El fiscalizador deberá visar la dosificación de la mezcla antes de iniciar su producción en planta.

La dosificación debe ser realizada acorde a procedimiento MC 8.302.51 y verificada por un laboratorio oficial con inscripción vigente en el Minvu.

El contenido de asfalto de la mezcla se puede determinar por el método de extracción de asfalto o mediante el horno de ignición.

5.11.3 PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO

5.11.3.1 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

Antes de iniciar las faenas de colocación de las mezclas asfálticas, se debe verificar que la superficie satisfaga los requerimientos establecidos en el Art. 5.4. Riego de Imprimación, si corresponde a una base granular, y del Art. 5.5. Riego de Liga, si es un pavimento.

5.11.3.2 PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS

5.11.3.2.1 PLAN DE TRABAJO

Se recomienda que antes de poner en marcha la planta asfáltica, el constructor proporcione al inspector técnico de la obra o profesional responsable, un plan detallado de trabajo para su aprobación; que incluya, como mínimo, un análisis y descripción de los siguientes aspectos:

Equipo Disponible:

Se recomienda que se indique la cantidad, estado de conservación y características de los equipos de mezclado, transporte y colocación, incluyendo los ciclos programados para cada fase y los resultados de los procesos de calibración de los mismos.

Personal de Faenas:

Se recomienda que se presente un organigrama, detallando las áreas de competencia y las responsabilidades de los diversos jefes de fases o faenas, así como el número de personas que se asignan a las diversas operaciones.

Programación:

Se recomienda incluir el programa al que se ajustan las faenas, de manera de asegurar la continuidad y secuencia de las operaciones, la disposición del tránsito usuario de la ruta si corresponde, los controles de rendimientos y las características de la producción.

5.11.3.2.2 PREPARACIÓN DE LA MEZCLA

Las mezclas se deben preparar en plantas fijas o móviles, las cuales pueden ser del tipo continuo o discontinuo y que permitan reproducir la dosificación dentro de las tolerancias indicadas en el apartado 5.10.2.3. Para esto, su funcionamiento se compone de las siguientes unidades principales, las cuales, deben estar en óptimas condiciones de funcionamiento:

- Almacenaje y alimentación de áridos con un mínimo de 4 tolvas
- Unidad de control de graduación del árido
- Reja protectora que impida el ingreso de sobretamaño
- Cribas vibratorias separadoras
- Tolvas de almacenaje del árido
- Capacho de pesaje o reguladores de cantidad para operación continua
- Elemento independiente para el control del pesaje de asfalto o bomba conectada al sistema de alimentación que permita controlar la cantidad incorporada
- Mezclador de doble paleta
- Alimentación por medio de cinta transportadora y compuertas regulables
- Alimentador de vaivén con compuerta regulable

5.11.3.3 TRANSPORTE Y COLOCACIÓN

5.11.3.3.1 REQUISITOS GENERALES

Las mezclas se deben transportar a los lugares de colocación en camiones tolva, convenientemente preparados para este objetivo y ser distribuidas mediante una terminadora autopropulsada.

Las mezclas solo pueden extenderse sobre superficies secas y previamente imprimadas o con un riego de liga, según corresponda. Se recomienda solo colocar y compactar mezclas cuando la temperatura ambiental sea de por lo menos 10°C y subiendo, y el tiempo no sea brumoso ni lluvioso.

5.11.3.3.2 COMPACTACIÓN

Una vez esparcida, enrasada y alisada la mezcla, cuyo espesor suelto sea el adecuado para obtener el espesor compactado señalado en el proyecto, esta se debe compactar hasta que la superficie presente una textura uniforme y se alcance el nivel de densificación requerido. Para lograr los efectos señalados, en el rodillado inicial, se puede utilizar de preferencia un compactador de ruedas de acero tipo tándem. Posteriormente, se puede continuar con rodillos vibratorios, para finalizar con rodillos neumáticos. En todo caso, se requiere que la cantidad, peso y tipo de rodillos que se empleen, sean los adecuados para alcanzar la compactación requerida.

Previo al comienzo del proceso de compactación, se recomienda verificar que el agua, se haya evaporado suficientemente de la mezcla. Aunque en la generalidad de los casos, la evaporación producida durante el mezclado es suficiente para comenzar la compactación, se recomienda comprobar, cuando se utilicen emulsiones asfálticas, que el contenido de agua corresponda al indicado en la fórmula de trabajo. La fórmula de trabajo de la dosificación deberá indicar el porcentaje de evaporación para compactar.

La compactación puede comenzar por los bordes más bajos, para proseguir longitudinalmente en sentido paralelo al eje de la vía, traslapando cada pasada en la mitad del ancho del rodillo, de manera de avanzar gradualmente hacia la parte más alta del perfil transversal.

Cuando se pavimente una pista adyacente a otra colocada previamente, se recomienda compactar primero la junta longitudinal, para enseguida continuar con el proceso de compactación antes descrito. En las curvas con peralte, la compactación puede comenzar por la parte baja y progresar hacia la parte alta, con pasadas longitudinales paralelas al eje. Los rodillos se pueden desplazar lenta y uniformemente hasta eliminar toda marca del rodillado y alcanzar la densidad especificada. Las maniobras de cambios de velocidad o de dirección de los rodillos, no se realizan sobre la capa que se está compactando.

Para evitar la adherencia de la mezcla a los rodillos, las ruedas se mantienen húmedas o se tratan con soluciones detergentes u otro material aprobado.

En las superficies cercanas a aceras, cabezales, muros u otros lugares no accesibles a los rodillos, la compactación se puede hacer por medio de pisones manuales, alisadores o con pisones mecánicos, previamente calentados.

Cualquier mezcla suelta, quebrada, contaminada con polvo o tierra o que en alguna forma quede defectuosa, se recomienda sea retirada y sustituida por una mezcla nueva, la que se compacta ajustándola al área circundante.

5.11.3.4 CONTROLES

Antes de proceder a la colocación de una mezcla, se debe verificar que la temperatura sea de por lo menos 10°C y subiendo, el tiempo no sea brumoso ni lluvioso y que la superficie a cubrir esté limpia, seca y libre de materiales extraños.

5.11.3.4.1 CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

La mezcla se controla mediante muestras para verificar, fundamentalmente, el cumplimiento de las siguientes condiciones:

a. La granulometría está dentro de la banda de trabajo especificada en el diseño.

b. La densidad aparente está dentro de los rangos utilizados para determinar el contenido de asfalto que requiere la mezcla.

c. La temperatura de aplicación de la emulsión está dentro de los rangos especificados.

d. El contenido de asfalto está dentro de las tolerancias admisibles.

5.11.3.4.2 CONTROL DE LA COMPACTACIÓN

Se recomienda que la densidad promedio de la mezcla compactada no sea inferior al 96% de la densidad obtenida en el diseño.

5.11.3.4.3 ESPESOR

Este control se debe hacer según lo establecido en Art. 5.12. Mezclas Asfálticas en Caliente.

5.11.3.4.4 CANTIDAD DE ASFALTO

Este control se debe hacer según lo establecido en Art. 5.12. Mezclas Asfálticas en Caliente.

5.11.3.4.5 LISURA

Este control se debe hacer solo cuando las Bases Especiales lo pidan y, en ese caso, se efectuará según lo establecido en Art. 5.12. Mezclas Asfálticas en Caliente.

Las especificaciones del proyecto definirán el criterio de aceptación y rechazo.

ART. 5.12 MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

5.12.1 DEFINICIÓN Y ALCANCES

Se define como mezcla asfáltica en caliente la combinación de cemento asfáltico (CA), áridos (incluido el polvo mineral) y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del árido queden recubiertas por una película homogénea de cemento asfáltico. Su proceso de fabricación implica calentar el cemento asfáltico y los áridos (excepto, eventualmente, el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra se haga a una temperatura muy superior a la temperatura ambiente.

A efectos de aplicación de este artículo, se define como mezcla asfáltica en caliente de alto módulo, para su empleo en capa de base o intermedia con espesor entre siete y trece centímetros (7 a 13 cm), aquella que, además de todo lo anterior, presenta un valor de módulo dinámico a quince grados Celsius (15°C), según la NLT-349, superior a trece mil mega pascales (13.000 MPa).

Las mezclas asfálticas en caliente de alto módulo cumplen además, excepto en el caso que se mencionen expresamente otras, las especificaciones que se establecen en este artículo para las mezclas semidensas.

La ejecución de cualquier tipo de mezclas asfálticas en caliente, de las definidas anteriormente, incluye las siguientes operaciones:

- Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo
- Fabricación de la mezcla de acuerdo con la fórmula de trabajo
- Transporte de la mezcla al lugar de empleo
- Preparación de la superficie que va a recibir la mezcla
- Extensión y compactación de la mezcla
- Criterios de recepción

5.12.2 MATERIALES

Los materiales se ajustan, en todo caso, a lo dispuesto en la legislación vigente en materias: ambiental, de seguridad, salud, de almacenamiento y transporte de productos de la construcción.

5.12.2.1 CEMENTO ASFÁLTICO

Las especificaciones técnicas especiales fijan el tipo de cemento asfáltico a emplear, que se selecciona en función de la capa a que se destine la mezcla asfáltica en caliente, de la zona térmica o geográfica en que se encuentre y de la categoría de la vía, entre los que se indican en Tabla 5.1 (para cementos asfálticos clasificados por viscosidad), Tabla 5.2 (para cementos asfálticos clasificados por desempeño SUPERPAVE), Tabla 5.3 para cementos asfálticos elastoméricos y en la Tabla 5.4 (para cementos asfálticos multigrados).

Se emplea las siguientes abreviaturas:

ABREVIATURA	SIGNIFICADO
E	Vía Expresa
T	Vía Troncal
C	Vía Colectora
S	Vía de Servicio
L	Vía Local
P	Pasaje
AC 30 y AC 20	Cemento Asfáltico clasificado por viscosidad
PG 64-22, PG 58-28 y PG52-34	Cemento Asfáltico clasificado por por desempeño (Superpave)
AMP	Cemento Asfáltico Modificado con Elastómero
AMP-1	Cemento Asfáltico para MAM
MAM	Mezcla de Alto Módulo

TABLA 5.22
TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO A EMPLEAR

	CARPETA DE RODADURA					CARPETA DE BASE E INTERMEDIA		
Zona Térmica	Categoría de Tráfico					Categoría de Tráfico		
	E	T	C	S Y L	P	E	T	C
Cálida	AMP	AMP / AC30		AC30	AC30	AMP1/AC30		AC30
Intermedia	AMP			AC30 AC20	AC20			
Fría	AMP	AC20				AC30		AC20
Zona Geográfica	Categoría de Tráfico							
	E C T S L y P							
Central	PG 64-22 *							
Precordillerana	PG 58-28 *							
Cordillera y Patagonia	PG52-34 *							

* Será posible especificar el Cemento Asfáltico mediante clasificación por desempeño (Superpave), siempre y cuando exista la posibilidad de realizar todos los Controles de Laboratorio indicados en el Art. 5.16. De otra forma, deberá especificar el Cemento Asfáltico mediante otra clasificación.

Es recomendable que para mezclas asfálticas en caliente de alto módulo (MAM) el tipo de cemento asfáltico a emplear sea AMP-1.

En el caso de utilizar cementos asfálticos con adiciones no incluidas en los artículos de este Código, deberá contar con la aprobación de la Fiscalización Técnica de la Obra y demostrar que el tipo de adición y sus especificaciones cumplan con los requisitos del cemento asfáltico y la mezcla asfáltica resultante.

En el caso de incorporación de productos (fibras, materiales elastoméricos, RAP-Reclaimed Asphalt Pavement, etc.) como modificadores de la reología de la mezcla, quien diseña, determinará la dosis y controles necesarios para medir las propiedades resultantes, de tal manera que se garantice un comportamiento en mezcla semejante al que se obtuviera al emplear un cemento asfáltico de los especificados en el apartado 5.2.3.1 de este Código.

5.12.2.2 ÁRIDOS

5.12.2.2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Los áridos a emplear en las mezclas asfálticas en caliente, deben cumplir las especificaciones recogidas en este artículo. Pueden emplearse como áridos, el material procedente del reciclado de mezclas asfálticas en caliente, en proporciones inferiores al diez por ciento (10%) de la masa total de mezcla. Las especificaciones del proyecto, pueden exigir propiedades o especificaciones adicionales, cuando se vayan a emplear áridos cuya naturaleza o procedencia así lo requiriese.

Los áridos se producen o suministran en al menos 3 fracciones granulométricas diferenciadas, que se acopian y manejan por separado hasta su introducción en las tolvas en frío. Antes de pasar por el secador de la planta de fabricación, el equivalente de arena, según la NCh 1325, del árido obtenido combinando las distintas fracciones de los áridos (incluido el polvo mineral) según las proporciones fijadas en la fórmula de trabajo, debe ser superior al definido en el apartado 5.12.2.2.5.

Los áridos no pueden ser susceptibles de ningún tipo de meteorización o alteración físico-química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en la zona de empleo y que tampoco puedan dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras u otras capas del firme o contaminar corrientes de agua. Las especificaciones del proyecto fijan los ensayos para determinar la inalterabilidad del material. Si se considera conveniente, para caracterizar los componentes solubles de los áridos de cualquier tipo (naturales, artificiales o procedentes del reciclado de mezclas asfálticas, que puedan ser lixiviados y que puedan significar un riesgo potencial para el medioambiente o para los elementos de construcción situados en sus proximidades), se emplea la NLT-326.

El árido procedente del reciclado de mezclas asfálticas se puede obtener de la disgregación, por fresado o trituración, de capas de mezcla asfáltica. En ningún caso se admiten áridos procedentes del reciclado de mezclas asfálticas que presenten deformaciones plásticas (ahuellamiento) se determina la granulometría del árido recuperado, según la norma NLT-165, que se emplea en el estudio de la fórmula de trabajo. El tamaño máximo de las partículas viene fijado por las especificaciones técnicas especiales, debiendo pasar la totalidad por el tamiz, correspondiente al tamaño máximo absoluto de la respectiva mezcla, de la NCh 1022.

El árido obtenido del reciclado de mezclas asfálticas, debe cumplir las especificaciones de los apartados 5.12.2.2.1, 5.12.2.2.2, 5.12.2.2.3 y 5.12.2.2.4 en función de su granulometría obtenida, según la norma NLT-165.

5.12.2.2.2 ÁRIDO GRUESO

a. Se define como árido grueso a la parte del árido total retenida en el tamiz 2,5 mm de los tamices descritos en la NCh 1022.

b. La proporción de partículas chancadas del árido grueso, debe cumplir lo fijado en la Tabla 5.23.

TABLA 5.23
PROPORCIÓN MÍNIMA DE PARTÍCULAS CHANCADAS DEL ÁRIDO GRUESO (% EN MASA).

TIPO DE CAPA	Categoría de vía			
	E y T	C	S y L	P
Rodadura Normal	98		70	
Intermedia	95	70		-
Base Asfáltica	70			-

c. Las partículas lajeadas, según procedimiento MC 8.202.6, deben cumplir en capas de rodadura, un máximo de 10% y en otras capas, un máximo de 15%.

d. El Índice de Lajas, según procedimiento MC 8.202.7, debe cumplir lo señalado en la Tabla 5.24.

TABLA 5.24
ÍNDICE DE LAJAS

TIPO DE MEZCLA	Categoría de Tráfico	
	E	T y C
Densa, Semidensa y Gruesa	≤ 20	≤ 25

e. El ensayo de resistencia al desgaste, según NCh 1369 debe cumplir lo fijado en la Tabla 5.25.

TABLA 5.25
VALORES MÁXIMOS ENSAYO RESISTENCIA AL DESGASTE DEL ÁRIDO GRUESO.

TIPO DE CAPA	Categoría de Tráfico			
	E	T y C	S y L	P
Rodadura Normal	25	35		
Intermedia	35			
Base Asfáltica				

f. Debe cumplir con la limpieza (contenido de impurezas), de manera que el árido grueso esté exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga u otras materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la mezcla. El contenido de impurezas, según la NCh 1223, del árido grueso, sea inferior al cinco por mil (0,5%) en masa, en caso contrario, se puede exigir su limpieza mediante lavado, aspiración u otros métodos.

g. Desintegración en sulfato de sodio (máx. 12%), según la NCh 1328. Esta exigencia solo se puede especificar para obras ubicadas en las regiones XI a y XII a y en la alta cordillera, o cuando lo indique el proyecto.

5.12.2.2.3 ÁRIDO FINO

Se define como árido fino a la parte del árido total que pasa por el tamiz 2,5 mm y retenida por el tamiz 0,08 mm de la NCh 1022.

Se debe cumplir que:

a. La procedencia del árido fino sea la trituración de piedra de cantera o grava natural en su totalidad o en parte de yacimientos naturales. La proporción de árido fino no triturado a emplear en la mezcla cumple lo fijado en la Tabla 5.26.

TABLA 5.26
PROPORCIÓN DE ÁRIDO FINO NO TRITURADO (*) A EMPLEAR EN LA MEZCLA (% EN MASA DEL TOTAL DE ÁRIDOS, INCLUÍDO EL POLVO MINERAL)

CATEGORÍA DE TRÁFICO		
E y T	C (**)	S (**), L y P
0	<10	<20

(*) El porcentaje de árido fino no triturado que no supere el del árido fino triturado.

(**) Excepto en capas de rodadura, cuyo valor es cero.

b. La limpieza del árido fino esté exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga y otras materias extrañas.

c. La resistencia a la fragmentación del árido fino cumpla las condiciones exigidas al árido grueso en el apartado referente al ensayo Desgaste Los Ángeles.

d. El Índice de Plasticidad NP cumpla según la NCh 1517/2.

Si no cumplen los áridos con esta exigencia, se puede utilizar previa incorporación de un aditivo que mejore la adherencia en obra.

Se puede emplear árido fino de otra naturaleza que mejore alguna característica, en especial la adhesividad, pero en cualquier caso, este procederá del árido grueso con desgaste (NCh 1369) inferior a 25% para capas de rodadura e intermedias y a 35% para capas intermedia o de base.

5.12.2.2.4 POLVO MINERAL

Se define como polvo mineral a la parte del árido total que pasa por el tamiz 0,08 mm de la NCh 1022.

Se recomienda que:

a. La procedencia del polvo mineral puede ser de los áridos, el cual se separa de ellos por medio de los ciclones de la planta de asfalto o se aporta a la mezcla por separado de aquellos, como un producto comercial o especialmente preparado.

La proporción del polvo mineral de aportación a emplear en la mezcla, debe cumplir lo fijado en la Tabla 5.27.

TABLA 5.27
PROPORCIÓN DE POLVO MINERAL DE APORTACIÓN (% EN MASA DEL RESTO DEL POLVO MINERAL, EXCLUÍDO EL INEVITABLEMENTE ADHERIDO A LOS ÁRIDOS)

TIPO DE MEZCLA	CATEGORÍA DE TRÁFICO			
	E y T	C	S y L	P
Rodadura	100		50	-
Intermedia	100	50		-
Base Asfáltica	100	50	-	-

El polvo mineral que quede inevitablemente adherido a los áridos tras su paso por el secador, en ningún caso puede rebasar el dos por ciento (2%) de la masa de la mezcla. Solo si se asegurase que el polvo mineral procedente de los áridos cumple las condiciones exigidas al de aportación, se puede rebajar la proporción mínima de este.

b. En la finura y actividad del polvo mineral, la densidad aparente del polvo mineral, según la NLT-176, esté comprendida entre cinco y ocho decigramos por centímetro cúbico (0,5 a 0,8 g/cm^3).

5.12.2.2.5 REQUISITOS PARA ÁRIDOS COMBINADOS

a. Las sales solubles para capa de rodadura deben cumplir con un máx. 2%, para capa intermedia, y 3% para base gruesa, según la NCh 1444/1.

b. El equivalente de arena para capa de rodadura debe ser mínimo 50%; para capa intermedia 45% y para base gruesa 40%, según la NCh 1325.

5.12.2.3 ADITIVOS

Los aditivos a emplear son de exclusiva responsabilidad del productor de las mezclas.

5.12.3 TIPO Y COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA

La granulometría del árido obtenido, combinando las distintas fracciones de los áridos (incluido el polvo mineral), según la unidad de obra o empleo, debe estar comprendida dentro de alguno de las fijadas en la Tabla 5.28.

Para la formulación de mezclas asfálticas en caliente de alto módulo (MAM) se emplee la banda IV-A-20 con las siguientes modificaciones, respecto a dicha banda granulométrica: tamiz 0,315: 8-15; tamiz 0,16: 7-12 y tamiz 0,08: 6-9.

La designación del tipo de mezcla se hace en función del tamaño máximo nominal del árido, que se define como la abertura del primer tamiz que retiene más de un diez por ciento en masa.

TABLA 5.28
BANDA GRANULOMÉTRICA. PORCENTAJE QUE PASA (% EN MASA)

CAPA	TIPO MEZCLA		25	20	12,5	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,08
Rodadura e	Densa	IV-12(1)	-	100	80-100	70-90	50-70	35-50	-	18-29	13-23	8-16	4-10
Intermedia		IV-20(1)	100	80-100	-	60-80	48-65	35-50	-	19-30	13-23	7-15	0-8
Rodadura e	Semidensa	IV-A-12	-	100	80-95	70-85	43-58	28-42	-	13-24	8-17	6-12	4-8
Intermedia		IV-A-20	100	80-95	65-80	57-73	40-55	28-42	-	13-24	8-17	6-12	4-8
Intermedia y	Gruesa	III-12a		100	75-100	60-85	35-55	20-35	-	10-22	6-16	4-12	2-8
Base Asfáltica		III-20	100	75-100	-	45-70	30-50	20-35	-	5-20	3-12	2-8	0-4
Rodadura	Fina	V-12	-	100	85-100	-	65-80	50-65	37-52	25-40	18-30	10-20	3-10
Rodadura	Drenante	PA-12	-	100	70-100	50-80	15-30	10-22	-	6-13	-	-	3-6
		PA-10	-	-	100	70-90	15-30	10-22		6-13			3-5
Veredas y Ciclovía	Densa Fina	IV 10	-	-	100	80-100	55-75	35-50	-	18-29	13-23	8-16	4-10

El tipo de mezcla asfáltica en caliente a emplear, en función del tipo y del espesor de la capa, se define en las especificaciones técnicas especiales, según la Tabla 5.29.

TABLA 5.29
TIPO DE MEZCLA A UTILIZAR EN FUNCIÓN DEL TIPO Y ESPESOR DE LA CAPA

TIPO DE CAPA	ESPESOR (CM)	TIPO DE MEZCLA
Rodadura	4 - 7	IV 12(1); IV A 12; PA 10 y PA 12.
Rodadura	> 7	IV 20(1); IV A 20.
Intermedia	5 - 10	IV 20(1); IV A 20; III 12a y III-¬20.
Base	7 - 13	III 20; MAM; IV A 20.

Las especificaciones técnicas especiales deben fijar la dotación mínima de cemento asfáltico de la mezcla en caliente que, en cualquier caso, no sea inferior a lo indicado en la Tabla 5.30, según el tipo de mezcla o de capa.

TABLA 5.30
CONTENIDO MÍNIMO (*) DE CEMENTO ASFÁLTICO (% EN MASA SOBRE EL TOTAL DEL ÁRIDO SECO, INCLUÍDO EL POLVO MINERAL)

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA	DOTACIÓN MÍNIMA (%)
Rodadura	Densa y Semidensa	5
Intermedia	Densa y Semidensa	4,0
Base	Semidensa y Gruesa	3,5
	Alto módulo	5,2

(*) Incluidas las tolerancias especificadas en el apartado 5.12.6.2. Se recomienda tener en cuenta las correcciones por peso específico y absorción de los áridos, si son necesarias.

5.12.4 EQUIPO NECESARIO PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

Se recomienda estar, en todo caso, ajustado a lo dispuesto en la legislación vigente en materias: ambiental, de seguridad, salud y de transporte en lo referente a los equipos empleados en la ejecución de las obras.

5.12.4.1 PLANTA DE ASFALTO

Las mezclas asfálticas en caliente se deben fabricar por medio de plantas de mezcla continua o discontinua, capaces de manejar simultáneamente en frío el número de fracciones del árido que exija la fórmula de trabajo adoptada (mínimo tres).

El sistema de almacenamiento, calefacción y alimentación del cemento asfáltico debe permitir su recirculación y su calentamiento a la temperatura de empleo, de forma que se garantice que no se produzcan sobrecalentamientos localizados y no se sobrepasen las temperaturas máximas admisibles de dicho producto.

Todas las tuberías, bombas, estanques, etc., deben estar provistos de calefactores o aislamientos. Se recomienda que la descarga de retorno del cemento asfáltico a los estanques de almacenamiento sea sumergida, y que se dispongan de termómetros, especialmente en la boca de salida al mezclador, como también, en la entrada del estanque de almacenamiento.

El sistema de circulación esté provisto de dispositivos para tomar muestras y para comprobar la calibración del dosificador. Las tolvas para áridos en frío deben ser de paredes resistentes y estancas, bocas de anchura suficiente para que su alimentación se efectúe correctamente y cuya separación sea efectiva para evitar contaminaciones. Su número mínimo sea función del número de fracciones de árido que exija la fórmula de trabajo adoptada, pero en todo caso, no sea inferior a tres (3).

Asimismo, estas tolvas, pueden estar provistas de dispositivos ajustables, de dosificación a su salida. Las tolvas aseguran el flujo calibrado en todo momento, para lo cual pueden contar con un dispositivo automático que detecte la interrupción o aumento descontrolado del flujo.

En plantas de mezcla continua, con tambor secador-mezclador, el sistema de dosificación puede ser ponderal, al menos para la arena y para el conjunto de los áridos. Se aconseja tener en cuenta la humedad de éstos, para corregir la dosificación en función de ella.

En los demás tipos de plantas, para la fabricación de mezclas para las Vías Expresas y Troncales, también deben disponer de sistemas ponderales de dosificación en frío.

La planta puede estar provista de un secador que permita calentar los áridos a la temperatura fijada en la fórmula de trabajo, extrayendo de ellos una proporción de polvo mineral tal, que su dosificación se atenga a la fórmula de trabajo.

El sistema extractor debe evitar la emisión de polvo mineral a la atmósfera y el vertido de lodos a cauces, de acuerdo con la legislación ambiental, de seguridad y salud vigentes.

Se recomienda que la planta tenga sistemas separados de almacenamiento y dosificación del polvo mineral recuperado y de aportación, los cuales sean independientes de los correspondientes al resto de los áridos y estén protegidos de la humedad.

Las plantas, cuyo secador no sea a la vez mezclador, pueden estar provistas de un sistema de clasificación de los áridos en caliente -de capacidad acorde con su producción- en un número de fracciones no inferior a tres (3) y de silos para almacenarlos.

Estos silos deben tener paredes resistentes, estancas y de altura suficiente para evitar contaminaciones, con un rebosadero para evitar que un exceso de contenido se vierta en los contiguos o afecte al

funcionamiento del sistema de dosificación. Un dispositivo de alarma, claramente perceptible por el operador, le avise cuando el nivel del silo baje del que proporcione el caudal calibrado.

Es preciso que cada silo permita tomar muestras de su contenido y su compuerta de descarga sea estanca y de accionamiento rápido.

La planta puede estar provista de indicadores de la temperatura de los áridos, con sensores a la salida del secador, en su caso, en cada silo de áridos en caliente.

Las plantas de mezcla discontinua pueden estar provistas en cualquier circunstancia de dosificadores ponderales independientes: al menos uno (1) para los áridos calientes, cuya precisión sea superior al medio por ciento (± 0,5%) y al menos uno (1) para el polvo mineral y uno (1) para el cemento asfáltico, cuya precisión sea superior al tres por mil (± 0,3%).

El cemento asfáltico se debe distribuir uniformemente en el mezclador y las válvulas que controlan su entrada, no permitan fugas ni goteos. El sistema dosificador del cemento asfáltico debe calibrarse a la temperatura y presión de trabajo; en planta de mezcla continua, estando sincronizado con la alimentación de los áridos y la del polvo mineral.

En planta de mezcla continua con tambor secador-mezclador, se dé garantía de difusión homogénea del cemento asfáltico y que ésta se realice de forma que no exista riesgo de contacto con la llama, ni de someter al cemento asfáltico a temperaturas inadecuadas.
Si se previera la incorporación de aditivos a la mezcla, la planta debe dosificarlos con precisión suficiente.

Se recomienda que, si la planta estuviera dotada de tolvas de almacenamiento de las mezclas fabricadas, sus capacidades den garantía al flujo normal de los elementos de transporte, así como que en las cuarenta y ocho horas (48 h) siguientes a la fabricación, el material acopiado no haya perdido ninguna de sus características, en especial, la homogeneidad del conjunto y las propiedades del cemento asfáltico.

5.12.4.2 ELEMENTOS DE TRANSPORTE

Consiste en camiones de caja lisa y estanca, perfectamente limpia, los cuales se tratan para evitar que la mezcla asfáltica se adhiera a ella, con un producto cuya composición y dotación sea la adecuada.

Se recomienda que la forma y altura de la caja sea tal que, durante el vertido en la extendedora, el camión solo toque a ésta a través de los rodillos previstos al efecto.

Los camiones deben estar provistos de una lona o cobertor adecuado para proteger la mezcla asfáltica en caliente durante su transporte, de la pérdida de temperatura.

5.12.4.3 EXTENDEDORAS, TERMINADORA O FINISHER

Las extendedoras deben ser autopropulsadas y estar dotadas de los dispositivos necesarios para extender la mezcla asfáltica en caliente, con la geometría y producción deseada y un mínimo de precompactación. La capacidad de la tolva, así como la potencia, sean adecuadas para el tipo de trabajo a desarrollar.

Los sistemas de traslado de mezcla desde la tolva hasta delante de la plancha y los de traslado transversal a esta, sean sincronizados automáticamente por el sistema de comando de la máquina, asegurando un volumen constante en todo momento delante de la plancha.

La extendedora debe estar dotada de un dispositivo automático de nivelación, y de un elemento calefactor para la ejecución de la junta longitudinal.

La plancha puede permanecer con calefacción adicional para mantener la temperatura óptima de trabajo que indique el fabricante de la máquina.

Se recomienda comprobar, en su caso, que los ajustes del enrasador y de la plancha se atienen a las tolerancias mecánicas especificadas por el fabricante y que dichos ajustes no han sido afectados por el desgaste u otras causas.

El ancho mínimo o en máxima de extensión se define en las Especificaciones Técnicas Especiales o en su defecto el Fiscalizador o Profesional responsable.

Si a la extendedora se acoplan piezas para aumentar su anchura, éstas pueden quedar perfectamente alineadas con las originales y con todos los elementos que aseguren la misma calidad que la plancha base.

5.12.4.4 EQUIPO DE COMPACTACIÓN

Se pueden utilizar compactadores de rodillos metálicos, estáticos o vibrantes, de neumáticos o mixtos. La composición mínima del equipo puede ser de un (1) compactador vibratorio, de rodillos metálicos o mixtos y un (1) compactador de neumáticos.

Es recomendable que todos los tipos de compactadores sean autopropulsados, tengan inversores de sentido de marcha de acción suave, estén dotados de dispositivos para la limpieza de sus llantas o neumáticos durante la compactación y para mantenerlos húmedos en caso necesario.

Se recomienda que los compactadores de llantas metálicas no presenten surcos ni irregularidades en ellas. Los compactadores vibratorios pueden tener dispositivos automáticos para eliminar la vibración, al frenar e invertir el sentido de su marcha.

Los de neumáticos pueden tener ruedas lisas, en número, tamaño y configuración tales que permitan el solape de las huellas de las delanteras y traseras y faldones de lona protectores contra el enfriamiento de los neumáticos.

Las presiones de contacto, estáticas o dinámicas, de los diversos tipos de compactadores son necesarias para conseguir una compacidad adecuada y homogénea de la mezcla en todo su espesor. Sin producir roturas del árido, ni deformaciones de la mezcla a la temperatura de compactación.

En los lugares inaccesibles para los equipos de compactación normales, se pueden emplear otros de tamaño y diseño adecuados para la labor que se pretende realizar.

Cuando se emplean rodillos vibratorios en general se recomienda:

- En capas de 40 a 65 mm, emplear alta frecuencia y baja amplitud.
- En capas mayores a 65 mm, emplear alta frecuencia y alta amplitud.
- En capas rígidas emplear alta frecuencia y alta amplitud.

En cuanto a capacidades, se recomienda emplear rodillos vibratorios cuyas capacidades varíen de 4,5 a 10 toneladas. Estas capacidades pueden variar según el fabricante y su empleo depende del espesor de mezcla a compactar. Estas recomendaciones deberán ser verificadas en obra.

Para proteger las estructuras se recomienda el empleo de rodillos de oscilación, la diferencia es que el movimiento de compactación o fuerza aplicada no es vertical al plano de compactación de la mezcla y el principio es una generación de fuerzas en el sentido horizontal y paralelo al plano del pavimento, generando un efecto de amasado en la mezcla. El efecto es tan eficiente que con uno o dos ciclos, dependiendo del espesor y de la mezcla, se logran la densidad sin necesidad de usar rodillos neumáticos.

5.12.5 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

5.12.5.1 ESTUDIO DE LA MEZCLA Y OBTENCIÓN DE LA FÓRMULA DE TRABAJO

La fabricación y puesta en obra de la mezcla no se debe iniciar hasta que se haya aprobado por el fiscalizador la correspondiente fórmula de trabajo, estudiada en laboratorio y verificada en la planta de fabricación.

Dicha fórmula debe fijar como mínimo las siguientes características:

a. La identificación y proporción de cada fracción del árido en la alimentación y, en su caso, después de su clasificación en caliente.

b. La granulometría de los áridos combinados, incluido el polvo mineral, por los tamices 25; 20; 12,5; 10; 5; 2,5; 1,25; 0,630; 0,315; 0,160; y 0,08 (NCh 1022).

c. Granulometría del árido contenido en el material asfáltico a reciclar por los tamices.

d. Tipo y características del cemento asfáltico.

e. La dosificación del cemento asfáltico y, en su caso, la de polvo mineral de aportación, referida a la masa del total de áridos (incluido dicho polvo mineral), y la de aditivos, referida a la masa del cemento.

f. En su caso, el tipo y dotación de las adiciones, referida a la masa total del árido combinado.

g. La densidad mínima a alcanzar.

También se señalan:

h. Los tiempos a exigir para la mezcla de los áridos en seco y para la mezcla de los áridos con el cemento asfáltico.

i. Las temperaturas máxima y mínima de calentamiento previo de áridos y cemento asfáltico. Se recomienda no introducir, en ningún caso, en el mezclador, árido a una temperatura superior a la del cemento asfáltico en más de quince grados Celsius (15°C).

j. La temperatura de mezclado con cementos asfálticos se fija dentro del rango correspondiente a una viscosidad del cemento asfáltico de ciento cincuenta a trescientos centistokes (150-300 cSt).

k. Además, en el caso de cementos asfálticos modificados con elastómeros en la temperatura de mezclado se recomienda tener en cuenta el rango recomendado por el fabricante.

l. La temperatura mínima de la mezcla en la descarga desde los elementos de transporte.

m. La temperatura mínima de la mezcla al iniciar y terminar la compactación.

La temperatura máxima de las mezclas, a la salida del mezclador, no superará los 180°C para las mezclas confeccionadas con AMP o AMP-1 y no superará los 165°C cuando sean confeccionadas con ligantes convencionales.

Las especificaciones técnicas especiales o en su defecto, el fiscalizador, pueden fijar la dosificación de ligante hidrocarbonado teniendo en cuenta los materiales disponibles, la experiencia obtenida en casos análogos y siguiendo los criterios siguientes:

- En mezclas densas, semidensas, gruesas y de alto módulo:

a. El análisis de huecos y la resistencia a la deformación plástica puede efectuarse empleando el método Marshall, según la norma ASTM D1559.

b. Para capas de rodadura o intermedia se recomienda emplear ensayos de la pista de ensayo de laboratorio que se encuentren en el país. Se pueden aplicar los criterios indicados en la Tabla 5.31.

c. Para mezclas de alto módulo, además, el valor del módulo dinámico a quince grados Celsius (15°C), según la norma NLT-349, no sea inferior a trece mil megapascales (13.000 MPa).

Se recomienda, en mezclas que empleen asfaltos modificados, el Ensayo de Rueda de Carga.

Para el diseño de la mezcla se considera la realización de esta prueba, con el propósito de hacer una evaluación del comportamiento de la mezcla frente a las deformaciones permanentes o ahuellamiento, para lo cual se ensaya una probeta fabricada, según la especificación correspondiente de la prueba, con la dosificación que satisfaga los criterios de diseño del Método Marshall, la que cumple con una velocidad máxima de deformación en el intervalo entre 105 y 120 minutos menor que 15 µm/min (quince micrones por minuto), al ser sometida al Ensayo de Rueda de Carga o "Wheel tracking", según la norma NLT-173.

TABLA 5.31
CRITERIOS DE DOSIFICACIÓN EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL (75 GOLPES POR CARA).

CARACTERÍSTICA		CATEGORÍA DE TRÁFICO	
		E, T, C, S	L Y P
Estabilidad (N)	Capa de rodadura	9000 a 14000	6000 a 9000
	Intermedia	8000 a 12000	
Fluencia (0,25mm)	Capa de rodadura	8 - 14	8 - 16
	Intermedia	8 - 16	
Vacíos en mezcla (%)	Capa de rodadura	3 - 5	
	Capa intermedia	3 - 8	-
	Capa de base	5 - 8 **(*)**	-
Vacíos en agregado mineral (%)	Mezclas 12 mm	13 Mín.	14 Mín.
	Mezclas 20 mm	13 Mín.	

(*) En las mezclas asfálticas de alto módulo: 4-6.

Para todo tipo de mezcla, en el caso de vías expresas y troncales, se comprueba asimismo la sensibilidad de las propiedades de la mezcla a variaciones de granulometría y dosificación de cemento asfáltico que no excedan de las admitidas en el apartado 5.12.6.2.

En cualquier circunstancia, se comprueba la adhesividad árido-ligante mediante la caracterización de la acción del agua. Para ello, en mezclas densas, semidensas, gruesas y de alto módulo, la pérdida de resistencia en el ensayo de inmersión-compresión, según la NLT-162, no sobrepase el veinticinco por ciento (25%).

Se puede mejorar la adhesividad entre el árido y el cemento asfáltico mediante activantes o cualquier otro producto sancionado por la experiencia. En tales casos, el fabricante y el que diseñe la mezcla determinan el producto, dosis y forma de aplicación. En todo caso, la dosis mínima de cemento asfáltico no debe ser inferior a lo indicado en la Tabla 5.30.

Se recomienda que para capas de rodadura, la fórmula de trabajo de la mezcla asfáltica en caliente asegure el cumplimiento de las características de la unidad terminada en lo referente a la macrotextura superficial y a la resistencia al deslizamiento, según lo indicado en el apartado 5.12.6.7.

Si la marcha de las obras lo aconseja, el fiscalizador puede ordenar corregir la fórmula de trabajo con objeto de mejorar la calidad de la mezcla, justificándolo mediante un nuevo estudio y los ensayos oportunos. Se estudia y aprueba una nueva fórmula si varía la procedencia de alguno de los componentes o si durante la producción se superan las tolerancias granulométricas establecidas en este artículo.

En cualquier caso, los estudios de diseño de mezcla serán desarrollados según Método Marshall, acorde a MC 8.302.47, por un laboratorio oficial inscrito en registros del Minvu.

5.12.5.2 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE EXISTENTE

Se debe comprobar la regularidad superficial y el estado de la superficie sobre la que se vaya a extender la mezcla asfáltica en caliente.

Las especificaciones técnicas especiales o, en su defecto, el fiscalizador indiquen las medidas encaminadas a restablecer una regularidad superficial aceptable y, en su caso, a reparar zonas dañadas.

Si dicho pavimento fuera heterogéneo se recomienda eliminar mediante fresado los excesos de ligante y sellar las zonas demasiado permeables.

Se debe comprobar especialmente que, una vez transcurrido el plazo de rotura del ligante de los tratamientos aplicados, no queden restos de agua en la superficie, asimismo, si ha transcurrido mucho tiempo desde su aplicación, se aconseja comprobar que su capacidad de unión con la mezcla asfáltica no haya disminuido en forma perjudicial, en caso contrario, el Fiscalizador puede ordenar la ejecución de un riego de adherencia adicional.

5.12.5.3 APROVISIONAMIENTO DE ÁRIDOS

Es recomendable que los áridos se produzcan o suministren en al menos cuatro fracciones granulométricas diferenciadas (inicio y término de sus tamaños), que se acopien y manejen por separado hasta su introducción en las tolvas en frío.

Se recomienda que cada fracción sea suficientemente homogénea y se pueda acopiar y manejar sin peligro de segregación, observando las precauciones que se detallan a continuación.

Para mezclas diseñadas según la Tabla 5.29, el número mínimo de fracciones diferenciadas será de tres.

Cada fracción del árido se acopia separada de las demás, para evitar contaminaciones. Si los acopios se disponen sobre el terreno natural, se recomienda no usar los quince centímetros (15 cm) inferiores, a no ser que se pavimenten. Los acopios se pueden construir por capas de espesor no superior a un metro y medio (1,5 m) y no por montones cónicos. Las cargas del material se pueden colocar adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación.

En la zona desde Los Ángeles al sur, los áridos finos deberán encontrarse bajo techo.

Cuando se detecten anomalías en el suministro de los áridos, se recomienda acopiarlos por separado, hasta confirmar su aceptabilidad. Esta misma medida se puede aplicar cuando esté pendiente de autorización el cambio de procedencia de un árido.

No se aceptará el uso inmediato de árido que esté ingresando a la planta de asfalto, éste deberá ser acopiado y luego validado por el sistema de autocontrol de la planta.

5.12.5.4 FABRICACIÓN DE LA MEZCLA

Es recomendable que la carga de cada una de las tolvas de áridos en frío, se haga de forma que su contenido esté comprendido entre el cincuenta y el cien por cien (50 a 100%) de su capacidad, sin rebosar. En las operaciones de carga se aconseja tomar las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones.

Para mezclas densas y semidensas la alimentación del árido fino aún cuando este, fuera de un único tipo y granulometría, se puede efectuar dividiendo la carga entre dos (2) tolvas. Esto es válido cuando un solo material por sí mismo es más de un 50 % de la mezcla de áridos.

Los dosificadores de áridos en frío se pueden regular de forma que se obtenga la granulometría de la fórmula de trabajo; su caudal se puede ajustar a la producción prevista, y se puede mantener constante la alimentación del secador.

Se recomienda regular el secador de forma que la combustión sea completa, lo que puede venir indicado por la ausencia de humo negro en el escape de la chimenea; la extracción por los colectores puede regularse de forma que la cantidad y la granulometría del polvo mineral recuperado, sean ambas uniformes.

En la plantas, cuyo secador no sea a la vez mezclador, los áridos calentados y, en su caso, clasificados, se aconseja pesarlos y transportarlos al mezclador.

Si la alimentación de este es discontinua, después de haber introducido los áridos y el polvo mineral se debe agregar automáticamente el ligante asfáltico para cada amasada, se puede continuar la operación de mezcla durante el tiempo especificado en la fórmula de trabajo.

Si se utilizan áridos procedentes del reciclado de mezclas asfálticas en la planta, cuyo secador no sea a la vez mezclador, si la alimentación de este es discontinua, después de haber introducido los áridos, se debe pesar e introducir los áridos procedentes del reciclado de mezclas asfálticas junto al polvo mineral, después de un tiempo de disgregación, calentado y mezcla, se puede agregar el ligante asfáltico y en su caso los aditivos, para cada amasijo, pudiéndose continuar la operación de mezcla durante el tiempo especificado en la fórmula de trabajo. Si la alimentación fuese continua, los áridos procedentes del reciclado de mezclas asfálticas se pueden incorporan al resto de los áridos en la zona de pesaje en caliente a la salida del secador.

En la planta de mezcla continua con tambor secador-mezclador se aportan los áridos procedentes del reciclado de mezclas asfálticas tras la llama, de forma que no exista riesgo de contacto con ella.

En los mezcladores de las plantas que no sean de tambor secador-mezclador, se puede limitar el volumen del material, en general hasta dos tercios (2/3) de la altura máxima que alcancen las paletas, de forma que, para los tiempos de mezclado establecidos en la fórmula de trabajo se alcance una envuelta completa y uniforme.

A la descarga del mezclador, se recomienda que todos los tamaños del árido estén uniformemente distribuidos en la mezcla y todas sus partículas total y homogéneamente cubiertas de cemento asfáltico. Se aconseja que la temperatura de la mezcla al salir del mezclador no exceda de la fijada en la fórmula de trabajo.

En el caso de utilizar adiciones, se debe cuidar su correcta dosificación, la distribución homogénea, así como que no pierda sus características iniciales durante todo el proceso de fabricación.

5.12.5.5 TRANSPORTE DE LA MEZCLA

La mezcla asfáltica en caliente se debe transportar de la planta de fabricación a la extendedora, en camiones. Para evitar su enfriamiento superficial, se debe proteger, durante el transporte, mediante lonas u otros cobertores adecuados. En el momento de descargarla en la extendedora, su temperatura no sea inferior a la especificada en la fórmula de trabajo.

5.12.5.6 EXTENSIÓN DE LA MEZCLA

Es recomendable que la extensión comience por el borde inferior, y se haga por franjas longitudinales.

La anchura de estas franjas se fije de manera que se realice el menor número de juntas posible y se consiga la mayor continuidad de la extensión, teniendo en cuenta la anchura de la sección, el eventual mantenimiento de la circulación, las características de la extendedora y la producción de la planta.

En obras sin circulación, para las vías clasificadas como, expresas y troncales o con superficies a extender en calzada superiores a setenta mil metros cuadrados (70.000 m^2), se sugiere hacer la extensión de cualquier capa asfáltica a ancho completo, trabajando si fuera necesario con dos (2) o más extendedoras ligeramente desfasadas, evitando juntas longitudinales. En los demás casos, después de haber extendido y compactado una franja, se puede extender la siguiente, mientras el borde de la primera, se encuentre aún caliente y en condiciones de ser compactado. En caso contrario, se puede ejecutar una junta longitudinal.

La extendedora se puede regular de forma que la superficie de la capa extendida resulte lisa y uniforme, sin segregaciones ni arrastres y con un espesor tal, que una vez compactada, se ajuste a la rasante y sección transversal indicadas en los planos.

La extensión se recomienda hacerla con la mayor continuidad posible, ajustando la velocidad de la extendedora a la producción de la planta de fabricación de modo que aquella no se detenga. En caso de detención, se debe comprobar que la temperatura de la mezcla que quede sin extender, en la tolva de la extendedora y debajo de ésta, no baje de la prescrita en la fórmula de trabajo para el inicio de la compactación, de lo contrario, se puede ejecutar una junta transversal.

Donde resulte imposible el empleo de máquinas extendedoras, la mezcla asfáltica en caliente se puede poner en obra por otros procedimientos adecuados. Para ello, se descarga fuera de la zona en que se vaya a extender y se distribuye en una capa uniforme de un espesor tal que, una vez compactada, se pueda ajustar a la rasante y sección transversal indicadas en los planos.

5.12.5.7 COMPACTACIÓN DE LA MEZCLA

La compactación se debe hacer a la mayor temperatura posible, sin rebasar la máxima prescrita en la fórmula de trabajo y sin que se produzca desplazamiento de la mezcla extendida; y se continúe mientras la temperatura de la mezcla no baje de la mínima prescrita en la fórmula de trabajo y la mezcla se encuentre en condiciones de ser compactada, hasta que se alcance la densidad especificada en el apartado 5.12.6.1.

La compactación se debe hacer longitudinalmente, de manera continua y sistemática. Si la extensión de la mezcla asfáltica se realiza por franjas, al compactar una de ellas se debe ampliar la zona de compactación para que incluya al menos, quince centímetros (15 cm) de la anterior.

Los rodillos pueden llevar su rueda motriz del lado más cercano a la extendedora; los cambios de dirección se pueden hacer sobre la mezcla ya compactada, y los cambios de sentido se hacen con suavidad.

Se deben tener los elementos de compactación limpios y si fuera preciso, húmedos.

5.12.5.8 JUNTAS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES

Es recomendable que siempre que sean inevitables, se procure que las juntas de capas superpuestas guarden una separación mínima de cinco metros (5 m) las transversales y quince centímetros (15 cm) las longitudinales.

Al extender franjas longitudinales contiguas, si la temperatura de la extendida en primer lugar no es superior al mínimo fijado en la fórmula de trabajo para terminar la compactación, se sugiere cortar el borde de esta franja de forma rugosa y verticalmente, dejando al descubierto una superficie áspera y vertical en todo su espesor. Se aconseja aplicar una capa uniforme y ligera de riego de adherencia, según el Art. 5.5 de este código, dejando romper la emulsión suficientemente. A continuación, se recomienda calentar la junta y extender la siguiente franja contra ella. Las juntas transversales en capas de rodadura se pueden compactar transversalmente, disponiendo los apoyos precisos para los elementos de compactación.

5.12.6 ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD TERMINADA

5.12.6.1 DENSIDAD

Sobre los testigos de cada tramo homogéneo se debe determinar la densidad real.

En mezclas asfálticas densas, semidensas y gruesas, la densidad real debe ser tal que se cumpla que la densidad de compactación de la muestra individual, de superficie y capa intermedia, sea mayor o igual a 97% de la densidad Marshall.

5.12.6.2 CANTIDAD DE ASFALTO

Se acepta la muestra individual si su porcentaje de asfalto (Pt) es mayor o igual a Pb -0.3% para la capa superficial y Pb –0.5% para capa intermedia, e inferior o igual a Pb +0.3% para la capa superficial y Pb +0.5% para la intermedia, siendo Pb el porcentaje de asfalto de la dosificación Marshall.

Asimismo, ningún valor debe ser inferior a Pb -0.5% para la capa superficial y Pb-0.7% para la capa intermedia, ni superior a Pb +0.5% para la capa superficial y Pb +0.7% para la capa intermedia.

5.12.6.3 RASANTE, ESPESOR Y ANCHO

Tanto la rasante, como el espesor y ancho se deben controlar según planos. Se debe verificar que la superficie acabada a nivel de rasante no difiera de la teórica en más de cinco milímetros (5 mm) en capas de rodadura, ni de diez milímetros (10 mm) en las demás capas.

El espesor de una capa no sea inferior al previsto para ella en la sección-tipo de los planos. En todos los perfiles se debe comprobar que la anchura extendida, en ningún caso sea inferior a la teórica deducida de la sección-tipo de los planos del proyecto.

5.12.6.4 COLOR

En las zonas donde el proyecto de pavimentación contemple ejecutar carpetas asfálticas con coloración, el pigmento a emplear deberá incorporarse en toda la mezcla de la capa de rodado. La coloración se obtendrá incorporando a la mezcla asfáltica, el pigmento del color especificado por proyecto en una proporción adecuada para lograr el color específico. El color especificado por proyecto debe ser claramente identificable en algún sistema de clasificación cromática, recomendando para esto, la utilización de un rango de números de pantone definido previamente.

La incorporación del pigmento se deberá realizar en la planta fabricadora de la mezcla asfáltica. Bajo ninguna circunstancia se podrá utilizar pigmentos orgánicos ni minerales de un nivel de pureza inferior al 95%, lo cual será evaluado cada 1000 m^3 o fracción inferior de mezcla asfáltica, adoptando para ello, el ensayo ASTM D 126 – 87 Standard Test Methods for Análisis of Yellow, Orange, and Green Pigments Containing Lead Chromate and Chromium Oxide Green.

Antes de la colocación masiva de la mezcla asfáltica, el contratista deberá declarar a la fiscalización técnica de la obra, la dosificación y el tipo de pigmento a utilizar, extrayendo tres probetas cilíndricas, de 15 cm de diámetro y 5 cm de espesor, desde un tramo de prueba. Estas probetas se someterán al ensayo de medición del tipo de pigmento, dosis y coloración.

El color de las probetas se comparará con el rango de números del pantone especificado por proyecto, dando por aprobada la dosificación propuesta, si el color satisface el requisito.

Una vez aceptada la dosificación propuesta, el contratista deberá tomar al pie de obra, al menos una muestra diaria mientras duren las faenas de colocación de mezcla, generando los correspondientes registros y comparando esta con la muestra patrón en caso de dudas.

5.12.6.5 REGULARIDAD SUPERFICIAL PARA VÍAS EXPRESAS, TRONCALES Y COLECTORAS. LONGITUD MAYOR A 1 KM Y CUYO PERFIL LONGITUDINAL SEA DISEÑADO DE MANERA CONTINUA Y SIN QUIEBRES

El procedimiento descrito a continuación solo será aplicable a capas asfálticas de rodadura y no se aplicará a recapados.

El control de regularidad superficial, IRI, se efectuará con equipos de alto rendimiento, por una empresa con experiencia en la materia, mediante un equipo perfilómetro de clase 1, según especificación del Banco Mundial y acorde ASTM E 950. El control se hará por sectores homogéneos, entendiéndose por ello, que corresponden a una misma estructuración. No se consideran puentes, badenes u otras singularidades similares que afecten la medición. El IRI se medirá, en forma continua, por pista, en tramos de 200 m, informando en m/km con un decimal.

Se entiende que la superficie del pavimento tiene regularidad aceptable, si la media móvil de cinco valores consecutivos es igual o inferior a 2,0 m/km y ninguno de los valores individuales es superior a 2,8 m/km.

Las especificaciones del proyecto definirán el criterio de aceptación y rechazo.

5.12.6.6 LISURA HIGH LOW PARA PASAJES, VÍAS LOCALES Y DE SERVICIOS DE LONGITUD MENOR A 1 KM

El procedimiento descrito a continuación solo será aplicable a capas asfálticas de rodadura y no se aplicará a recapados, salvo que así lo indique el proyecto.

La lisura del pavimento se verificará tan pronto sea posible tras su construcción. Solo cuando el fiscalizador lo autorice, se pueden hacer correcciones posteriores. De ser autorizadas, las correcciones podrán incluir rebajes de puntos altos, de hasta 5 mm cuando ello no resulte en un espesor inferior al proyectado. El High Low deberá ser calibrado en terreno antes de efectuar la medición.

Las especificaciones del proyecto definirán el criterio de aceptación y rechazo.

5.12.6.7 COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (CRD)

La superficie de la capa debe presentar una textura uniforme y exenta de segregaciones.

Para vías expresas, troncales y colectoras, el coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD) medido con el péndulo británico según NLT-175, o equipo Griptester según MC 8.502.18, se recomienda sea superior a 0,6.

Se medirá por pista y en caso de emplear péndulo, se determinará a distancias máximas de 50 m y se contará al menos con 2 mediciones por pista.

Las Especificaciones del Proyecto definirán el criterio de aceptación y rechazo.

En caso de incumplimiento se podrá optar por mejorar el coeficiente CRD mediante cepillado que cubra el 100% de la superficie del pavimento, cuando esta tiene menos de una cuadra y de al menos una cuadra para proyectos de mayor longitud.

5.12.8 LIMITACIONES DE LA EJECUCIÓN

No se debe permitir la puesta en obra de mezclas asfálticas en caliente:

- Cuando la temperatura ambiente a la sombra sea inferior a cinco grados Celsius (5°C), salvo si el espesor de la capa a extender fuera de cuatro centímetros (4 cm), en cuyo caso el límite es de diez grados Celsius (10°C).
- Con viento intenso o inmediatamente después de heladas.
- Cuando se produzcan precipitaciones atmosféricas o exista hielo en la superficie.
- Terminada su compactación, se puede abrir a la circulación la capa ejecutada, tan pronto como alcance la temperatura ambiente en todo su espesor.

Las Especificaciones del Proyecto definirán el criterio de aceptación y rechazo.

ART. 5.13 MICROAGLOMERADOS DISCONTINUOS EN CALIENTE

5.13.1 DEFINICIÓN Y ALCANCE

Se definen como mezclas asfálticas de microaglomerados discontinuos en caliente, aquellas mezclas confeccionadas con árido de tamaño máximo absoluto de 12,5 mm, que se colocan en una capa de espesor promedio menor o igual 2.5 veces el tamaño máximo señalado. Se emplean como carpeta de rodadura para proporcionar características superficiales especiales, tales como: alta resistencia al deslizamiento, baja sonoridad y seguridad.

Se especifican en esta Sección dos tipos de mezclas discontinuas, las mezclas tipo F (capas finas), con espesores compactados entre los 2,0 y 3,5 cm; y tipo M (monogranulares), más finas y extendidas en capas entre 2,0 y 3,0 cm de espesor. Están compuestas por áridos de granulometría discontinua y cemento asfáltico modificado. Estas mezclas se diseñan por el método Marshall o Cantabro según sea el tipo.

Cabe señalar que a la fecha de emisión de este Código en Chile no se encuentra plenamente disponible esta técnica, por lo cual para su aplicación deberá verificarse que exista en la Región, la infraestructura de fabricación y control necesaria para su correcta ejecución.

5.13.2 MATERIALES

5.13.2.1 ÁRIDOS

Los áridos deberán clasificarse y acopiarse separadamente en al menos tres fracciones: gruesa, fina y relleno mineral (filler). Los materiales deberán acopiarse en canchas habilitadas especialmente para este efecto de manera que no se produzca contaminación ni segregación de los materiales.

5.13.2.1.1 FRACCIÓN GRUESA

Corresponde a la fracción retenida en tamiz 2,5 mm (ASTM Nº8) y deberá estar constituida por partículas chancadas, limpias y tenaces que se ajusten a los requisitos que se indican en la Tabla siguiente:

TABLA 5.32
REQUISITOS PARA LA FRACCIÓN GRUESA

ENSAYO	EXIGENCIAS	MÉTODO
Equivalente de arena	Mínimo 50%	NCh 1325
Azul de metileno	Máximo 1	NLT-171/90
Partículas Chancadas **(1)**		
Vías Expresas, Troncales y Colectoras	100%	MC 8.202.6
Vías de Servicio , Locales y Pasajes	Mínimo 75%	MC 8.202.6
Contenido de impurezas	< 0,5%	NLT-172/86
Indice de Lajas		
Vías Expresas, Troncales y Colectoras	Máximo 25% (Mezclas Tipo F)	MC 8.202.7
	Máximo 20% (Mezclas Tipo M)	
Vías de Servicio , Locales y Pasajes	-Máximo 25% (Mezclas Tipo M y F)	MC 8.202.7
Resistencia al Desgaste		
Vías Expresas, Troncales y Colectoras	Máximo 20% (Mezcla Tipo F)	NCh 1369
	Máximo 15% (Mezcla Tipo M)	
Vías de Servicio , Locales y Pasajes	Máximo 25% (Mezclas Tipo M y F)	NCh 1369
Pulimento Acelerado		
Vías Expresas, Troncales y Colectoras	Mínimo 0,50	NLT-174/93
Vías de Servicio , Locales y Pasajes	Mínimo 0,45	NLT-174/93
Adhesividad ligante-árido en agua	> 95%	MC 8.302.29

(1) Con tres o más caras fracturadas

5.13.2.1.2 FRACCIÓN FINA

Corresponde a la fracción que pasa por tamiz 2,5 mm (ASTM Nº8) y queda retenida en el tamiz 0,08 mm (ASTM Nº200), la cual deberá estar constituida por agregados provenientes de la trituración de rocas o gravas, las que deberán cumplir la Resistencia al Desgaste indicada para rodaduras de mezclas asfálticas en caliente. Sus partículas deberán ser duras, tenaces y libres de arcilla o sustancias perjudiciales. Estos áridos deberán cumplir con los requisitos de la Tabla siguiente.

Los áridos finos corresponderán como máximo a un 10% de la mezcla.

TABLA 5.33
REQUISITOS PARA LA FRACCIÓN FINA

ENSAYO	EXIGENCIA	MÉTODO
Equivalente de arena	Mínimo 50%	NCh 1325
Azul metileno	Máximo 1	NLT-171/90
Adhesividad ligante- árido	> 4%	MC 8.302.30

5.14.2.1.3 RELLENO MINERAL (FILLER)

Estará constituido por polvo mineral fino tal como cemento hidráulico, cal u otro material inerte de origen calizo, libre de materia orgánica o partículas de arcilla.

TABLA 5.34
PROPORCIONES MÍNIMAS DE FILLER DE APORTACIÓN

TIPO DE VÍA	VALORES MÍNIMOS (% PESO)
Expresas, Troncales y Colectora	80
Servicio , Locales y Pasajes	50

5.13.2.4 GRANULOMETRÍAS

Existen dos bandas granulométricas para cada tipo de mezcla, ya sea M (monogranulares) o F (capas finas), en las que se basa el diseño de los microaglomerados discontinuos en caliente.

TABLA 5.35
BANDAS GRANULOMÉTRICAS

DENOMINACIÓN		BANDAS				TOLERANCIA (%)
TAMICES		M 8	M 10	F 8	F 10	
mm	ASTM	% que pasa en peso				
12,5	1/2"		100		100	4 44
10,0	3/8"	100	75 – 97	100	75 – 97	43
8,0	5/16"	75 – 97	----	75 - 97	----	3
5,0	Nº 4	15 – 28	15 – 28	25 – 40	25 - 40	1
2,5	Nº 8	12 – 25	12 – 25	20 – 35	20 - 35	
0,63	Nº 30	9 – 18	9 – 18	12 – 25	12 - 25	
0,08	Nº 200	5 – 8	5 – 8	7 – 10	7 – 10	

Última columna indica tolerancias para confeccionar la banda de trabajo.

La fracción de árido que pasa por tamiz Nº4 y es retenida en tamiz Nº8 deberá ser inferior a 8%.

5.13.2.2 ASFALTO

Se utilizarán cementos asfálticos modificados con polímeros, AMP, acorde a lo indicado en Tabla 5.3 de la presente Sección.

5.13.2.3 PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

El contratista deberá presentar la dosificación de las mezclas asfálticas, antes de comenzar la pavimentación y siempre que tenga producidos como mínimo el 20% de los agregados pétreos a utilizar en la temporada.

Para diseñar la mezcla se deberá cumplir con los requisitos que indican en la Tabla siguiente:

TABLA 5.36
REQUISITOS PARA EL DISEÑO DE LA MEZCLA

ENSAYO	EXIGENCIA	MÉTODO
Dotación media		
Tipo M8, kg/m²	25 – 40	----
Tipo M10, kg/m²	35 – 50	----
Tipo F8, kg/m²	40 – 75	----
Tipo F10, kg/m²	50 – 100	----
Asfalto		
Tipo M8 y M10, %	5	----
Tipo F8 y F10, %	5,5	----
Relación Filler/ligante		
Tipo M8 y M10	1,2 – 1,4	----
Tipo F8 y F10	1,4 –1,8	----
Dosificación para mezclas Tipo F		
Procedimiento Marshall (50 golpes)		MC 8.302.40
Huecos en mezcla, %	6 – 9	MC 8.302.40
Estabilidad, KN	Mínimo 7,5	MC 8.302.40
Velocidad de deformación en el intervalo de 105-120 min, µm/min	Máx. 12 **(1)**	NLT – 173/84
	Máx. 15 **(2)**	
Pérdida de resistencia, % (Ensayo de inmersión-compresión)	Máx. 25	NLT - 161/84
		NLT - 162/84
Dosificación para mezclas Tipo M		
Procedimiento Cántabro		MC 8.302.54
Tipo de probeta	Marshall	
Nº de golpes por cara	50	
Pérdida por abrasión en seco (25°C), %	Máx. 15	
Huecos en mezcla, %	10-15	

(1) La exigencia será Máx. 12 µm/min para zonas cálidas.
(2) La exigencia será Máx. 15 µm/min para zonas templadas a frías.

La dotación media corresponde al rango sobre el cual se deberá ajustar la dosis de mezcla colocada en terreno, la cual deberá distribuirse uniformemente por toda la superficie a tratar.

5.13.3 PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO

5.13.3.1 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

Antes de iniciar las faenas de colocación de las mezclas asfálticas, se deberá verificar que la superficie satisfaga los requerimientos establecidos en Artículo 5.4., Imprimación, si corresponde a una base granular o en Artículo 5.5., Riego de Liga, si es un pavimento.

5.13.3.2 PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS

Deberá regirse por lo estipulado en Sección 5.12 Mezclas Asfálticas en Caliente.

5.13.3.3 TRANSPORTE Y COLOCACIÓN

Requisitos Generales

Se regirá por lo establecido la Sección 5.12 Mezclas Asfálticas en Caliente, en lo que no se contraponga con lo indicado en este punto.

El tiempo de transporte de la mezcla debe ser menor a 2 horas. En el evento en que, por alguna razón, el tiempo sea mayor, el contratista deberá tomar las precauciones que aseguren la compactibilidad de la mezcla una vez colocada, esto implica camiones cubiertos con lonas o algún material que asegure un buen aislamiento térmico de la mezcla con el medioambiente.

Compactación

La compactación se regirá por lo establecido en la Sección 5.12 Mezclas Asfálticas en Caliente, en lo que no se contraponga con lo indicado en este punto.

La compactación deberá realizarse con dos rodillos lisos de peso comprendido entre 8 y 12 toneladas, sin vibración, para evitar variaciones en la granulometría de los áridos. Los rodillos seguirán de cerca a la extendedora. Para estas mezclas el número de pasadas de rodillo sin vibración será superior a 6 y se deberá hacer a la mayor temperatura posible, sin sobrepasar la temperatura máxima indicada en la dosificación. No se deberá producir desplazamiento de la mezcla extendida y se continuará mientras la temperatura de la mezcla no sea inferior a la indicada en la dosificación.

Los tiempos disponibles para la compactación de esta mezcla son menores que en una tradicional. La temperatura mínima de compactación dependerá del ligante empleado. La puesta en obra en tiempo frío, especialmente con viento fuerte, no es aconsejable por la rapidez con que se enfrían estas mezclas con polímeros.

No se deberán emplear compactadores de neumáticos porque se adhieren con facilidad a la mezcla y provocan desprendimiento de gravilla. La temperatura de la mezcla baja rápidamente una vez colocada, por lo tanto, se deberá evitar retoques y reparaciones localizadas.

ART. 5.14 MEZCLAS STONE MASTIC ASPHALT (SMA)

5.14.1 DESCRIPCIÓN Y ALCANCES

Consiste en una mezcla constituida por un fuerte esqueleto mineral compuesto por un alto contenido de gravilla triturada, bajo contenido de arena y elevada dosis de ligante asfáltico que junto al Filler y fibras de celulosa conforman un mastic que cohesiona la estructura mineral y da lugar a una mezcla asfáltica de gran resistencia al desgaste superficial e impacto.

Cabe señalar que a la fecha de emisión de este código en Chile no se encuentra plenamente disponible esta técnica, por lo cual para su aplicación deberá verificarse que exista en la región, la infraestructura de fabricación y control necesaria para su correcta ejecución.

5.14.2 MATERIALES

5.14.2.1 ÁRIDOS

Los áridos deberán clasificarse y acopiarse separadamente en canchas habilitadas especialmente para este efecto de manera que no produzca contaminación ni segregación de los materiales, en al menos tres fracciones: grava, fino y relleno mineral (filler).

5.14.2.1.1 REQUISITOS PARA LOS AGREGADOS PÉTREOS

Los agregados pétreos deberán cumplir con los requisitos de la Tabla siguiente.

TABLA 5.37
REQUISITOS PARA AGREGADOS PÉTREOS

ENSAYO	EXIGENCIA	MÉTODO
Partículas Chancadas	100% al menos una cara fracturada y mínimo 90% dos caras fracturadas	MC 8.202.6
Índice de Lajas	Menor del 25%	MC 8.202.7
Resistencia al Desgaste (Desgaste de Los Ángeles)	Menor del 25%	NCh1369
Coeficiente de Pulimiento Acelerado	Mayor de 0,50	NLT 174/93
Equivalente de arena	Mayor del 50%	NCh 1325
Desintegración por Sulfato de Sodio	Menor del 15%	NCh 1328
Adherencia Método Estático	Mayor del 95%	MC 8.302.29
Absorción de agua en agregado grueso y fino	Menor del 2%	MC 8.202.20 MC 8.202.21

5.14.2.1.2 GRANULOMETRÍA

Las distintas fracciones de áridos, incluyendo el relleno mineral (filler), deberán combinarse en proporciones tales que la mezcla resultante cumpla con alguna de las bandas granulométricas especificadas en las Tablas.

TABLA 5.38
GRANULOMETRÍAS PARA MEZCLAS SMA

DENOMINACIÓN		TAMAÑO MÁX. 20 MM	TAMAÑO MÁX.12,5 MM	TAMAÑO MÁX.10 MM	TAMAÑO MÁX. 5 MM
(mm)	ASTM	PORCENTAJE QUE PASA EN PESO			
25	1"	100			
20	3/4"	90 - 100	100		
12,5	1/2"	45 - 60	90 - 100	100	
10	3/8"	30 - 45	Máximo 60	90 - 100	
6,3	1/4"	----	----	----	100
5	Nº 4	20 - 25	30 - 40	26 - 60	90 - 100
2,5	Nº 8	16 - 23	20 -27	20 - 28	30 - 40
0,08	Nº 200	9 - 13	9 - 13	9 - 13	9 - 13

5.14.2.2 FIBRAS CELULÓSICAS EN PELLETS

Es uno de los componentes que forman parte del mastic, junto con el ligante asfáltico y el filler. Las fibras celulósicas deberán estar en forma de pellets envueltas en ligante asfáltico tradicional o con polímeros.

Los pellets estarán formados por al menos un 50% de fibras más ligante. Se deberá presentar un certificado de calidad del producto antes de su uso y durante la obra.

5.14.2.3 FILLER

En el caso de usar filler, se deben realizar ensayos de densidad aparente en tolueno y en tricloroetileno (ASTM D 546 y ASTM D 854).

5.14.2.4 CEMENTO ASFÁLTICO

Como ligante se usará cemento asfáltico convencional que cumpla lo indicado en Tablas 5.1, 5.2 o bien cemento asfáltico modificado con polímero AMP acorde a lo indicado en tabla 5.3.

5.14.2.5 RIEGO DE LIGA

Se aplicará como riego de liga una emulsión asfáltica modificada con polímero, del tipo ECR-1m que cumpla con la Tabla 5.8. En caso contrario se podrá emplear en su reemplazo una emulsión asfáltica catiónica de quiebre rápido CRS-1, indicada en Tabla 5.6, sin embargo, se recomienda utilizar la modificada, indicada anteriormente, debido a su mayor poder adherente.

5.14.2.6 DISEÑO DE LA MEZCLA SMA

El contratista deberá presentar al Inspector, la dosificación de las mezclas asfálticas antes de comenzar la pavimentación y siempre que tenga producidos como mínimo el 20% de los agregados pétreos a utilizar en la temporada.

La confección de las probetas se regirá por lo indicado en el método Marshall MC 8.302.40

La mezcla deberá cumplir con las exigencias que se indican en la tabla siguiente:

TABLA 5.39
REQUISITOS PARA EL DISEÑO DE LA MEZCLA TIPO SMA

ENSAYO	EXIGENCIA	MÉTODO
Compactación Marshall	50 golpes por cara	MC 8.302.40
Vacío de aire totales, %	2 (para climas fríos) 4 (para climas templados y cálidos)	MC 8.202.40
Vacíos en el agregado mineral (VAM)	No inferior al 17%	MC 8.202.40
Contenido de ligante en peso total de la mezcla, %	Mínimo 6,5	---
Contenido de fibras celulósicas en peso del total de la mezcla, %	Mínimo 0,3	---
Escurrimiento de ligante a la temperatura de Mezclado, %	Máximo 0,3	AASHTO T-305

5.14.2.7 PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

5.14.2.7.1 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

Antes de iniciar las faenas de colocación de la mezcla SMA, se deberá realizar un riego de liga con emulsión asfáltica modificada de quiebre rápido con una dosis entre 0,2 y 0,4 kg/m^2.

5.14.2.7.2 PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS

Se regirá por lo establecido en 5.12 Mezcla Asfáltica en Caliente.

5.14.2.7.3 TRANSPORTE Y COLOCACIÓN

El transporte y colocación de la mezcla se realizará de acuerdo a lo especificado en 5.12 para mezclas asfálticas en caliente, en lo que no se contraponga con lo indicado en este punto.

Será obligatorio efectuar un tramo de prueba de dimensiones mínimas de 100 m de largo por 3,5 m de ancho para definir el número de pasadas de rodillo, esponjamiento, temperatura mínima de compactación.

La compactación se hará con rodillos lisos de un peso comprendido entre 10 y 15 toneladas, los que irán inmediatamente detrás de la terminadora. Se deberán pasar a la mayor temperatura posible, sin sobrepasar la temperatura indicada en la dosificación y en número superior a 6 pasadas. No se debe producir desplazamiento de la mezcla extendida y se continuará mientras la temperatura de la mezcla no sea inferior a la indicada en la dosificación. No se utilizarán rodillos neumáticos. Se recomienda el uso de a lo menos 3 rodillos.

5.14.2.7.4 MACROTEXTURA SUPERFICIAL Y COEFICIENTE DE FRICCIÓN

La superficie de la capa deberá presentar una textura homogénea, uniforme y exenta de segregaciones de modo de entregar una adherencia adecuada. Únicamente a efectos de recepción de la capa de rodadura, la macrotextura superficial y la resistencia al deslizamiento, no deberán ser inferiores a los valores indicados en 5.12 para mezclas en caliente.

Espesores

En proyectos que contemplen la colocación de esta capa como parte de una nueva estructura que incluya otras capas asfálticas, los espesores se evaluarán según lo indicado en la Sección 5.12 para Mezclas Asfálticas en Caliente.

Contenido de Asfalto

El contenido de asfalto se evaluará según lo señalado en 5.12. En caso de deficiencias aplicará lo considerado para mezcla de rodadura con mezclas asfálticas en caliente.

Control de Regularidad Superficial (IRI)

Este control se regirá por lo establecido en 5.12 para mezclas asfálticas en caliente, excepto que, para fines correctivos, estas mezclas no se deben cepillar.

ART. 5.15 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE LIGANTES ASFÁLTICOS BASADOS EN SU DESEMPEÑO (SUPERPAVE)

El sistema Superpave de clasificación de ligantes asfálticos, fue uno de los resultados obtenidos en los años 90 por el Strategic Highway Research Program (SHRP) [1]. El sistema tiene como objetivo lograr una mejor predicción del desempeño de ligantes asfálticos basados en sus propiedades fundamentales. Asímismo, busca determinar y acotar las contribuciones de los ligantes asfálticos a los principales deterioros detectados en pavimentos asfálticos: ahuellamiento, fallas por fatiga y fallas por fisuras térmicas. Además, las condiciones locales de los proyectos son considerados para la selección de los ligantes asfálticos como: clima, temperaturas de construcción y servicio, y efectos de envejecimiento de corto y largo plazo de los ligantes asfálticos.

El sistema de clasificación PG está basado en aspectos climáticos. La designación del perfomance grade (PG) o grado PG de los ligantes, está basado en las temperaturas representativas extremas esperadas de las carpetas asfálticas de los pavimentos en un proyecto en particular. Por ejemplo, el grado PG 64-22 indica que un ligante asfáltico cumplirá los requerimientos de desempeño para una zona donde la temperatura máxima promedio en los pavimentos asfálticos es 64°C (promedio de los 7 días más calurosos) y ese mismo ligante cumplirá los requerimientos de desempeño con una temperatura mínima de los pavimentos de -22°C.

Los grados PG están escalados en incrementos de 6°C y dado que son asociados a datos estadísticos de temperaturas de pavimentos, se recomienda utilizar los principios de confiabilidad (50%, 98%) para garantizar que las temperaturas escogidas no sean excedidas en el período de diseño del pavimento, es decir, un asfalto PG 64-22 puede satisfacer las propiedades de desempeño para una zona donde las temperaturas extremas promedio (o 50% de confiabilidad) son 64°C y -22°C, o podrá cumplir las propiedades de desempeño en un sitio donde las temperaturas extremas sean menores con un mayor grado de confiabilidad. (Ej.: 58°C o -16°C dada la dispersión de datos, o desviación estándar)

Adicionalmente, en proyectos con velocidades de diseño comprendidas entre 20 y 70 km/hora, se debe incrementar la temperatura máxima del rango PG en un grado para el tipo de asfalto escogido. En áreas de velocidades menores que 20 km/hora (estacionamientos, paradas de buses, etc.) se debe incrementar en dos grados. Las temperaturas mínimas no se ven afectadas con la indicación anterior.

Los posibles grados PG que un ligante puede presentar, se ilustran en la Tabla 5.40 (AASHTO M320 [2]).

Los ensayos de laboratorio que contempla este sistema de clasificación están indicados en Tabla 5.39 y esquemáticamente se indican en Figura 5.1. Durante el proceso de análisis, los ligantes asfálticos son analizados en tres condiciones: original, envejecidos a corto plazo (se realiza utilizando el horno de película delgada rotatoria, RTFO) y envejecidos a largo plazo (mediante cámara a presión, PAV). Las temperaturas de ensayo varían desde temperaturas bajo cero (a las cuales se producen fisuras térmicas) hasta temperaturas de bombeo o trabajabilidad.

Los ligantes apropiados para Chile son un PG 64-22 (zona central), PG 58-28 (zona precordillerana y sur) y PG 52-34 (cordillera y Patagonia).

TABLA 5.40
EQUIPOS Y MEDICIONES EN SISTEMA PG

EQUIPO / MEDICIÓN O ACONDICIONAMIENTO	ESPECIFICACIÓN O NORMA DE REFERENCIA	
	AASHTO	Manual de Carreteras [5]
1. Copa Cleveland Seguridad	T48 [6]	8.302.9
2. Viscosímetro Rotacional (RV) Trabajabilidad de ligantes y bombeo	T316 [7]	8.302.24
3. Reómetro de Corte Dinámico (DSR) Susceptibilidad ahuellamiento (ligante original y residuo después de RTFOT) Susceptibilidad fisuras por fatiga (residuo después de PAV)	T315 [8]	8.302.22
4. Horno de Película Delgada Rotatoria (RTFOT) Envejecimiento a corto plazo	T240 [9]	8.302.33
5. Horno de Envejecimiento Acelerado (PAV) Envejecimiento a largo plazo	R28 [10]	8.302.23
6. Reómetro de Viga de Flexión (BBR) Susceptibilidad fisuras térmicas (residuo después de PAV)	T313 [11]	8.302.25

Si bien existe especificación de ensayos PG en Manual de Carreteras, se recomienda basar los ensayos en publicaciones AASHTO (o ASTM), dado que estas constantemente se están actualizando.

FIGURA 5.1
ANÁLISIS DE LIGANTES ASFÁLTICOS EN SISTEMA PG

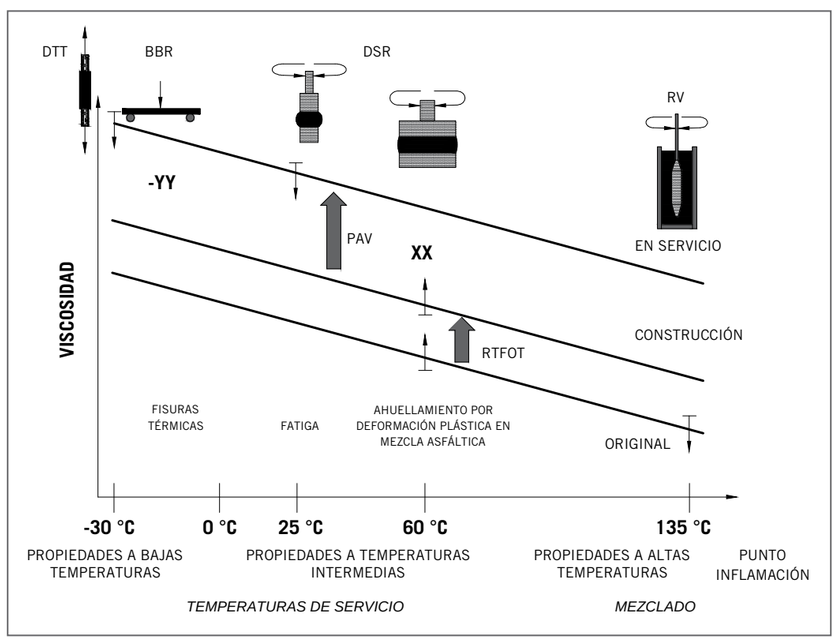


TABLA 5.41
REQUISITOS DE AFALTOS DE SUPERPAVE

GRADO DE DESEMPEÑO	PG 46			PG52						PG58						PG64					
	34	40	46	10	16	22	28	34	40	16	22	28	34	40		10	16	22	28	34	40
Temperatura máxima de diseño media móvil (7días) de temp. Máx. de pavimento, °C (a)	< 46			<52						<58						<64					
Temperatura mínima del pavimento de diseño, °C	> -34	> -40	> -46	> -10	> -16	> -22	> -28	> -34	> -40	> -16	> -22	> -28	> -34	> -40		> -10	> -16	> -22	> -28	> -34	> -40
LIGANTE ASFÁLTICO ORIGINAL																					
Punto de inflamación, 8.302.9, temperatura mínima, °C										230											
Viscosidad, 8.302.24, máx.3 Pas, temperatura ensaye, °C (b)										135											
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/senδ (f) min. 1,00 kPa, temp. ensaye, °C (c)	46			52						58						64					
HORNO ROTATORIO DE PELÍCULA DELGADA RTFOT (8302.33)																					
Pérdida de masa, porcentaje máx.										1											
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/senδ (f) min., 2,2 kPa, temp. ensaye, °C	46			52						58						64					
CÁMARA DE ENVEJECIMIENTO A PRESIÓN PAV (8.302.23)																					
Temp. de envejecimiento, °C (d)	90			90						100						100					
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/senδ (f) máx. 5000 kPa, temp. ensaye, °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	19	16
Rigidez en creep, 8.302.25, a 60s: S máx. 300 Mpa, valor-m min. 0,300 temp. ensaye, °C (e)	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30
Tracción directa, 8.302.26, 1 mm/min: deformación de rotura, mín 1,0% temperatura ensaye, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30

TABLA 5.41 (continuación)
REQUISITOS DE AFALTOS DE SUPERPAVE

GRADO DE DESEMPEÑO	PG70						PG76						PG82					
	10	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40
Temperatura máxima de diseño media móvil de temp. Máx. de pavimento, °C (a)	< 70						< 76						< 82					
Temperatura mínima del pavimento de diseño, °C	> -10	> -16	> -22	> -28	> -34	> -40	> -10	> -16	> -22	> -28	> -34	> -40	> -10	> -16	> -22	> -28	> -34	
LIGANTE ASFÁLTICO ORIGINAL																		
Punto de inflamación, 8.302.9, temperatura mínima, °C	230																	
Viscosidad, 8.302.24; máx.3 Pas, temperatura ensaye, °C (b)	135																	
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s; G*/senδ (f) min. 1,00 kPa, temp. ensaye, °C (c)	70						76						82					
HORNO ROTATORIO DE PELÍCULA DELGADA RTFOT (8302.33)																		
Pérdida de masa, porcentaje máx.	1																	
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/senδ (f) min. 2,2 kPa, temp. ensaye, °C	70						76						82					
CÁMARA DE ENVEJECIMIENTO A PRESIÓN PAV (8.302.23)																		
Temp. de envejecimiento, °C (d)	100 (110)						100 (110)						100 (110)					
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/senδ (f) máx. 5000 kPa, temp. ensaye, °C	34	31	28	25	22	19	37	34	31	28	25	40	37	34	31	28		
Rigidez en creep, 8.302.25, a 60s: S máx, 300 Mpa, valor-m mín. 0,300 temp. ensaye, °C (e)	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24		
Tracción directa, 8.302.26, 1 mm/mi n; deformación de rotura, mín 1,0% temperatura ensaye, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24		

(a) Las temperaturas del pavimento son estimadas a partir de las temperaturas del aire usando un algoritmo incluído en SUPERPAVE, o serán provista por la agencia específica.

(b) EL método referido será el 8.302.24 (usando un vástago nº 21 a 20 rpm), sin embargo se pueden usar métodos alternativos para ensayes de rutina y control de calidad. Este requerimiento puede ser omitido si así lo dispone la inspección Fiscal, siempre y cuando se garantice que el ligante asfáltico puede ser adecuadamente bombeado y mezclado a temperaturas que satisfagan todos los estándares de seguridad y calidad aplicables.

(c) Para control de calidad de producción de cemento asfáltico no modificado la medida de la viscosidad puede realizarse por medio de G*/senδ en el reómetro de corte dinámico, a temperaturas de ensaye donde el asfalto se comporta como fluido Newtoniano. CUalquier estándar adecuado de medida de viscosidad puede ser usado, incluyendo ensayes por viscosidad capilar o viscosímetros rotacionales.

(d) La temperatura a usar en la cámara PAV está basada en la simulación de las condiciones climáticas y puede ser 90, 100 o 110 °C. La temperatura es de 100 °C para PG 64 y grados superiores, excepto en climas desérticos, donde es 110°C.

(e) Si la rigidez en creep (S) es menor a 300 Mpa, el ensaye de tracción directa no se requiere. Si está entre 300 y 600 Mpa, se pueden usar los requerimientos de deformación de rotura en el ensaye de tracción directa en vez de los requerimientos de rigidez en creep. El valor-m, en ambos casos, debe ser mayor que 0,300.

(f) G*/senδ = rigidez a altas temperaturas, G*/senδ = rigidez a bajas temperaturas.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Superior Performing Asphalt Pavements (Superpave): The Product of the SHRP Asphalt Research Program, Washington, DC: Strategic Highway Research Program, 1994.

[2] American Association of State Highway and Transportation Officials, Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder, 2010.

[3] American Association of State Highway and Transportation Officials, Standard Practice for Grading or Verifying the Performance Grade (PG) of an Asphalt, 2008.

[4] U.S. Department of Transportation: Federal Highway Administration, «LTPP: Long-Term Pavement Performance Program,» [En línea]. Available: https://www.fhwa.dot.gov/research/tfhrc/programs infrastructure/pavements/ltpp/. [Último acceso: 29 Enero 2014].

[5] Dirección de Vialidad, Dirección General de Obras Públicas, Ministerio de Obras Públicas, Manual de Carreteras Volumen 8: Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control, Santiago, 2013.

[6] American Association of State Highway and Transportation Officials, Standard Method of Test for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup, 2010.

[7] American Association of State and Highway Transportation Officials, Standard Method of Test for Viscosity Determination of Asphalt Binder Using Rotational Viscometer, 2013.

[8] American Association of State and Highway Transportation Officials, Standard Method of Test for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR), 2012.

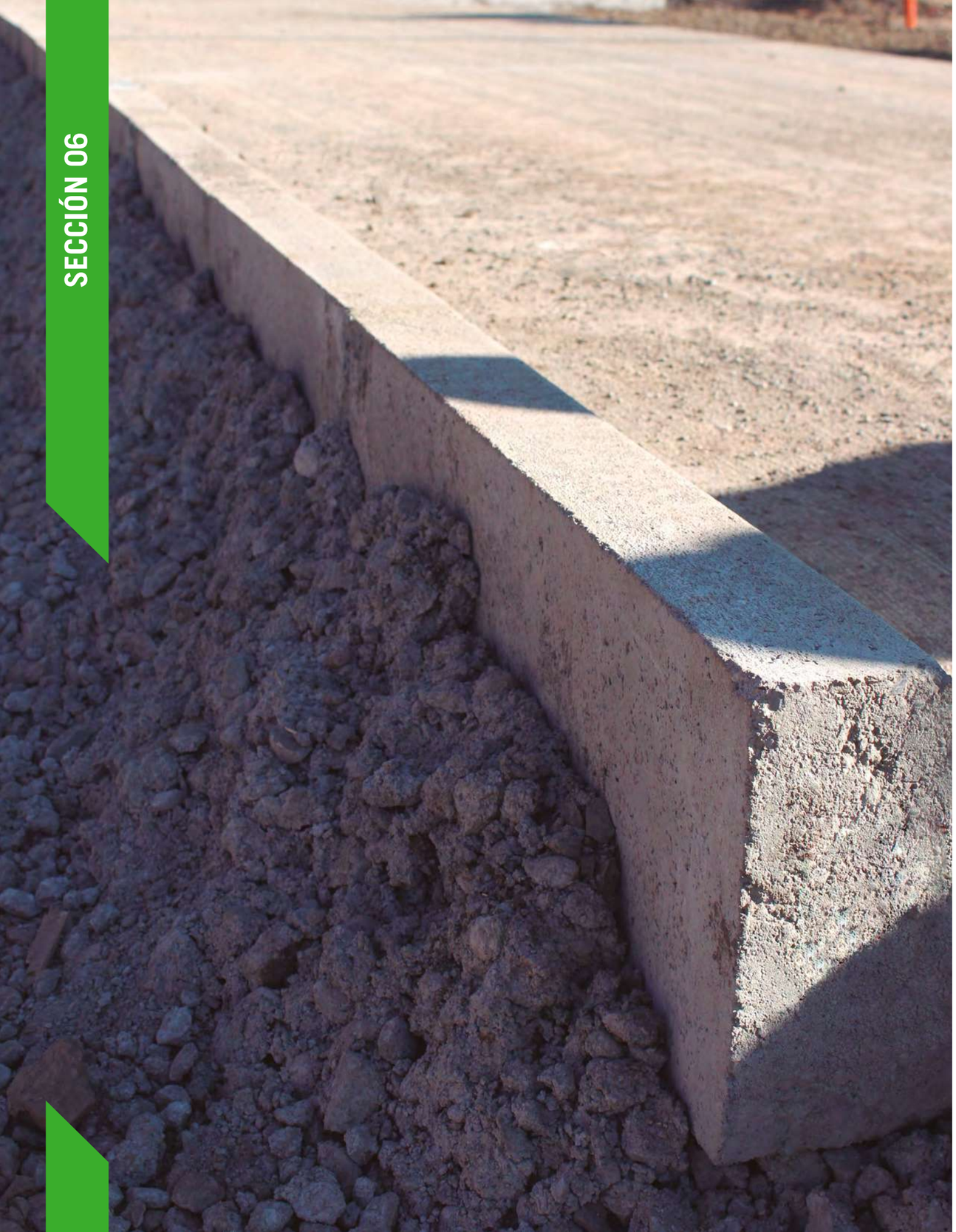
[9] American Association of State and Highway Transportation Officials, Standard Method of Test for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test), 2013.

[10] American Association of State and Highway Transportation Officials, Standard Practice for Accelerated Aging of Asphalt Binder Using a Pressurized Aging Vessel (PAV), 2012.

[11] American Association of State and Highway Transportation Officials, Standard Method of Test for Determining the Flexural Creep Stiffness of Asphalt Binder Using the Bending Beam Rheometer (BBR), 2012.

SECCIÓN 06

ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN PARA OBRAS DE PAVIMENTACIÓN



SECCIÓN 06

ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN PARA OBRAS DE PAVIMENTACIÓN

ART. 6.1 CONDICIONES GENERALES

6.1.1 ALCANCE

Esta especificación establece criterios generales para el uso y control de elementos prefabricados de hormigón que son utilizados en obras de pavimentación y que corresponden a adoquines, baldosas, pastelones, soleras y solerillas.

En esta sección se especifican los requisitos que deben cumplir los diversos elementos prefabricados y la forma de evaluar su calidad.

La utilización de otro tipo de elementos prefabricados de hormigón no descritos en esta Sección, queda sujeta a condiciones y requisitos establecidos en las especificaciones particulares del proyecto.

Para todos los casos, será exigido el cumplimiento de las disposiciones entregadas por las normas chilenas en su versión oficial, las disposiciones de la OGUC y cualquier otra recomendación que sea referenciada para cada uno de los elementos indicados en esta sección.

Los ensayos deberán ser efectuados por un laboratorio oficial que cuente con inscripción vigente en los registros del Minvu.

6.1.2 PREPARACIÓN DE LA SUBRASANTE

El terreno se preparará de manera de obtener una superficie de soporte pareja y homogénea, libre de material suelto o de origen orgánico, el que, si existe, se remueve y reemplaza por material que cumpla los requerimientos de soporte establecidos en las especificaciones técnicas.

Las excavaciones se realizan hasta el nivel indicado en el proyecto para luego compactar la capa superior, de acuerdo con las especificaciones técnicas.

En caso de requerir relleno, se recomienda ejecutarlo mediante capas, de espesor suelto comprendido entre 10 y 20 cm y compactados según lo especificado en el proyecto. En cualquier caso, se debe cumplir con los requisitos y estipulaciones previstas en la sección 2 del presente código.

6.1.3 SUBBASES GRANULARES

Las subbases granulares que se utilicen para la construcción de la estructura de soporte de los elementos prefabricados, deberán cumplir con lo indicado en este apartado, con las condiciones especiales indicadas en las especificaciones técnicas particulares de cada obra y con lo que sea aplicable de forma complementaria con las condiciones descritas en la sección 3 del presente código.

La subbase debe estar compuesta por material estabilizado, homogéneamente mezclado, desprovisto de materias orgánicas, grumos de arcilla, escombros, basura, u otro que perjudique su estabilidad.

La granulometría para el material de subbase debe cumplir con la banda indicada en la Tabla 6.1, según el tamaño máximo del árido escogido.

TABLA 6.1
BANDA GRANULOMÉTRICA PARA MATERIALES DE SUBBASE

TAMIZ [mm]	Tamaño Máximo	
	2"	1"
	% que pasa en peso	
50	100	-
40	85 - 100	-
25		100
20	60 - 90	-
10		60 - 100
5	30 - 65	50 - 80
2	20 - 50	30 - 60
1,25	16 - 43	-
0,425	10 - 30	10 - 35
0,315	9 - 27	-
0,08	5 - 15	0 - 15

La fracción de material que pasa por el tamiz de 0,425 [mm] (malla ASTM #40) debe tener un Límite Líquido (LL) menor o igual al 25% y un Índice de Plasticidad (IP) menor o igual al 6%.

El material de subbase se debe compactar por capas, con un espesor suelto comprendido entre 10 y 20 cm y un contenido de humedad igual o ligeramente inferior al óptimo.

6.1.4 MORTERO DE PEGA

En caso de requerir mortero de pega para la instalación de los elementos prefabricados, este deberá tener una relación mínima de cemento: arena = 1:3 en volumen. En el caso de que la instalación se realice en épocas de calor, se recomienda utilizar cal para retardar el fraguado (3 partes de cemento por 1 de cal). Sin embargo, se aceptará en obra el uso de una dosificación cemento: arena, en volumen distinto al señalado anteriormente, para lo cual la nueva relación peso-volumen y dosificación deberá ser revisada y validada por laboratorio y aprobada por la fiscalización técnica profesional responsable de la obra.

Si la Fiscalización Técnica de la Obra lo autorizase, se podrán emplear morteros predosificados, los que serán elaborados según recomendaciones del fabricante.

La arena para el mortero tendrá un tamaño máximo de 5 mm y no contendrá arcillas u otros contaminantes, debiendo cumplir con las disposiciones de la NCh 163.

La consistencia del mortero deberá ser plástica para que el material pueda ser esparcido con facilidad, cumpliendo los niveles altimétricos definidos para el proyecto. Deberá ser pastosa, y asegurar el correcto pegado de los elementos sobre los que se aplica.

Además, deberá tener un tiempo de endurecimiento que permita un óptimo contacto con la cara inferior de los elementos prefabricados en que se utilice y asegurar su fijación de manera adecuada.

El espesor de la capa de mortero no deberá ser inferior a 40 mm.

El mortero de pega se debe preparar a medida que avance el trabajo y utilizar inmediatamente después de su amasado.

6.1.5 ENSAYOS A ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

Se deben efectuar los ensayos previstos, según sea el tipo de elemento prefabricado, de acuerdo a las normas chilenas oficiales que apliquen en cada caso.

6.1.6 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

La evaluación de la calidad de los elementos prefabricados y su consiguiente aceptación o rechazo se efectuará por lotes, entendiéndose por lote a un conjunto de elementos correspondientes a una misma partida, fabricada bajo similares condiciones de producción.

De cada lote, se recomienda extraer una muestra al azar, para su medición y ensayo de acuerdo a las especificaciones particulares de cada elemento.

Se aceptará el lote si la muestra cumple con los requisitos geométricos y mecánicos establecidos. Si la muestra no cumple con algún requisito se efectuará un remuestreo por lote, extrayendo al azar una muestra con el doble de unidades consideradas inicialmente.

Se aceptará el lote si la muestra de remuestreo cumple con los requisitos especificados. En caso contrario, se recomienda rechazar el lote completo por incumplimiento.

ART. 6.2 ADOQUINES

6.2.1 ALCANCE

Se establecen los criterios para diseñar y construir pavimentos urbanos de adoquines de hormigón, especificando los requisitos geométricos y de resistencia a compresión y otros que deben cumplir los adoquines.

Se incluyen en este alcance los adoquines de superficies de rodado planas y estampadas, debiendo considerarse la altura efectiva de los elementos para los fines de diseño y capacidad de soporte.

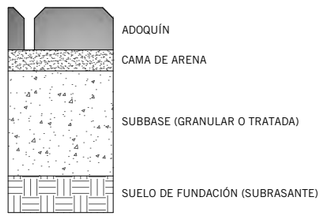
Las especificaciones de pavimentos de adoquines incluyen la posibilidad de realizar proyectos con elementos mixtos, que tengan varios tipos de adoquines distintos, o mezclas con otro tipo de pavimentos. En este caso, el diseño del pavimento compuesto deberá considerar la capacidad de carga y tráfico de cada una de las secciones de pavimentos y particularidades de detalles en las uniones y encuentros entre los distintos materiales, evitando escalonamientos, fluencia o ahuellamientos entre las secciones.

6.2.2 DISEÑO DE PAVIMENTOS URBANOS CON ADOQUINES

6.2.2.1 GENERALIDADES

Los pavimentos de adoquines se estructuran generalmente como muestra la Figura 6.1.

FIGURA 6.1
ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO DE ADOQUÍN DE HORMIGÓN



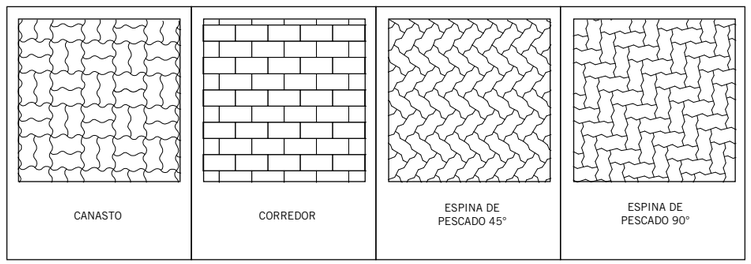
En este artículo se presentan los criterios generales para el diseño de pavimentos con adoquines de hormigón, los cuales servirán para la determinación de los espesores del paquete estructural, en función de las características de la vía y las condiciones de suelo.

Adicionalmente, se podrá usar como referencia para el diseño de pavimentos urbanos con adoquines prefabricados de hormigón, los criterios entregados en el Manual de Diseño de Pavimentos de Adoquines de Hormigón, del Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile, versión 2013.

Se podrá utilizar también una metodología distinta, según disponga el proyecto de diseño, la que deberá ser debidamente respaldada y validada por la memoria de cálculo respectiva y aprobada por la fiscalización técnica.

Los adoquines de hormigón podrán ser colocados como capa de rodadura en los aparejos que se muestran en la Figura 6.2.

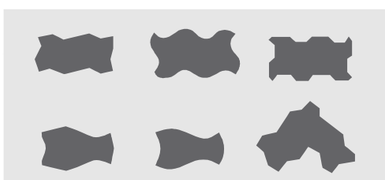
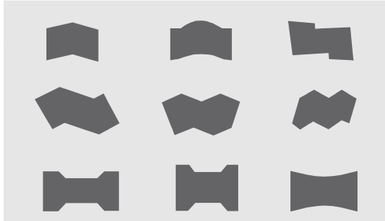
FIGURA 6.2
APAREJOS DE COLOCACIÓN DE ADOQUINES DE HORMIGÓN



6.2.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS ADOQUINES

La forma de los adoquines incide en el comportamiento global del pavimento; por ello se los ha agrupado en diferentes categorías, de acuerdo a la mayor o menor contribución que realicen a la capacidad resistente de la estructura, según se indica en la Tabla 6.2.

TABLA 6.2
CLASIFICACIÓN DE LOS ADOQUINES EN TIPOS SEGÚN SU FORMA.

	**TIPO A** Adoquines dentados que se entrelazan entre sí en los cuatro costados, capaces de ser aparejados en ''espina de pescado'' y que, por su geometría plana, al unirse, resisten el desplazamiento relativo tanto en sentido longitudinal como transversal.
	**TIPO B** Adoquines dentados, que se entrelazan entre sí, solo en dos costados que no pueden aparejarse en ''espina de pescado'' y que por su geometría plana resisten desplazamientos relativos solo en las caras paralelas a los ejes longitudinales, dependiendo de su precisión dimensional y de la precisión de colocación para que traben en las otras caras.
	TIPO C Adoquines rectangulares u otras formas geométricas (trapecios, hexágonos, triedros, etc.) que dependen solo de su precisión dimensional y de colocación para desarrollar alguna trabazón.

6.2.2.3 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE ADOQUINES

La elección de la forma, del espesor, del aparejo de colocación y de la resistencia mecánica de los adoquines, estará condicionada por la solicitación que soporta el pavimento. Para realizar el diseño de la estructura de pavimento de adoquines, se propone considerar lo establecido en la Tabla 6.3, en la que se define el espesor del adoquín, su cama de arena y la subbase, según el tipo de vía y la calidad del suelo de la subrasante.

TABLA 6.3
ESPESORES DE ADOQUÍN, CAMA DE ARENA Y SUBBASE PARA DISEÑO CON ADOQUINES DE HORMIGÓN

TIPO DE VÍA	CAPA	ESPESORES (mm)				
		CBR SUBRASANTE (%)				
		≤3	4-7	8-12	13-19	≥20
SERVICIO	ADOQUÍN	80	80	80	80	80
	CAMA DE ARENA	40	40	40	40	40
	SUBBASE CBR ≥ 40%	400	300	250	150	150
LOCAL	ADOQUÍN	60	60	60	60	60
	CAMA DE ARENA	40	40	40	40	40
	SUBBASE CBR ≥ 40%	350	300	220	150	150
PASAJE	ADOQUÍN	60	60	60	60	60
	CAMA DE ARENA	40	40	40	40	40
	SUBBASE CBR ≥ 40%	300	250	180	130	130
PEATONAL/ CICLOVÍA	ADOQUÍN	60	60	60	60	60
	CAMA DE ARENA	40	40	40	40	40
	SUBBASE CBR ≥ 60%	200	150	130	130	130

Nota: Los espesores ilustrados en la tabla corresponden a espesores mínimos, salvo el de la cama de arena. En los casos en que la subrasante de vías de Servicio, Local o Pasaje posea un CBR inferior a 3%, deberá incorporar dentro del diseño un mejoramiento de terreno de al menos 45 cm de espesor, con un CBR ≥ 20%.

Las subbases deberán cumplir las disposiciones de la Sección 3, Art. 3.2 respecto de condiciones de subbases para pavimentos asfálticos y deberán tener un CBR mínimo de 40%.

Para otras condiciones de estructuras de pavimentos de adoquines, tales como subbases o bases tratadas, se podrá consultar la metodología de diseño descrita en el Manual de Diseño de Pavimentos de Adoquines de Hormigón, de ICH versión 2013.

6.2.3 CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS CON ADOQUINES

6.2.3.1 PREPARACIÓN DE LA SUBRASANTE

Los suelos que conforman la subrasante deberán ser preparados según las disposiciones indicadas en 6.1.2.

De ser necesaria la sustitución del suelo de fundación, este se puede reemplazar por material proveniente de planta que cuente con un CBR que cumpla las indicaciones de diseño o por algún otro con un CBR no menor al 15%.

Se aconseja extender el material de reemplazo en sentido transversal, en un ancho tal que incluya los elementos de restricción de borde y sus refuerzos posteriores.

La compactación se deberá hacer exclusivamente por medios mecánicos, hasta alcanzar un 95% de la densidad máxima compactada seca obtenida por el ensayo Proctor Modificado (NCh 1534/2) o de un 80% de la densidad relativa (NCh 1726), según corresponda.

El espesor efectivo de compactación deberá comprender por lo menos los 20 cm superiores de la subrasante.

Para mayor información en materiales de reemplazo y mejoramiento de suelos, se podrá utilizar las indicaciones dadas en la Sección 2 de este código.

6.2.3.2 SUBBASE GRANULAR

La subbase granular deberá considerar las indicaciones establecidas en 6.1.3.

La granulometría del material deberá estar comprendida dentro de la banda especificada en dicho apartado para tamaño máximo 2”.

El CBR a 0,2” de penetración en muestra saturada y compactada será igual o superior al 40%.

El agregado grueso deberá tener un desgaste máximo de 30%, según el ensaye de la NCh 1369.
La compactación se realizará por medios mecánicos hasta obtener un 95% de la densidad máxima seca determinada por el ensayo Proctor Modificado (NCh 1534/2) o de 80% de la densidad relativa (NCh 1726), según corresponda.

La disposición de materiales de subbase colocados deberá presentar una compactación homogénea, que no muestre nidos de piedra o depresiones.

Se requiere tener especial cuidado en zonas cercanas a estructuras de confinamiento, tapas de alcantarillado, esquina agudas, o donde el proceso de compactación sea más difícil de realizar, debiendo considerar el uso de equipos de menor tamaño que logren llegar a estos sectores. En aquellos casos en que la compactación no sea posible, debido a la dificultad geométrica o de procesos, se recomienda el uso de hormigón pobre a nivel de subbase para asegurar la capacidad del pavimento en esta zona.

6.2.3.3 RESTRICCIONES DE BORDE

La restricción de borde (confinamiento) es de primordial importancia para mantener la trabazón de los elementos del pavimento de adoquín y prevenir el desplazamiento lateral y la apertura de las juntas, con la consiguiente pérdida de trabazón.

Esta restricción se materializa con la instalación de soleras rectas, soleras con zarpa o solerillas, las cuales se deben instalar después de la compactación de la subbase, para que tengan una adecuada estructura de soporte. Las disposiciones de colocación de los elementos indicados, se presentan en los Art. 6.4, 6.5 y 6.6 de esta sección.

6.2.3.4 CAMA DE ARENA

La cama de arena confiere la trabazón mecánica entre los adoquines, por lo que debe ser, en lo posible, de cantos angulares y sin contenido de sales solubles o contaminantes.

El material a utilizar para la cama de arena, no deberá contener más de un 5% de limo o arcilla en peso, siendo su contenido de humedad lo más uniforme posible y estar cercano al óptimo de compactación, que en condiciones normales varía entre un 6% y un 8%.

La granulometría estará comprendida dentro de la banda indicada en la Tabla 6.4.

TABLA 6.4
GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL PARA CAMA DE ARENA

Tamiz		% que pasa en peso
ASTM	NCH (mm)	
3/8”	10	100
# 4	5	95 - 100
# 8	2,5	80 - 100
# 16	1,25	50 - 95
# 30	0,63	25 - 60
# 50	0,315	10 - 30
# 100	0,16	5 - 15
# 200	0,08	0 - 15

La arena se acopia de forma que no se contamine con otros materiales o impurezas, asegurando que este conserve sus características.

En caso de estar acopiadas a la intemperie, se debe cubrir de manera que el contenido de humedad sea el adecuado y lo más uniforme posible.

En caso de ser necesario, se deberá revolver y harnear para lograr su completa homogeneización y asegurar que el material se encuentre suelto, condiciones que deben mantenerse hasta el momento de su colocación.

El espesor de la cama de arena, luego de la compactación de los adoquines, debe contar a lo menos con 40 mm de espesor compactado. Ello implica que el espesor suelto debe ser mayor en unos 10 mm para lograr el espesor compactado. El valor preciso de espesor suelto de la cama de arena necesario para lograr el espesor compactado, se puede determinar haciendo algunos ensayos a un costado del pavimento, que reproduzcan un espesor de inicio, su confinamiento y compactación, verificando el espesor final que resulte. Para tal efecto se puede reproducir un área de prueba de 1 m x 1 m y tomar espesores iniciales de un 20% a un 40% superior al espesor requerido por diseño de la cama de arena. Si durante las operaciones del esparcido y nivelación, la capa de arena sufre algún tipo de compactación, se removerá y volverá a colocar.

De igual forma, si el material ha sufrido aumento excesivo de humedad debido a lluvias u otro factor, deberá ser reemplazado por arena suelta que posea el grado de humedad requerido.

6.2.3.5 COLOCACIÓN DE LOS ADOQUINES

Los adoquines se deben colocar directamente sobre la capa de arena nivelada, según el aparejo especificado por proyecto y teniendo cuidado de no pisar la capa de arena durante el proceso. Los adoquines se colocan lo más ajustado posible entre sí, de manera que existan, entre las caras laterales, juntas de un espesor no mayor a 5 mm.

La colocación, cuando sea posible, se puede iniciar desde un frente de colocación existente o desde una restricción de borde.

Se debe tener especial cuidado en la colocación de las primeras hileras, ya que es necesario que el adoquín quede en el ángulo preciso, de manera de no tener que cambiar la posición de los elementos ya instalados. Los adoquines enteros se ubican en primer lugar y, a continuación, las unidades recortadas que rematan los bordes.

El área a pavimentar se completa al máximo con unidades enteras. En lo posible, la colocación de unidades para el remate de los costados o contra otras estructuras, se realizará simultáneamente con el avance del frente de colocación, debiendo encontrarse totalmente terminado antes de que se inicie la compactación.

Para lograr un calce ajustado, al rematar los costados o bordes de contacto con elementos existentes, puede ser necesario utilizar adoquines cortados. En todo caso, se sugiere evitar la colocación de trozos de adoquines con menos de un cuarto (1/4) de su tamaño original o con menos de 40 mm en su lado menor.

En lugares donde no sea posible usar adoquines cortados, los huecos deben ser rellenados con hormigón de resistencia a la compresión cilíndrica a los 28 días de 25 MPa, según clasificación de NCh170 con tamaño máximo del agregado igual a 10 mm, o con mortero de cemento y arena gruesa en proporción 1:3 en volumen.

Cuando con los adoquines no sea posible lograr un ajuste limpio en torno a un determinado elemento, este puede ser rodeado con un anillo de hormigón, de resistencia a la compresión cilíndrica a los 28 días de 25 MPa, según clasificación de NCh 170, el cual proporcionará un contorno más regular contra el cual puedan adosarse los adoquines.

En lugares con pendiente, la colocación se hará siempre desde abajo hacia arriba, para evitar el deslizamiento de los adoquines ya instalados.

6.2.3.6 COMPACTACIÓN DE LOS ADOQUINES

La capa de adoquines se debe compactar mediante placas compactadoras. Con esto, se asegura que la parte inferior de las juntas entre adoquines, se rellene con arena de la capa base y, al mismo tiempo, se logra la compactación de esta capa.

Se recomienda emplear placas con las siguientes características:

- Superficie 0,15 – 0,40 m^2
- Presión efectiva trasmitida por la placa 50 – 80 KN / m^2
- Frecuencia de vibración 50 – 100 Hz

Para lograr una buena compactación, se recomienda aplicar 2 a 3 pasadas de la placa vibradora en diferentes direcciones. Sin embargo, el número de pasadas deberá ser ajustado a modo de proporcionar una superficie de rodado plana y prevenir la posibilidad de asentamiento bajo la carga vehicular.

La compactación se hace tan pronto como sea posible, después de la colocación de los adoquines, pero teniendo la precaución de no acercarse a menos de 1 m del frente de colocación.

Fuera de esta franja, ningún sector del pavimento se puede dejar sin compactar al término de la jornada de trabajo.

Si durante la compactación resultan algunas unidades dañadas, estas serán remplazadas y recompactadas.

6.2.3.7 RELLENO DE LAS JUNTAS

Una vez concluida la compactación de la capa de adoquines, se distribuirá arena fina seca sobre la superficie para finalizar el relleno de las juntas. Para este efecto, se realizará un barrido de la arena con escobillones de fibras de acero, operación que facilita la penetración de la arena dentro de las juntas.

El tamaño máximo de la arena será del orden de 1 mm (se acepta tamaño bajo malla ASTM#16) y su contenido de finos bajo 0,08 mm (malla ASTM #200) deberá ser inferior al 10%. Se recomienda que la humedad de este material sea inferior al 2%, al momento de colocarlo.

Una vez esparcida la arena, el área pavimentada se vibrará nuevamente, a fin de asegurar la penetración de la arena en las juntas. Se recomienda aplicar dos o tres pasadas de la placa compactadora y luego retirar el exceso de arena.

El relleno de juntas y la compactación final, se deben hacer lo antes posible, una vez realizada la colocación y compactación inicial de los adoquines.

Un par de semanas después de haber terminado el pavimento, se deberá hacer un nuevo barrido con arena para rellenar los espacios que se hayan abierto por la acomodación de la arena dentro de las juntas.

6.2.3.8 NIVELES, REGULARIDAD SUPERFICIAL Y PENDIENTE

Los niveles de las diferentes capas serán establecidos en el proyecto y se aceptarán las siguientes tolerancias, salvo que el proyecto indique otros valores:

- Subrasante +/- 20 mm
- Subbase +/- 15 mm
- Superficie de adoquines +/- 10 mm

Los niveles entre dos adoquines adyacentes no deben diferir en más de 2 mm.

La separación total entre la superficie de adoquines y una regla de 3 m instalada paralela al eje del pavimento, no debe ser mayor a 10 mm.

La pendiente transversal mínima puede ser de un 2,5% y la pendiente longitudinal del pavimento debe ser mayor de 0,5%.

6.2.4 REQUISITOS DE CONTROL DE CALIDAD PARA LOS ADOQUINES

Los requisitos generales que deberán cumplir los adoquines se presentan en la Tabla 6.5.

TABLA 6.5
CRITERIOS DE CONTROL DE CALIDAD PARA ADOQUINES DE HORMIGÓN

CONTROL	ESPECIFICACIÓN	CRITERIO	NORMATIVA DE REFERENCIA
Fabricación(1)	Dimensiones	Largo: ± 2mm Ancho: ± 2mm Espesor: ± 3mm Largo/Ancho ≤ 3 Largo/espesor ≤ 3 Caras paralelas	Dimensiones: NTC 2017-04 Espesor: NTC 2017-04 Tolerancias: ASTM C936-01
	Resistencia a la flexotracción	Mínimo: 3 MPa Promedio: 4 MPa	Ensayo: BS 6717, NTC 2017-04 Valores: BS 6717
	Resistencia a la compresión	Mínimo: 50 MPa Promedio (5 unidades): 55 MPa	Ensayo: NCh1037(2) Valores: ASTM C936-01
	Resistencia ciclos hielo/deshielo	< 1% en 50 ciclos	Ensayo: ASTM C1645-09 Valores: ASTM C936-01
	Resistencia a la abrasión	Pérdida volumen: 15 cm^3 / 50 cm^2 Pérdida de espesor < 3 mm	Ensayo: ASTM C1138 NTCS147-03 Valores: ASTM C936-01
	Absorción	Mínimo: 5% Promedio: 7%	Ensayo: ASTM C1585-11 Valores: ASTM C936-01
Desempeño	Resistencia al deslizamiento(6)	> 55 BPN (vehicular) > 40 BPN (peatonal)	Ensayo(3): MCV8 8.602.24 Valores(4,5): MCV5 5.408.303C, AS/NZS 36611.1:1993

(1) Se controla mediante muestreo aleatorio simple de lotes producidos en fábrica, certificado por el proveedor.
(2) Complementar con procedimiento señalado en esta sección.
(3) Manual de carreteras, Volumen 8: Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control.
(4) Manual de carreteras, Volumen 5: Especificaciones Técnicas Generales de Construcción, para el caso de vías vehiculares.
(5) Norma Australiana, para el caso de vías peatonales.
(6) Umbrales para control receptivo, especificados según mediciones realizadas con péndulo británico (BPN).

Adicionalmente, las caras laterales deberán ser perpendiculares a las caras superiores e inferiores y la máxima desviación permisible de la cara lateral con respecto a la vertical será de 1/50.

El borde superior puede ser recto o biselado y la superficie abarcada por el bisel no debe ser superior al 20% de la superficie de la cara superior.

6.2.5 ENSAYO DE COMPRESIÓN

Se requiere disponer de una prensa de ensayo capaz de aplicar la carga de rotura a la velocidad especificada más adelante y que cumpla con las disposiciones de la NCh 1037, en lo que corresponda.

Los adoquines se miden para determinar la superficie neta "S" en mm^2 correspondiente a la superficie total de la cara superior, menos el área abarcada por el bisel.

Los adoquines se mantienen sumergidos en agua a 20 +/- 3ºC, durante 24 horas previas al ensayo.

Cuando los adoquines tengan en su cara de rodado, áridos a la vista o partículas que den una superficie texturada, serán refrentados con una pasta de cemento y yeso en proporción 1:1 en peso, 24 horas antes del ensayo. En este caso, la inmersión en agua se hace 48 horas antes del ensayo, por un lapso de 24 horas y después del refrentado se mantienen en cámara húmeda a 20 +/- 3ºC, y 80 % de humedad relativa mínima hasta el momento del ensayo.

El adoquín entero, con su superficie seca, se coloca con su cara de rodado hacia arriba, centrado sobre la base, cuidando que los ejes principales coincidan con los de la placa. Se requiere que las caras del adoquín sean paralelas entre sí y paralelas a las placas de carga.

Entre el adoquín y las placas de la prensa (inferior y superior) se coloca una lámina de madera prensada de 4,8 mm de espesor mínimo, cuidando que en los bordes de esta sobresalgan al menos 5 mm de los bordes del adoquín. Se requiere usar láminas nuevas en cada ensayo.

La carga de compresión se sugiere aplicarla a una velocidad de 0,25 +/- 0,05 MPa/s y se registra la carga de rotura "P".

La resistencia a compresión "R" del adoquín, en MPa, se obtiene dividiendo la carga neta "P" por la sección neta "S".

6.2.6 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

Tomar una muestra por cada 1.000 m^2 o fracción inferior de superficie pavimentada con adoquines. Cada muestra estará compuesta por 5 adoquines, los cuales deberán cumplir con los requisitos de calidad establecidos en el apartado 6.2.4.

ART. 6.3 PASTELONES

6.3.1 GENERALIDADES

Esta especificación se refiere a los pastelones prefabricados de hormigón, destinados a la pavimentación de veredas, estacionamientos para vehículos livianos, entre otros.

Esta especificación solo considera los pastelones cuadrados, de cara comprendida entre 30 y 60 cm y pastelones rectangulares de igual longitud y que cumplan con una relación dimensional 2:1.

6.3.2 CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS CON PASTELONES

6.3.2.1 PREPARACIÓN DE LA SUBRASANTE

Se debe aplicar lo establecido en el apartado 6.1.2.

La compactación se deberá realizar usando equipos mecánicos, como placas vibratorias o rodillos. En casos especiales, el proyectista puede establecer el grado de compactación necesaria, al 95% de la densidad máxima seca obtenida en el ensayo Proctor Modificado (NCh 1534/2) o al 80% de la densidad relativa (NCh 1726), según corresponda.

De ser necesario, se podrá colocar sobre los sectores disparejos una capa de arena para nivelar y sellar la superficie, para luego proceder a compactarla.

6.3.2.2 SUBBASE

Cuando el terreno de fundación sea de mala calidad (suelos A4, A5, A6, A7 de la clasificación AASHTO) o cuando así se especifique en el proyecto, se debe colocar una capa de material granular de 8 cm de espesor compactado, como mínimo.

Este material debe cumplir con las condiciones establecidas en el apartado 6.1.3. y tener un tamaño máximo de 1".

La subbase se debe compactar con equipo mecánico hasta obtener una densidad de al menos el 95% de la densidad máxima compactada seca" o "D.M.C.S., obtenida por el ensayo Proctor Modificado (NCh 1534/2) o de al menos el 80% de la densidad relativa (NCh 1726), según corresponda.

La superficie de la subbase deberá presentar una apariencia de textura densa y tupida, a fin de evitar la pérdida del mortero que se coloque sobre ella. En caso contrario, se agregará en los sectores que corresponda, una cantidad de arena que produzca el sellado de los huecos y que se compacte, según lo establecido anteriormente.

6.3.2.3 BASE DE MORTERO

Sobre la superficie compactada de la subbase (o de la subrasante) se coloca una capa de mortero de 40 mm ± 5 mm de espesor, que cumpla lo establecido en el apartado 6.1.4.

6.3.2.4 COLOCACIÓN DE LOS PASTELONES.

Se debe verificar que:

Al momento de su colocación, los pastelones estén preferentemente secos o en su estado de humedad natural; en todo caso, la superficie de contacto con el mortero debe estar seca.

Los pastelones deben colocarse de forma manual sobre el mortero fresco, asentándolos firmemente con golpes suaves de un mazo de madera, hasta que alcancen el nivel que corresponda. Es importante que se logre un completo contacto entre la cara inferior del pastelón y el mortero, con el objeto de obtener una buena adherencia.

Es importante que los pastelones se coloquen de acuerdo a los niveles y pendientes de proyecto, respetando las tolerancias permitidas. Para ello debe usarse lienzas y estacas delgadas de madera, hincadas en la subbase (o en la subrasante) debidamente niveladas.

Los pastelones se colocan uno junto al otro, dejando una pequeña separación entre ellos de aproximadamente 5 mm. En casos especiales, se pueden dejar juntas más anchas, según lo establezca el proyecto. Las juntas entre pastelones se rellenan completamente, mediante un barrido de arena fina de tamaño máximo 1 mm, o con una mezcla seca de cemento y arena fina. El material sobrante se retira de la superficie.

6.3.2.5 CURADO Y PUESTA EN SERVICIO

Se debe verificar que:

- Se riegue periódicamente la superficie de los pastelones, para mantenerla húmeda por lo menos 5 días, especialmente en tiempo caluroso.
- La puesta en servicio de vías peatonales no se efectúa antes de 5 días después de terminada la puesta de los pastelones. Si el pavimento soportará cargas vehiculares, la puesta en servicio no puede hacerse antes de 14 días.

6.3.2.6 NIVELES, REGULARIDAD SUPERFICIAL Y PENDIENTE

Los niveles de las superficies de las capas que conforman un pavimento de pastelones, deberán tener las cotas establecidas en el proyecto, con los siguientes márgenes de tolerancias:

- Subrasante +/- 20 mm.
- Subbase +/- 15 mm.
- Superficie de pastelones +/- 10 mm.

Los pastelones adosados a una línea de soleras u otro elemento de restricción de borde, deben quedar sobre el nivel de dichos elementos, en una magnitud comprendida entre 0 y 3 mm.

Se requiere que las irregularidades de la superficie del pavimento, medidas con respecto a una regla de 3 m de longitud, no sean mayores de 10 mm y la irregularidad entre dos pastelones contiguos, medidas con una regla que abarque de extremo a extremo, ambos pastelones, no sea mayor de 5 mm.

Se debe respetar las pendientes establecidas en el proyecto. En el caso de superficies expuestas a escurrimiento de agua, se deberá privilegiar las pendientes trasversales para la evacuación de estas, cuya pendiente no deberá ser mayor a 2% ni inferior a 0,5%.

6.3.3 REQUISITOS DE LOS PASTELONES

6.3.3.1 REQUISITOS GEOMÉTRICOS Y DIMENSIONALES

La cara superficial de los pastelones debe presentar una textura y coloración homogénea, libre de grietas, trizaduras y oquedades. Es aconsejable que las aristas estén vivas, salvo las de la cara superficial, deben ser biseladas o redondeadas.

Los pastelones incluidos en esta especificación son los indicados en la Tabla 6.6.

TABLA 6.6
DIMENSIONES Y TOLERANCIAS DE PASTELONES

TIPO	Dimensiones de los pastelones		
	Largo +/- 3 mm	Ancho +/- 3mm	Espesor +/- 3mm
300	300	300	40
	300	150	40
400	400	400	40
	400	200	40
500	500	500	50
	500	250	50
600	600	600	50
	600	300	50

6.3.3.2 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Los pastelones deben tener una resistencia a la flexión medida, según el apartado 6.3.4.1., tal que soporten las cargas de rotura señaladas en la Tabla 6.7.

TABLA 6.7
VALORES DE LA CARGA DE ROTURA POR FLEXIÓN EN PASTELONES CUADRADOS

TIPO DE PASTELÓN	carga de rotura [KN]	
	Promedio	Mínimo Individual
300	4,5	3,8
400	4,5	3,8
500	6,5	5,5
600	6,5	5,5

En el caso de los pastelones rectangulares, estos pueden soportar la mitad de las cargas indicadas en la Tabla 6.7, considerando la mayor dimensión de ellos.

6.3.4 ENSAYOS

6.3.4.1 ENSAYO DE FLEXIÓN

Se debe disponer de una prensa y de un sistema de soporte y aplicación de carga, que cumpla las condiciones establecidas en la NCh 1038, en lo que sea pertinente.

Los soportes pueden ser cilíndricos o semicilíndricos, de 20 a 30 mm de diámetro y de una longitud tal que permita el apoyo del elemento en todo su ancho. Se requiere que uno de ellos sea fijo y el otro articulado en un eje paralelo, a la longitud de los elementos, para evitar esfuerzos de torsión.

Los pastelones se deben mantener sumergidos en agua a 20 +/- 3°C durante las 24 horas previas al ensayo.

Es recomendable que se prepare el área de contacto del pastelón con las piezas de apoyo y de carga, colocando una tira de cuero o goma de 5 mm de espesor, mínimo.

Se requiere colocar el pastelón centrado sobre los apoyos, con una luz de ensayo 5 cm inferior de su largo, para que la carga se aplique centrada entre ambos apoyos, a una velocidad tal que la rotura no se produzca antes de los 3 minutos. Se registrará la carga “P” de rotura.

6.3.5 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

Se debe exigir lo establecido en el apartado 6.1.6., considerando lotes cada 800 m^2 o fracción inferior de superficie con pastelones, compuesto de 3 unidades. Los requisitos a cumplir son los establecidos en el apartado 6.3.3.

ART. 6.4 BALDOSAS

6.4.1 GENERALIDADES

Esta especificación se refiere a las baldosas microvibradas, destinadas para superficies de pavimentos en veredas y zonas con tránsito preferentemente peatonal, que cumplen las disposiciones de la NCh 183.

Se definen las baldosas como elementos de forma y espesor uniformes, que son reproducibles en su fabricación por procesos que aseguren sus características, tolerancias y especificaciones técnicas, pudiendo estar constituidas como elementos monocapa o bicapa, lisas o texturadas y que son colocadas sobre un sustrato de apoyo de hormigón, base granular u otro material.

Las disposiciones de forma, dimensión y color a cumplir por las baldosas a ser usadas en un proyecto de pavimentación deberán ser claramente indicadas en el proyecto respectivo.

6.4.2 REQUISITOS ESPECIALES DE DISEÑO PARA VEREDAS

Se presentan tres situaciones en relación a la estructuración mínima asociada al uso de baldosas en veredas.

1. **Veredas Peatonales:** En el caso de que el proyecto contemple baldosas como superficie peatonal, se sugiere respetar la siguiente estructuración: una subbase espesor 0,08 m (CBR mínimo 60%), mortero de pega de espesor 0,04 m y baldosas microvibradas de espesor mínimo 0,036 m.
2. **Veredas Reforzadas:** Este tipo de veredas se construyen adyacentes a un acceso vehicular (1 m longitud mínima) o bien puede corresponder al acceso mismo en el caso de viviendas unifamiliares. Se sugiere respetar la siguiente estructuración: una subbase espesor 0,08 m (CBR mín. 60%), una vereda de hormigón espesor 0,07 m, mortero de pega espesor 0,04 m y baldosas microvibradas de espesor mínimo 0,036 m.
3. **Veredas Acceso:** En el caso de accesos vehiculares, la estructuración deberá estar de acuerdo a la cartilla de diseño para pavimentos de hormigón de la Sección 14, para una vía tipo pasaje, sobre la cual se podrá disponer las baldosas con un espesor mínimo de 0,036 m adheridos al hormigón, mediante mortero de pega de espesor 0,04 m. Lo anterior solo se permitirá si la estructura completa del pavimento asegura su buen comportamiento, es decir, que la adición de las baldosas no afecte la funcionalidad, duración y calidad del pavimento debido a desprendimientos o quiebre de elementos.

6.4.3 CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS CON BALDOSAS

6.4.3.1 SUSTRATOS DE APOYO

Para la construcción de un pavimento con baldosas, se podrá utilizar como sustrato de apoyo, los siguientes materiales

i. El suelo natural a nivel de la subrasante
ii. Una capa de subbase
iii. Una capa de hormigón

En cualquiera de los casos, estas capas podrán ser nuevas o existentes, y deberán ser preparadas adecuadamente para la disposición del mortero de pega y la nueva capa de baldosas a colocar sobre ellas.

El proyecto deberá incluir las disposiciones para que la colocación de las baldosas sobre cualquiera de estos sustratos, asegure la funcionalidad, duración y calidad del pavimento.

6.4.3.2 PREPARACIÓN DE LA SUBRASANTE

Para la preparación del suelo de la subrasante, en la zona donde se construirá el pavimento, se deberán considerar las disposiciones entregadas en 6.1.2. En caso de no contar con un material adecuado para uso como subrasante de apoyo, se deberán considerar adicionalmente las disposiciones indicadas en la Sección 2, sobretodo en el caso de que fuera necesario el reemplazo, estabilización o mejoramiento del suelo natural.

La compactación del material granular se realizará usando equipos mecánicos, tales como placas vibratorias o rodillos. En casos especiales, el proyectista podrá establecer una densidad de al menos el 95% de la densidad máxima seca obtenida por el ensayo Proctor Modificado (NCh 1534/2) o de al menos el 80% de la densidad relativa (NCh 1726), según corresponda.

6.4.3.3 PREPARACIÓN DE LA SUBBASE

Cuando el terreno de fundación sea de mala calidad (por ejemplo suelos A4, A5, A6, o A7 de la clasificación AASHTO) o cuando así se especifique en el proyecto, se deberá colocar una capa de material granular como subbase de apoyo de la capa de baldosas.

Para tal efecto, sobre el terreno natural de la subrasante, preparado según el apartado 6.3.2.2., se colocará una capa de material granular del espesor compactado que se indique en el proyecto de pavimentación, el cual en ningún caso será inferior a 8 cm.

El material granular a utilizar como subbase debe cumplir con las condiciones establecidas en el apartado 6.1.3. y tener un tamaño máximo de 1".

La subbase se debe compactar con equipo mecánico hasta obtener una densidad de al menos el 95% de la densidad máxima seca obtenida por el ensayo Proctor Modificado (NCh 1534/2) o de al menos el 80% de la densidad relativa (NCh 1726), según corresponda.

La superficie de la subbase deberá presentar una apariencia de textura densa y tupida, a fin de evitar la pérdida del mortero que se colocará sobre ella. En caso contrario, se agregará en los sectores que corresponda, una cantidad de arena que produzca el sellado de los huecos y que se compacte según lo establecido anteriormente.

En el caso de pavimentos peatonales, se podrá considerar la utilización de agregados pétreos en reemplazo de la subbase o como capa adicional a esta, lo cual deberá ser establecido en el proyecto.

6.4.3.4 PREPARACIÓN DE LA CAPA DE HORMIGÓN

La estructura de un pavimento de uso peatonal con baldosas, puede contar con una capa de hormigón, denominado radier, sobre la subrasante o subbase, ya sea porque este elemento existía previamente o porque así se establezca en el proyecto.

En este último caso, el hormigón deberá tener como mínimo una resistencia a la compresión de 20 MPa, con un 80% de nivel de confianza y será evaluado por las disposiciones de la NCh 1998 o según lo establecido en el proyecto y su espesor será el que se indique en el proyecto, pero en ningún caso puede ser inferior a 5 cm.

El proyecto deberá especificar la disposición de juntas de contracción, y/o la instalación de mallas de acero para el control de fisuración.

En caso de que el radier tenga juntas de contracción, la colocación de las baldosas o se podrá hacer después de haber ejecutado dichas juntas, debiéndose además dejar las holguras y separaciones necesarias para que el movimiento natural del hormigón y las juntas no afecten las baldosas, soltando los elementos o partiéndolos por reflexión de grietas.

6.4.3.5 MORTERO DE PEGA

Las baldosas siempre se apoyarán sobre el mortero de pega, el cual deberá tener una consistencia y dosificación adecuada de acuerdo a su uso. El mortero deberá ser pastoso, con contenido de cemento suficiente para una adecuada adherencia y de resistencia tal que impida que se despeguen.

La capa de mortero será de 40 mm ± 5 mm de espesor y deberá cumplir lo establecido en el apartado 6.1.4.

Al momento de colocar el mortero sobre el sustrato de apoyo, este sustrato deberá encontrarse humedecido para evitar absorción del agua de la mezcla, indicación que deberá ser especialmente considerada en tiempos calurosos y secos.

Se acepta que el mortero de pega se confeccione en betonera en sitio, en las cantidades que se requiera para cubrir la superficie de trabajo y en una proporción sugerida de 1 : 3 : 0,25 en volumen de cemento : arena gruesa : cal hidráulica hidratada*, dosificación que deberá ser validada en terreno por la fiscalización para la mezcla final, de manera que cumpla con los requisitos técnicos para su utilización.

* *La incorporación de la cal hidráulica hidratada tiene como objeto retener el agua de amasado en forma homogénea en todo el espesor del mortero, evitando que esta decante rápidamente hacia las capas inferiores y así obtener una mayor plasticidad y adherencia entre mortero y baldosa.*

6.4.3.6 COLOCACIÓN DE BALDOSAS

Al momento de la colocación de las baldosas sobre el mortero de pega, estas deben estar en estado de equilibrio con el ambiente y presentar un aspecto seco. Su superficie de contacto con el mortero deberá haber sido humedecida, pero, en ningún caso, debe existir agua superficial en ella.

Las baldosas se colocan a mano, adosándolas con sus vecinas y asentándolas sobre el mortero fresco con golpes suaves de un mazo de madera, hasta que alcancen el nivel correspondiente. Es importante que se logre un completo contacto entre la cara de la baldosa y el mortero, con el objeto de obtener una buena adherencia y un apoyo estable y uniforme.

La colocación se realizará estrictamente respetando los niveles y pendientes del proyecto, considerando las tolerancias permitidas. Para ello es conveniente el uso de lienzas y estacas delgadas de madera, afianzadas en el sustrato de apoyo, para que queden debidamente niveladas.
Es conveniente que el avance se haga por hileras transversales a la mayor longitud a cubrir.

6.4.3.7 SELLADO DE JUNTAS

Al día siguiente de colocadas las baldosas, se deben rellenar las juntas, esparciendo sobre la superficie una lechada dosificada de 1 Kg de cemento por cada 4 litros de agua y pigmentos o tierra de color, cuando corresponda. Pasadas 3 o 4 horas se procede a lavar y escobillar la superficie para eliminar los restos de lechada.

6.4.3.8 CURADO Y PUESTA EN SERVICIO

Una vez terminado el proceso de colocación, se debe cubrir la superficie con polietileno o arena húmeda para asegurar un fraguado normal del mortero y de la lechada. El ambiente húmedo de la superficie debiera mantenerse por 5 días como mínimo. Esto es especialmente importante en tiempo caluroso y seco.

Para la puesta en servicio, deben estar completadas las operaciones de pegado y sellado de juntas y el pavimento haber sido recibido por la fiscalización técnica del proyecto. Para vías peatonales, la puesta en servicio no se efectuará antes de 5 días después de terminada la colocación. Cuando el pavimento soporte cargas vehiculares, la puesta en servicio no podrá hacerse antes de 14 días.

6.4.3.9 NIVELES, REGULARIDAD SUPERFICIAL Y PENDIENTE

Los elementos que queden adosados a singularidades del proyecto, tales como sumideros, tapas de alcantarillados o rejillas para evacuación de aguas, deberán quedar sobre el nivel de dichos elementos, en una magnitud comprendida entre 0 y 3 mm.

El nivel de la superficie del pavimento terminado debe respetar las cotas establecidas en el proyecto, con una tolerancia de +/- 3 mm.

Se requiere que las irregularidades de la superficie del pavimento de baldosas, medidas con respecto a una regla de 2 m de longitud, no pueden ser de más de 5 mm y la irregularidad entre dos baldosas contiguas, medidas con una regla que abarque de extremo a extremo, ambos elementos, no sea mayor de 3 mm.

Se deben respetar las pendientes establecidas en el proyecto. En el caso de superficies expuestas a escurrimiento de aguas, las pendientes hacia los lugares de evacuación no pueden ser inferiores a 0,5% para baldosas lisas y a 1% para baldosas de superficies texturizadas.

6.4.4 REQUISITOS PARA BALDOSAS

6.4.4.1 REQUISITOS GEOMÉTRICOS Y DIMENSIONALES

La cara superficial de las baldosas debe presentar una textura y coloración homogénea, libre de manchas y zonas opacas visibles directamente o que aparezcan al humedecerlas. Deberá estar libre de grietas, trizaduras y oquedades. Es aconsejable que las aristas estén vivas, salvo las de la cara superficial, que pueden ser biseladas o redondeadas.

Las baldosas tendrán las tolerancias indicadas en la Tabla 6.8:

TABLA 6.8
TOLERANCIAS PARA BALDOSAS (NCH183/2010)

DIMENSIÓN	TOLERANCIA
Lados	± 0,3%
Espesor	± 3 mm

Se requiere que los elementos tengan las formas especificadas y se mantengan dentro de las tolerancias indicadas.

El espesor de la capa superior debe ser, a lo menos, de 2 mm en baldosas lisas. En el caso de baldosas con estrías, esta capa puede tener a lo menos 1 mm de espesor por debajo de la estría.

6.4.4.2 REQUISITOS DE CONTROL DE CALIDAD

Las baldosas deben cumplir con los requisitos técnicos para el control de calidad, que se indican en la Tabla 6.9, basados en una clasificación por la menor dimensión de su forma geométrica en elementos cuadrados.

TABLA 6.9
REQUISITOS MÍNIMOS PARA BALDOSAS LISAS Y ESTAMPADAS

REQUISITOS BALDOSAS LISAS							
Menor Dimensión [cm]	Espesor mínimo [mm]	Desgaste medio máx [gr/cm^2]	Desgaste individual máx [gr/cm^2]	Flexión (Carga media de Rotura Mínima [kN])	Flexión Carga individual de Rotura Mínima [kN])	Impacto mín [cm]	Peso [kg]
40	36	0.20	0,23	4,5	3,6	40	68-75
40	40	0.20	0,23	5,6	4,5	42	78-88
50	45	0.20	0,23	7,1	5,7	45	84-94
50	48	0.20	0,23	8,1	6,5	50	75-85
REQUISITOS BALDOSAS ESTAMPADAS							
Menor Dimensión [cm]	Espesor [mm]	Desgaste medio máx [gr/cm^2]	Desgaste individual máx [gr/cm^2]	Flexión (Carga media de Rotura Mínima [kN])	Flexión (Carga individual de Rotura Mínima [kN])	Impacto mín [cm]	Peso [kg]
40	36	0,18	0.20	4,5	3,6	40	68-75
40	38	0,18	0,20	5,1	4,0	40	72-79
40	40	0,18	0.20	5,6	4,5	40	78-88
50	45	0,18	0.20	7,1	5,7	45	84-94
50	70	0,18	0.20	17,2	13,7	90	150-165

Nota1: Los valores del desgaste máximo ilustrados en la tabla, son usando un material abrasivo capaz de producir un desgaste de 0,05 g/cm^2 a 0,07 g/cm^2 cuando se ensayen probetas de vidrio plano flotado de espesor 20 mm ± 2,5 mm.

Nota 2: Para otras configuraciones geometrías cuadradas se deberá respetar la Clase RF3 de la NCh 183 para la resistencia a la flexión.

En el caso de elementos rectangulares de dimensiones 1:2 respecto a su menor dimensión, los valores presentados podrán ser reducidos a la mitad de los valores de flexión indicados en la Tabla 6.9.

Baldosas de otras geometrías, deberán ser asimiladas a baldosas cuadradas o rectangulares, cumpliendo los requisitos asimilados para estas formas.

6.4.5 ENSAYOS DE BALDOSAS

Las baldosas deben ser ensayadas de acuerdo a las indicaciones y procedimientos de la NCh 187.

6.4.6 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE BALDOSAS

Se debe exigir lo establecido en el apartado 6.1.6., considerando lotes cada 1.000 m^2 o fracción inferior de superficie con baldosas y muestras compuestas por 10 elementos; 4 de ellas se destinan al ensayo de flexotracción, 3 al ensayo de desgaste y 3 al ensayo del impacto. Los requisitos a cumplir son los establecidos en el apartado 6.4.4.

ART. 6.5 SOLERAS

6.5.1 GENERALIDADES

Esta especificación se refiere a las soleras prefabricadas de hormigón, utilizadas como límites de restricción en pavimentos en vías de circulación de cualquier tipo.

6.5.2 COLOCACIÓN DE SOLERAS PREFABRICADAS DE HORMIGÓN

6.5.2.1 PREPARACIÓN DEL TERRENO

Las soleras se colocarán sobre un terreno apto, debidamente preparado para su apoyo. Normalmente son colocadas sobre la base o subbase granular que servirá también de apoyo para la estructura del pavimento.

Para la preparación del terreno se deberá verificar que el sustrato de apoyo haya sido preparado según las especificaciones técnicas del proyecto. En caso de ser necesario, se ajustará el nivel de las soleras mediante excavación del terreno.

En este caso, se sugiere que la excavación tenga un ancho mínimo de 35 cm para las soleras tipo A y de 30 cm para las de tipo B y C. Se requiere que la profundidad sea la necesaria para que la cara superior de las soleras quede al nivel especificado en los planos.

El fondo de la excavación requiere presentar una superficie compactada, pareja y limpia de materiales sueltos, basuras, escombros, materia orgánica o restos vegetales.

6.5.2.2 COLOCACIÓN DE SOLERAS

Es recomendable que se humedezca ligeramente la excavación y colocar sobre ella una capa de hormigón de 170 Kg de cemento por m^3 con 10 cm de espesor mínimo.

La solera se debe colocar sobre la capa de hormigón fresco, alineándola según la dirección del eje de la calzada, o la que se indique en los planos.

Se debe verificar los niveles y pendientes, tomando en consideración que la arista formada por la interacción de la cara inclinada y la cara vertical coincidan con el borde superior de la calzada.

Las soleras se deben colocar lo más ajustadas posibles entre sí, con una separación máxima de 5 mm. En las intersecciones se utilizará soleras curvas, quedando prohibido quebrar soleras para generar los radios requeridos.

Las juntas se rellenan con un mortero de cemento y arena fina en proporción 1:4 en peso.

Se recomienda rellenar el respaldo de las soleras con el mismo hormigón establecido para la base, hasta una altura mínima de 15 cm, medida desde de la base de la solera.

El hormigón y el mortero de junta requieren mantenerse húmedos durante 5 días como mínimo, cubriéndolos con algún material que mantenga la humedad o mediante riego frecuente.

Una vez que el hormigón de base y de respaldo, así como el mortero de juntas, haya endurecido lo suficiente, se procede a completar el relleno posterior de la solera hasta el borde superior de esta, de acuerdo al perfil transversal indicado en el proyecto. Para este efecto, salvo que se establezcan otras condiciones, se puede utilizar el mismo material obtenido de las excavaciones, siempre que esté libre de materia orgánica, basuras o bolones.

6.5.2.3 ALINEAMIENTO, PENDIENTES Y TOLERANCIAS DE COLOCACIÓN

La línea de soleras debe seguir la misma alineación y pendiente del eje de la calzada, o la que se señale en el proyecto.

Se debe verificar el alineamiento y nivelación de las soleras mediante una regla de longitud aproximadamente igual al doble del largo de los elementos utilizados.

La separación máxima aceptable entre las soleras y la regla, ya sea en la cara superior o en la cara inclinada, debe ser de 4 mm.

6.5.3 REQUISITOS DE LAS SOLERAS

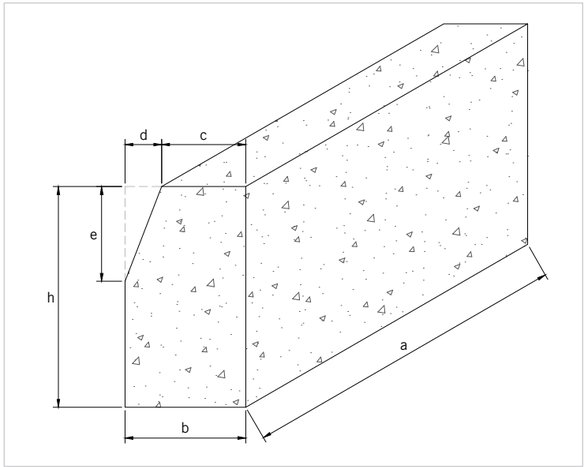
6.5.3.1 REQUISITOS GEOMÉTRICOS Y DIMENSIONALES

Las soleras se clasifican según sus dimensiones, en los tipos A, B y C, las cuales se indican en la Tabla 6.10 y en la Figura 6.3.

TABLA 6.10
DIMENSIONES DE LAS SOLERAS (mm)

TIPO	Longitud	Altura	Base	Ancho superior	Rebaje triangular	Distancia vertical
	a	h	b	c	d	e
A	900 ± 9	300 ± 10	160 ± 8	120 ± 4	40 ± 3	150 ± 5
	1000 ± 10					
B	500 ± 5	250 ± 10	120 ± 6	80 ± 3	40 ± 3	150 ± 5
C	500 ± 5	250 ± 10	100 ± 5	80 ± 3	20 ± 3	120 ± 4

FIGURA 6.3
DIMENSIONES DE LAS SOLERAS



6.5.3.2 REQUISITOS DE FLEXIÓN

La carga de rotura a la flexión no debe ser inferior a los valores establecidos en la Tabla 6.11. La carga de rotura a la flexión se debe determinar mediante el ensayo indicado en la NCh 3208.

TABLA 6.11
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE SOLERAS, CARGA DE ROTURA

TIPO DE SOLERA	Carga de rotura a la flexión kN	
	Valor promedio mínimo	Valor individual mínimo
A	31	25
B	24	20
C	17	14

La carga de rotura a la flexión se debe determinar mediante el ensayo indicado en la NCh 3208.

6.5.3.3 REQUISITOS DE IMPACTO

La resistencia al impacto no debe ser inferior a los valores establecidos en la Tabla 6.12.

TABLA 6.12
RESISTENCIA AL IMPACTO DE SOLERAS - ALTURA MÍNIMA DE CAÍDA

TIPO DE SOLERA	Altura mínima de caída mm	
	Altura mínima de caída mm	Valor individual mínimo
A	800	700
B	600	520
C	450	400

La resistencia al impacto se debe determinar mediante el ensayo indicado en la NCh 3208.

Criterios de Aplicación

Se recomienda aplicar lo establecido en el apartado 6.1.6., considerando lotes de 2000 unidades o fracción inferior.

Se requiere que las muestras estén compuestas por 3 soleras para requisitos dimensionales, 3 soleras para el ensayo de flexión y 3 soleras para el ensayo de impacto.

ART. 6.6 SOLERILLAS

6.6.1 GENERALIDADES

Esta especificación se refiere a las solerillas prefabricadas de hormigón que se utilizan como límites de restricción para pavimentos de aceras, pasajes y sendas de circulación peatonal, así también como elementos de separación de áreas de jardines, plazas, etc.

6.6.2 COLOCACIÓN DE SOLERILLAS PRAFABRICADAS DE HORMIGÓN

6.6.2.1 PREPARACIÓN DEL TERRENO

Es recomendable que la base de fundación se obtenga excavando una zanja en el terreno natural o en la subbase granular compactada. Junto con ello, se recomienda que la excavación tenga un ancho mínimo de 25 cm y una profundidad necesaria para que el extremo superior de la solerilla quede al nivel especificado en los planos.

El fondo de la excavación debe presentar una superficie compactada, pareja y limpia de materiales sueltos, basuras, escombros, materia orgánica o restos vegetales.

6.6.2.2 COLOCACIÓN DE SOLERILLAS

Para la colocación se debe verificar que:

a. Se humedezca ligeramente la excavación y coloque sobre ella una capa de hormigón de 170 kg. de cemento por m^3 y de 7 cm de espesor mínimo.

b. La superficie de esta capa tenga el nivel y la pendiente adecuados, a fin de que la solerilla que se va a colocar sobre ella se ajuste a lo indicado en los planos.

c. Las solerillas se coloquen sobre el hormigón, manteniendo una separación máxima entre ellas de 5 mm.

d. Las juntas entre elementos se rellenen con mortero de cemento y arena fina en proporción 1:4 en peso.

e. El respaldo de la solerilla se rellene con el mismo hormigón especificado para la base, hasta al menos 3/4 de su altura si se respalda por un solo lado, o hasta la mitad de su altura si se rellena por ambos lados.

f. El hormigón y el mortero de junta se mantengan húmedos durante un mínimo de 5 días, cubriéndolos con algún material que mantenga la humedad o mediante riego frecuente. Una vez que el hormigón de base y de respaldo, así como el mortero de juntas se hayan endurecido lo suficiente, se puede proceder a completar el relleno posterior hasta el borde superior de la solerilla, de acuerdo al perfil transversal indicado en el proyecto. Para este efecto, salvo que se establezcan otras condiciones, puede utilizarse el mismo material obtenido de las excavaciones, siempre que esté libre de materia orgánica, basuras o bolones.

6.6.2.3. EJES, NIVELES Y TOLERANCIA

Los ejes y niveles se deben ajustar a lo establecido en el proyecto.

El alineamiento de las solerillas colocadas se puede verificar mediante una regla de longitud aproximadamente igual al doble del largo de los elementos utilizados.

La separación máxima aceptable entre las solerillas y la regla, ya sea en su cara superior o lateral, será de 4 mm.

6.6.3 REQUISITOS DE LAS SOLERILLAS

6.6.3.1 REQUISITOS GEOMÉTRICOS Y DIMENSIONALES

Las solerillas se clasifican en los tipos A, B y C, según su forma y dimensiones, que son las indicadas en la Tabla 6.13 y en la Figura 6.4.

FIGURA 6.4
DIMENSIONES DE LAS SOLERILLAS

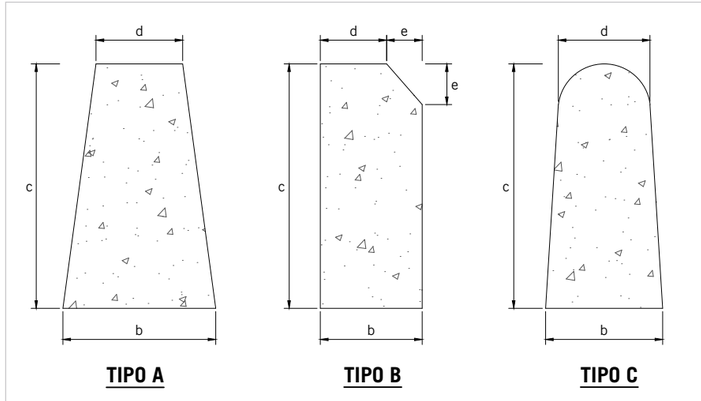


TABLA 6.13
DIMENSIONES DE LAS SOLERILLAS (mm)

TIPO	Longitud	Altura base	Altura	Ancho Superior	Rebaje triangular
	a	b	c	d	de
A	500 ± 5	75 ± 4	200 ± 10	60 ± 4	-
	1000 ± 10				
B	500 ± 5	60 ± 3	200 ± 10	45 ± 3	15 ± 1
	1000 ± 10				
C	500 ± 5	60 ± 3	200 ± 10	50 ± 3	-
	1000 ± 10				

6.6.3.2 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Se recomienda que las solerillas resistan como mínimo las cargas de flexión que se indican en la Tabla 6.14.

TABLA 6.14
CARGA DE FLEXION DE SOLERILLAS, CARGA DE ROTURA

TIPO DE SOLERILLAA	Carga de rotura a la flexión kN	
	Valor promedio mínimo	Valor individual mínimo
A	4,4	3,6
B	3,5	2,9
C	2,9	2,4

La carga de rotura a la flexión se debe determinar mediante el ensayo indicado en la NCh 3208.

6.6.4 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

Se recomienda aplicar lo establecido en el apartado 6.1.6, considerando lotes de 2.000 unidades o fracción inferior y muestras compuestas por 3 solerillas para requisitos dimensionales y 3 soleras para el ensayo de flexión.

ART. 6.7 SOLERAS CON ZARPA

6.7.1 GENERALIDADES

Esta especificación se refiere a las soleras con zarpa, que se utilizan como cunetas y elementos de restricción de borde de calzadas y vías de tránsito vehicular.

Se aceptan únicamente si la solera y la zarpa forman un solo elemento. No se acepta que se construyan en forma separada.

El diseño estructural del pavimento debe considerar las condiciones de carga en borde libre, lo que en general se traduce en un incremento de espesor de la calzada de entre 1 y 2 cm, respecto de la condición en que se utilizan soleras sin zarpa.

Es importante considerar que este tipo de elementos no resultan efectivos para separar el tránsito vehicular del espacio de acera, lo que podría derivar en accidentes debido a vehículos que invaden la acera. Lo anterior se acentúa en vías con trazados curvos y/o pendientes fuertes.

6.7.2 COLOCACIÓN DE SOLERAS CON ZARPA

6.7.2.1 PREPARACIÓN DEL TERRENO

El sello de fundación para la colocación de soleras con zarpa se debe obtener excavando una zanja en el terreno natural o en la subbase granular compactada.

La excavación requiere tener un ancho mínimo de 80 cm para las soleras tipo A, 70 cm para soleras tipo B y 65 cm para soleras tipo C, y tener además la profundidad necesaria para que la solera quede al nivel establecido en el proyecto.

El fondo de la excavación debe presentar una superficie compactada, uniforme, pareja y limpia de materiales sueltos, basuras, escombros, materia orgánica, etc.

6.7.2.2 COLOCACIÓN DE SOLERAS CON ZARPA

Para la colocación se debe verificar que:

a. La excavación se humedezca ligeramente y en ella se coloque una capa de hormigón de 170 kg de cemento por m^3 y de 10 cm de espesor mínimo.

b. La superficie de esta capa tenga el nivel y la pendiente adecuada para que la solera con zarpa que se va a colocar sobre ella se ajuste a lo indicado en los planos.

c. La solera con zarpa se coloque sobre el hormigón fresco y se alinee según la dirección del eje de la calzada o la que indiquen los planos.

d. Se verifiquen los niveles y pendientes, tomando en consideración que la zarpa coincida con el borde superior de la calzada, manteniendo la continuidad del bombeo y de la pendiente longitudinal.

e. La separación máxima entre los elementos sea de 5 mm y las juntas se rellenen con mortero de cemento y arena fina en proporción 1:4 en peso.

f. El respaldo de la solera se rellene con el mismo hormigón especificado para la base, hasta la mitad de su altura, como mínimo.

g. El hormigón de base y de respaldo, así como el mortero de juntas, se mantengan húmedos durante 5 días como mínimo, ya sea por medio de riego frecuente, cubriéndolos con arena húmeda o con el material de relleno correspondiente, el que pueda depositarse a partir del día siguiente a la colocación de las soleras con zarpa.

h. Sin embargo, para la compactación del relleno, se espera un plazo mínimo de 7 días para que el hormigón adquiera resistencia.

i. Para el relleno posterior se puede ocupar el mismo material obtenido de las excavaciones, siempre que no contenga materia orgánica, basuras ni bolones.

6.7.2.3 EJES, NIVELES Y TOLERANCIAS

Los ejes y niveles de colocación se deben ajustar a lo establecido en el proyecto.

El alineamiento longitudinal de las soleras con zarpa se verificará mediante una regla de longitud aproximadamente igual al doble del largo de los elementos.

Se recomienda que la separación máxima aceptable entre la solera con zarpa y la regla, ya sea en la cara superior, en la cara lateral, o en la superficie de la zarpa, sea de 4 mm.

6.7.3 REQUISITOS DE LAS SOLERAS CON ZARPA

6.7.3.1 REQUISITOS GEOMÉTRICOS Y DIMENSIONALES

Se recomienda que las soleras con zarpa se clasifiquen en tipos A, B y C, según sus formas y dimensiones.

Estas son las que se indican en la Figura 6.5 y Tabla 6.15.

FIGURA 6.5
DIMENSIONES DE LAS SOLERAS CON ZARPA

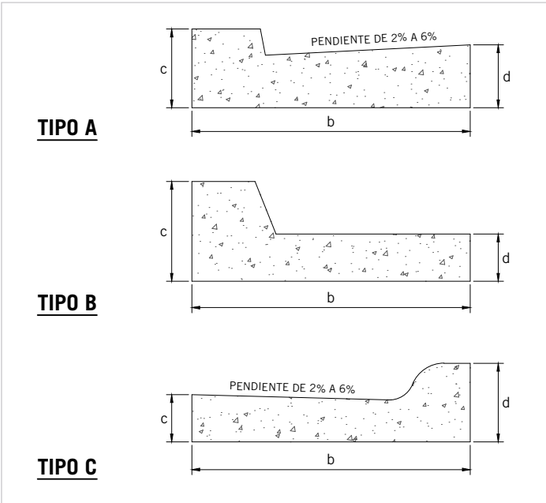


TABLA 6.15
DIMENSIONES DE LAS SOLERAS CON ZARPA

Dimensiones (cm)		Tipo de solera con zarpa		
		A	B	C
Longitud	a	50	50	50
Ancho	b	60	50	45
Alto	c	20	30	16 - 21
Altura	d	15	15	11

Todas las dimensiones tendrán las tolerancias indicadas en la NCh 3207.

El cumplimiento de los requisitos geométricos se puede verificar por lotes de 2000 unidades o fracción inferior de los cuales se deben extraer una muestra al azar compuesta por 3 soleras con zarpa, a las que miden sus dimensiones.

6.7.3.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Para la resistencia a compresión se debe verificar que:

La resistencia media de las muestras consideradas puede ser igual o superior a 30 MPa y ninguna muestra puede tener una resistencia inferior a 27 MPa.

La aceptación de las unidades se debe hacer en base a testigos. Estos deben ser cilíndricos, de 10 cm de diámetro y su esbeltez debe estar comprendida entre 1 y 2.

Se requiere ensayar al menos 3 soleras con zarpa para requisitos dimensionales por cada lote de 2000 unidades o fracción inferior. Además, de cada una de ellas se requerirá extraer dos testigos, los cuales serán ensayados a compresión, según NCh 1037.

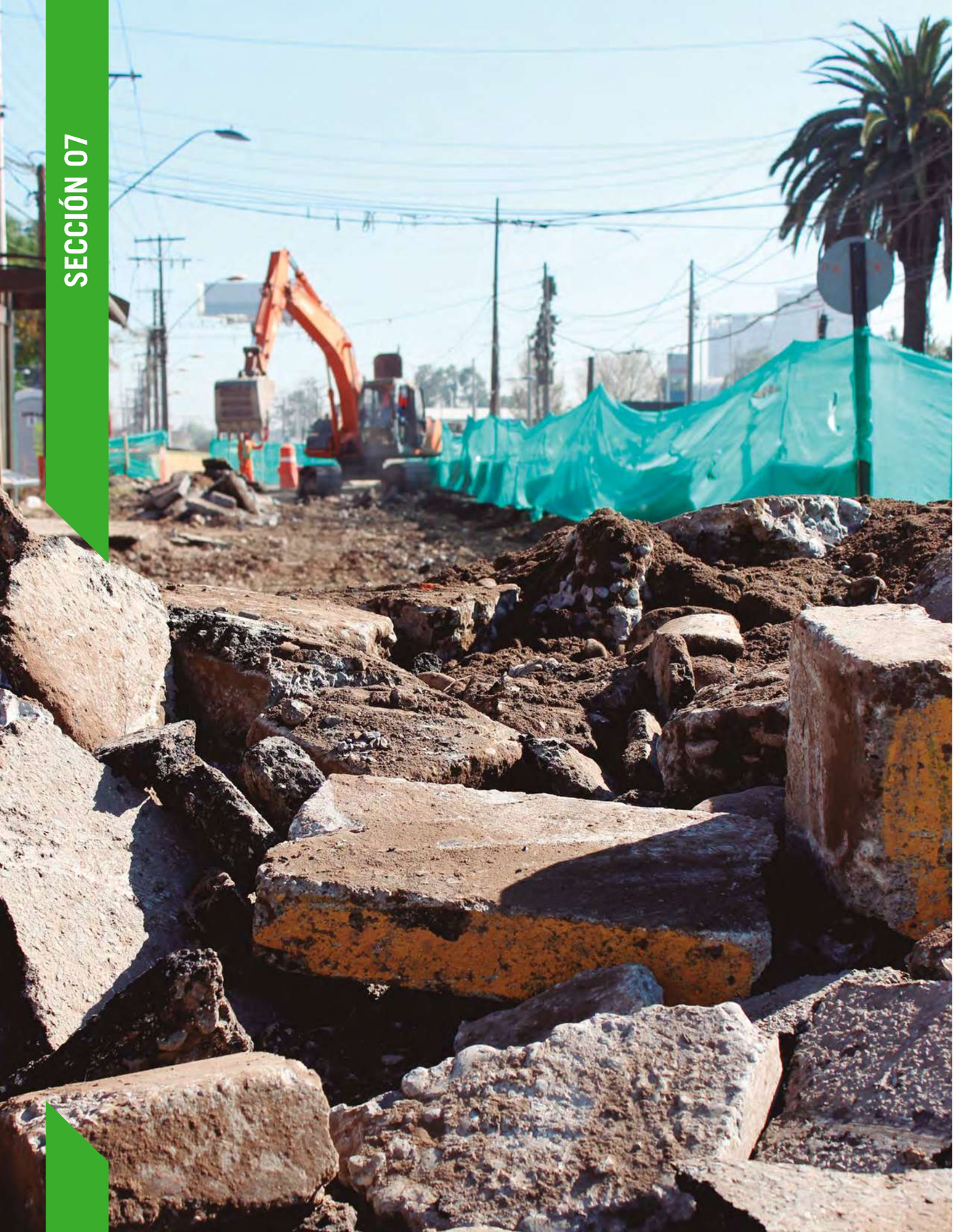
La resistencia media de los testigos debe ser superior o igual a 25 MPa y ninguno de los resultados puede ser inferior a 22 MPa.

6.7.4 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

Se acepta el lote si la muestra cumple con los requisitos establecidos con los apartados 6.7.3.1 y 6.7.3.2.

Si la muestra no cumple con estos requisitos, se puede efectuar un remuestreo por lotes, extrayendo al azar una muestra con el doble de unidades consideradas inicialmente.

SECCIÓN 07
OBRAS COMPLEMENTARIAS



SECCIÓN 07
OBRAS COMPLEMENTARIAS

ART. 7.1 ALCANCE

Se consideran obras complementarias a aquellas partidas que son necesarias para la ejecución del proyecto de pavimentación, pero no constituyen parte del pavimento como tal. Algunas de estas obras tienen por objeto proteger a los pavimentos de acciones externas, tal como desagües de aguas lluvias, pasos de aguas u otros. También podrá considerarse como obra complementaria parte o la totalidad del arreglo o emparejamiento de los veredones adyacentes a las calzadas o aceras que se pavimente.

ART. 7.2 DEMOLICIÓN Y EXTRACCIÓN

7.2.1 DEMOLICIÓN DE PAVIMENTOS EXISTENTES Y TRANSPORTE DE ESCOMBROS

En el caso de que el proyecto de pavimentación especifique la demolición de pavimentos existentes, esta deberá considerar además la extracción y el transporte a botadero de los escombros. Para tal efecto, se deberá considerar dentro de las labores de ejecución del proyecto, las acciones necesarias para proteger los elementos/componentes del pavimento que quedarán sin afectar, de manera que queden inalterados por los procesos de demolición y extracción.

El contratista deberá considerar, previo a la realización de estas labores, la protección de las estructuras aledañas al proyecto de pavimentación, tales como obras de arte, subrasante, bases, pavimentos, cañerías, cámaras, entre otros, para evitar así faenas posteriores de reposición, reconstrucción y/o recompactación, según sea el caso.

Los elementos que podrían ser especificados para demolición y extracción son:

a. Calzadas y veredas de hormigón
b. Calzadas y veredas asfálticas
c. Calzadas adoquinadas
d. Calzadas empedradas
e. Zarpas de hormigón
f. Veredas de baldosas
g. Soleras en mal estado o construidas en sitio
h. Bases de hormigón, granulares y estabilizadas
i. Otros

7.2.2 EXTRACCIÓN Y TRANSPORTE DE ELEMENTOS PREFABRICADOS

En el caso de los elementos prefabricados existentes y que producto del proyecto de pavimentación deban ser removidos y trasladados a botaderos, se deberán tratar según lo dispuesto en el punto 7.2.1.

En el caso de que los elementos extraídos existentes deban ser reutilizados, su disposición en la obra será la que determine el proyecto y a falta de indicación, será la que determine el fiscalizador.

Dentro de los elementos prefabricados que es posible encontrar en un proyecto de pavimentación, se encuentran los siguientes:

a. Soleras de hormigón vibrado
b. Pastelones de hormigón
c. Adoquines de hormigón
d. Tubos de cemento comprimido
e. Tubos metálicos
f. Rieles
g. Tapas de cámaras
h. Otros prefabricados

7.2.3 DEMOLICIÓN DE OBRAS VARIAS

La especificación de demolición de todos los elementos no descritos en 7.2.1 o 7.2.2. será la indicada en el proyecto. Para la extracción de cualquiera de los elementos indicados a continuación, se deberá considerar lo indicado en 7.2.1 para la protección de los elementos que no serán alterados por la demolición y/o extracción:

a. Obras de hormigón construidas en sitio, tales como: muros, cámaras, cimientos, tuberías, canaletas, etc.
b. Obras de hormigón armado, como son: losas, vigas, muros, etc.
c. Obras de albañilería de ladrillos

ART. 7.3 RECONSOLIDACIÓN DE ZANJAS Y EXCAVACIONES EN GENERAL

Los trabajos de demolición y extracción pueden afectar el suelo existente, por lo que se debe verificar su estado y capacidad para recibir la estructura del futuro pavimento.

Por lo anterior, puede ser necesaria la realización de trabajos suplementarios con el fin de restituir la capacidad al sector afectado, como son la recompactación de la subrasante o la reconsolidación de antiguas excavaciones provenientes de algunas instalaciones subterráneas, de matrices o arranques domiciliarios de agua potable, alcantarillado u otros.

Los trabajos a realizar en cuanto a calidad de los materiales, reposición, colocación, compactación y terminación en zanjas y excavaciones, deberán cumplir adicionalmente las indicaciones entregadas en las secciones 08, 09, 10, 11 y 12, correspondientes a reparación y reposición de las estructuras de pavimento.

ART. 7.4 EVACUACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES

Para la evacuación de aguas lluvias se podrá utilizar los tipos de elementos que se describen a continuación.

7.4.1 TUBERÍAS

Los tipos de tuberías que se podrá utilizar para la evacuación y transporte de las aguas obtenidas por los sistemas de captación de aguas superficiales serán los siguientes:

7.4.1.1 TUBERÍAS DE HORMIGÓN O DE CEMENTO COMPRIMIDO

Los tubos de hormigón o cemento comprimido que se utilicen en un proyecto de evacuación de aguas lluvias deberán cumplir las disposiciones de las normas oficiales vigentes NCh 184 y NCh 170.

Las uniones entre tubos pueden ser

a. De enchufe y espiga o de muesca y ranura
b. De corte plano

En las uniones se emplea el siguiente método de conexión:

a. Tubos de enchufe y espiga o de muesca y ranura: luego de limpiar y humedecer las superficies a unir, se aplica un mortero dosificación 1:3 en volumen, elaborado con un contenido de agua mínimo, sobre la mitad superior del enchufe y sobre la mitad inferior de la espiga o ranura. A continuación, se procede a presionar los tubos entre sí, hasta que su separación se reduzca al mínimo.

b. Tubos de corte plano: luego de limpiar y humedecer la superficie de unión, se aplica un mortero con dosificación 1:3 en volumen, elaborado con un contenido de agua mínimo. Enseguida se presiona los tubos entre sí, hasta que la separación se reduzca al mínimo.

Luego de colocados los tubos, se construye sobre las uniones una cubrejuntas con mortero de cemento, dosificación 1:3 en volumen, formando un anillo. De acuerdo al diámetro interior del tubo la cubrejunta tendrá los anchos y espesores que se especifican en la Tabla 7.1.

TABLA 7.1
DIMENSIONES DE CUBREJUNTAS

DIÁMETRO INTERIOR [cm]	ANCHO [cm]	ESPESORES [cm]
10	10	3
15	10	3
20	12	4
30	12	4
40	12	4
50	15	6
60	15	6
80	18	8
100	20	10

Es recomendable que las cubrejuntas se mantengan húmedas durante un período mínimo de 24 horas.

7.4.1.2 TUBERÍAS DE ACERO ZINCADO CORRUGADO

Los tubos y sus dispositivos de conexión se deberán proteger mediante un recubrimiento con un producto asfáltico, de preferencia el revestimiento tipo E4 al que se refiere la norma NCh 567.

Los tubos se colocarán sobre una base granular (o radier si fuera el caso) la que servirá de apoyo y nivelación, procediendo a conectarlos entre sí, con los materiales de pegado y fijación que especifique el proyecto, de acuerdo a este tipo de tuberías. Se debe cuidar que los espacios entre las corrugaciones queden completamente rellenos.

Las juntas entre tubos deberán ser perfectamente conectadas.

7.4.1.3 TUBERÍAS DE HDPE

Se utilizarán las tuberías de material HDPE que especifique el proyecto, debiendo cumplirse las condiciones de instalación, calidad y ensayo de control para su uso. Las tuberías a ser utilizadas deberán cumplir con ASTM F 894 –05 y EN13476.

Las tuberías deberán instalarse sobre una base de apoyo, que estará compuesta de arena, gravilla, o material estabilizado, que soporte las cargas que generará la tubería, lo que será determinado por el proyecto de diseño.

El relleno lateral se realizará por capas de no más de 30 cm de espesor, de manera de asegurar una adecuada consolidación del terreno. La faena de compactación se ejecutará cuidando de que no perjudique la tubería por golpes o abolladuras.

La capa final de relleno se terminará según la altura máxima que pueda soportar el tubo a utilizar, la que generalmente es función del diámetro de la tubería y del tipo de material. En caso de no contar con esta información, el relleno sobre la tubería no deberá ser menor a los 30 cm desde la clave de la tubería hasta la cota de término con el material de relleno, u otra altura que defina el proyecto de diseño de manera de cuidar la transmisión de cargas que lleguen a la tubería y no le produzcan tensiones mayores que las máximas admisibles.

7.4.2 CÁMARAS DE INSPECCIÓN

Las cámaras de inspección se deberán ubicar en las posiciones que defina el proyecto de aguas lluvias para el proyecto de pavimentación, de manera de permitir la limpieza de los tubos, con el fin de asegurar el escurrimiento de fluidos y evitar acumulación de materias sólidas que son arrastradas por el agua.

Las cámaras se podrán construir según las especificaciones entregadas en las láminas tipo Nº 7.1 y 7.2 del Apéndice III, a usar como referencia, o en su defecto, según las indicaciones del proyecto en particular para la construcción de dichos elementos.

7.4.3 COLECTORES DE AGUAS LLUVIAS

Los colectores de aguas lluvias que se construyan en vías urbana serán materia de un proyecto específico y debidamente aprobado por el Serviu, si correspondiera a su tuición.

7.4.4 SUMIDEROS

Estos elementos cumplen la función de captar aguas superficiales y conducirlas a otros componentes del sistema de aguas lluvias como pueden ser colectores subterráneos o canalizaciones abiertas. Se debe tener especial cuidado de ejecutar correctamente las pendientes, niveles y detalles constructivos que se indiquen en el proyecto, de manera de asegurar la correcta captación y escurrimiento del agua, evitando así apozamientos y/o inundación de zonas aledañas al sumidero.

La capacidad hidráulica de captación de los sumideros depende de su diseño pero también de su ubicación, la pendiente de la calle, las características del flujo y los sedimentos que lleve el agua. Se podrán considerar los sumideros tipo que son propuestos en las láminas tipo Nº 7.3 a 7.8 del Apéndice III del presente código, pero en el proyecto de diseño se deberá verificar que cumplen con la captación de caudal que se requiere para ellos. En caso de no cumplimiento de estos elementos tipo, el proyecto deberá considerar un sumidero alternativo, el que deberá ser revisado y aprobado por el Serviu.

7.4.5 TÉCNICAS ALTERNATIVAS PARA LA EVACUACIÓN DE AGUAS LLUVIAS

Existen otras técnicas que permiten captar el agua mediante sistemas alternativos y complementarios, los cuales se encuentran descritos en el Manual de Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos - Guía de Diseño (Minvu, 1996) el cual cubre una gama significativa de situaciones que pueden aplicarse en todo el territorio nacional.

Este manual, permite al usuario visualizar alternativas técnicamente disponibles para abordar y solucionar los problemas que plantean los excesos de escorrentía generados por la urbanización, disponiendo de diferentes opciones de obras y acciones. Las soluciones que se implementen para un proyecto en particular estarán basadas en soluciones que se consideran en este manual u otras alternativas que el Serviu defina para su región.

ART. 7.5 MUROS DE CONTENCIÓN

Los muros de contención son estructuras que se construyen para solucionar diferencias de nivel de consideración, entre puntos situados a muy corta distancia entre sí. Esto sucede generalmente cuando, debido a la conformación de una plataforma horizontal, es necesario ejecutar cortes o terraplenes.

Los muros de contención resisten el empuje resultante de la presión ejercida por el terreno y el empuje de la presión transmitida por los vehículos en el caso de que el muro se encuentre bajo la cota del pavimento.

En este artículo se describirán en detalle los muros de contención con materiales tradicionales que se utilizan para el sostenimiento de suelos y otras técnicas que actualmente se están utilizando con el propósito de contener masas de suelo, las que son clasificadas según su función estructural.

7.5.1 MUROS DE CONTENCIÓN CON MATERIALES TRADICIONALES

De acuerdo al material empleado en su construcción, los muros se clasifican en:

a. Mampostería de piedras
b. Hormigón
c. Hormigón armado

Los dos primeros tipos de muros son gravitacionales, dado que no podrían resistir esfuerzos de flexotracción. El empuje lo resisten mediante su peso propio y con el peso del suelo que se apoya en ellos, suelen ser económicos para alturas moderadas, menores a 5 metros y que no requieren de enfierraduras de refuerzo. Su construcción se deberá realizar estrictamente cumpliendo los alcances y especificaciones del proyecto.

7.5.1.1 MUROS DE MAMPOSTERÍA DE PIEDRAS

Los muros de mampostería de piedra serán construidos con piedras de distinto tamaño y forma. Si se requiere que la pared exterior del muro sea plana, estas piedras tendrán canteada una de sus caras.

La constitución de la piedra empleada deberá ser limpia, dura, tenaz, sin grietas o irregularidades visibles, ni señales de descomposición o desintegración. No se deberán usar piedras laminadas, porosas o con otra falla física, o cuya densidad sea inferior a 2500 kg/m^3. Se deberán escoger con caras preferentemente rectangulares quedando prohibidas las con forma de cuña.

La forma de las piedras a utilizar no deberá ser demasiado redondeada ni alargada y su tamaño será aproximadamente uniforme, con una dimensión máxima, medida en cualquier dirección, de 40 cm con un volumen máximo de 25 litros.

El muro se construirá colocando sucesivamente capas horizontales de piedras y entre las superficies de contacto, entre piedras, se empleará como elemento de unión un mortero de cemento de dosificación 1:3 en volumen, mezclado con betonera, debiendo encontrarse fresco al momento de su colocación.

No se aceptará agregar agua adicional para mejorar su docilidad una vez que este ya ha comenzado a endurecer. Luego de colocada cada capa de piedra, se humedece su superficie y se recubre con una

capa del mortero de 1 a 2 cm de espesor, sobre la cual se asienta la capa siguiente de piedras.

Finalmente, se procede a rellenar con mortero todos los espacios que no hayan quedado totalmente recubiertos, quedando las juntas ligeramente rehundidas. La separación máxima entre una piedra y otra será de 3 cm.

7.5.1.2 MUROS DE HORMIGÓN

Los muros de hormigón se deberán construir en conformidad al proyecto, debiendo estar constituidos por su fundación y el muro propiamente tal. Estos muros funcionan por gravedad, por lo que prima más su peso que su esbeltez y su diseño debe cuidar que el espesor del hormigón proyectado sea capaz de resistir las cargas por empuje de suelos u otras que puedan afectar su desempeño.

En la construcción de las fundaciones se debe emplear por lo menos un hormigón de resistencia cilíndrica G20, al que se puede agregar hasta un 20% de piedra desplazadora. Otras especificaciones para el hormigón deberán ser establecidas en las especificaciones técnicas del proyecto.

Para el vaciado y moldeo del hormigón fresco, se utilizarán moldajes que tengan la resistencia necesaria para soportar la presión transmitida por la masa de hormigón fresco. Deberán asegurar estanqueidad para evitar la filtración de lechada de cemento durante la colocación y vibrado del hormigón.

Se utilizará el hormigón que defina el proyecto, siendo como mínimo un hormigón de resistencia a la compresión cilíndrica a los 28 días de 25 MPa (G25), según la clasificación de NCh 170. La colocación se hará mediante capas, de una altura a definir según las propiedades de hormigón fresco a ser utilizado, permitiendo asegurar una adecuada operación de colocación, compactación y terminación, no dejando huecos, nidos de piedra u otros defectos indeseables.

Los moldes podrán ser retirados cuando el hormigón tenga la resistencia necesaria de 2 MPa, la que podrá ser definida por medio de método de madurez o por la utilización de probetas de ensayo especiales, para establecer la relación resistencia-madurez en un tiempo determinado. La faena de desmolde no deberá producir deterioro superficial al hormigón, por lo que en caso de que ocurra algún deterioro se deberá detener el desmolde y esperar a que el hormigón haya aumentado su resistencia. En el caso de hormigones a la vista, el valor de resistencia para el desmolde podría aumentar, con el fin de asegurar que no ocurrirá ningún daño en la superficie que posteriormente haya que reparar. Adicionalmente, se deberá considerar que:

- En caso de que no se determine la resistencia del hormigón, el desmolde se podrá realizar solo después de dos (2) noches desde que se haya hormigonado.
- En caso de que la temperatura media diaria sea menor a 10°C, el desmolde no se podrá realizar antes de tres (3) noches desde que se haya hormigonado.

Si una vez retirado el moldaje se detectan nidos de piedra en el hormigón de los muros, el contratista deberá demoler el tramo del muro que contenga el área afectada, siempre y cuando la irregularidad cruce el elemento o bien cuando su superficie supere 0,05 m^2. En caso contrario, se aceptará la reparación del muro mediante el relleno de las cavidades con mortero de cemento u otra técnica que asegure su correcta reparación.

En general, la sección transversal del muro será de forma trapecial y sus paramentos exteriores deberán quedar con la terminación que especifique el proyecto, considerando superficie lisa, estampada, áridos vistos, arquitectónica, entre otras posibles que indique el proyecto.

Para la evacuación de las aguas del relleno interior del muro o del subsuelo bajo el pavimento, el proyecto deberá considerar la instalación de barbacanas para la evacuación de aguas, las cuales deberán ser ubicadas a una determinada distancia entre sí, de acuerdo a las necesidades de escurrimiento del terreno. Con esto se evita la generación de presiones adicionales sobre el muro.

El control de calidad de los hormigones se regirá según NCh 170 y normas asociadas, incluyendo los criterios de métodos de ensayo y frecuencias de muestreo que corresponda.

7.5.1.3 MUROS DE HORMIGÓN ARMADO

El diseño del muro de hormigón armado deberá cumplir con las disposiciones del D.S. 60 de V. y U. de 2011 considerando las condiciones propias de durabilidad a las que podría estar expuesto el hormigón según NCh 170 y las cargas provenientes de empuje de suelos u otras a las que estará sometido el elemento. Adicionalmente, se podrán considerar las disposiciones del D.S. 61 de V. y U. de 2011, las que deberán ser verificadas para el diseño realizado.

Estos muros están constituidos por tres partes o elementos:

a. La zapata o fundación
b. El muro o pantalla
c. Los contrafuertes

En la construcción del muro existen varias etapas, que según su orden de prelación, son las siguientes:

a. Excavación de la zapata
b. Colocación de la armadura de la zapata
c. Colocación de la armadura del muro y de los contrafuertes e instalación de las barbacanas
d. Hormigonado de la zapata
e. Colocación del moldaje del muro
f. Hormigonado del muro
g. Extracción del moldaje
h. Relleno y terminaciones

Para definir el método de construcción del elemento y asegurar su calidad final, se deberá considerar las condiciones propias de su emplazamiento, los tipos de moldajes o uso de elementos prefabricados, la docilidad del hormigón, la facilidad de operaciones de compactación y terminación, entre otras.

Para la construcción del muro se deberá emplear el hormigón del grado que defina el proyecto, con un mínimo de resistencia a la compresión cilíndrica a los 28 días de 25 MPa (G25), según clasificación de NCh 170 y para las armaduras se emplearán barras de acero estriado para hormigón armado de calidad comercial para uso estructural, con una designación mínima de 280 MPa de fluencia, las que serán ubicadas según la disposición y cuantía que indique el proyecto. Se deberá considerar lo dispuesto en la NCh 204, en lo que se refiere al corte, doblado, empalme y colocación de las barras.

Para el vaciado y moldeo del hormigón fresco, se utilizarán moldajes que tengan la resistencia necesaria para soportar la presión transmitida por la masa de hormigón fresco. Deberán asegurar estanqueidad para evitar la filtración de lechada de cemento durante la colocación y vibrado del hormigón.

El hormigonado se hará mediante capas, de una altura a definir según las propiedades de hormigón

fresco a ser utilizado, permitiendo asegurar una adecuada operación de colocación, compactación y terminación, no dejando huecos, nidos de piedra u otros defectos indeseables.

Los moldes podrán ser retirados cuando el hormigón tenga una resistencia de 2 MPa, la que podrá ser definida por medio de método de madurez o por la utilización de probetas de ensayo especiales, para establecer la relación resistencia-madurez en un tiempo determinado. La faena de desmolde no deberá producir deterioro superficial al hormigón, por lo que en caso de que ocurra algún deterioro se deberá detener el desmolde y esperar a que el hormigón haya aumentado su resistencia. En el caso de hormigones a la vista, el valor de resistencia para desmolde podría aumentar con el fin de asegurar que no ocurrirá ningún daño en la superficie, que posteriormente haya que reparar. Adicionalmente, se deberá considerar que:

- En caso de que no se determine la resistencia del hormigón, el desmolde se podrá realizar solo después de dos (2) noches desde que se haya hormigonado.
- En caso de que la temperatura media diaria sea menor a 10°C, el desmolde no se podrá realizar antes de tres (3) noches desde que se haya hormigonado.

Si una vez retirado el moldaje se detectan nidos de piedra en el hormigón de los muros, el contratista deberá demoler el tramo del muro que contenga el área afectada, siempre y cuando la irregularidad cruce el elemento o bien cuando su superficie supere 0,05 m^2. En caso contrario, se aceptará la reparación del muro mediante el relleno de las cavidades con mortero de cemento u otra técnica que asegure su correcta reparación.

La faena de hormigonado se desarrollará sin interrupción entre juntas de dilatación indicadas en el proyecto.

El muro puede presentar sus dos paredes verticales, o bien una de ellas puede tener una ligera pendiente. Ambas superficies deberán ser terminadas según lo defina el proyecto, en base a hormigón visto, estampado, revestimientos, otra terminación arquitectónica, debiendo en cualquier caso cumplirse las especificaciones del proyecto.

Para la evacuación de las aguas del relleno interior del muro o del subsuelo bajo el pavimento, el proyecto deberá considerar la instalación de barbacanas para la evacuación de aguas, las cuales deberán ser ubicadas a una determinada distancia entre sí, de acuerdo a las necesidades de escurrimiento del terreno. Con esto se evita la generación de presiones adicionales sobre el muro.

El control de calidad de los hormigones se regirá según NCh 170 y normas asociadas, incluyendo los criterios de métodos de ensayo y frecuencias de muestreo que corresponda.

7.5.2 MUROS DE CONTENCIÓN SEGÚN FUNCIÓN DEL MURO

7.5.2.1 MUROS CANTILEVER

Son muros de hormigón armado compuestos por un cuerpo vertical que contiene la tierra y se mantiene en su posición gracias a la zapata o losa base. El peso del relleno y el peso del muro contribuyen a la estabilidad de la estructura. Pueden ser en forma de L o T invertida. Además pueden incluir contrafuertes, que corresponden a placas verticales delgadas que unen la losa base con el muro y permiten aumentar la rigidez de la estructura ayudando a trasmitir las cargas a la zapata.

7.5.2.2 MUROS GRAVITACIONALES

Son muros generalmente construidos de hormigón simple o mampostería de piedra (unidas con mortero), son de gran espesor y trabajan solo mediante su peso propio y su resistencia a la compresión.

7.5.2.3 MUROS DE CONTENCIÓN FLEXIBLES TIPO JAULA O CRIBA

Son muros de tierra formados por vigas entrelazadas las que forman un armazón o jaula que se rellena con suelo granular, la estructura actúa como un muro gravitacional. Generalmente son instalados en pendiente y las vigas son mayoritariamente de madera u hormigón prefabricado.

7.5.2.4 MUROS CON ANCLAJE ACTIVO

Son muros que logran su estabilidad a través de tirantes de acero postensados capaces de soportar los esfuerzos sobre el muro. De esta manera las fuerzas son transmitidas a zonas detrás de la zona activa del terreno donde el anclaje se fija por intermedio de un ducto mediante adherencia.

7.5.2.5 MUROS CON ANCLAJE PASIVO (SOIL NAILING)

Esta técnica consiste en reforzar el suelo mediante la introducción de anclajes pasivos que trabajan principalmente a tracción. Para la construcción del muro, el suelo se refuerza a medida que se realiza la excavación, en cada etapa se utiliza hormigón proyectado o mallas especiales para evitar desmoronamientos. Este proceso crea una sección reforzada del suelo que es capaz de retener el suelo existente detrás de ella. Como se mencionó, estos refuerzos son pasivos y desarrollan su acción mediante la interacción anclaje-suelo a medida que el suelo se deforma.

7.5.2.6 MUROS DE TIERRA ESTABILIZADOS MECÁNICAMENTE

Consisten en la estabilización de una masa de suelo mediante la inclusión de armaduras de refuerzo (metálicas o poliméricas) intercaladas entre capas de relleno granular seleccionado. Las armaduras son ubicadas generalmente horizontales y perpendiculares a placas prefabricadas unidas entre sí, las cuales dan la fachada exterior del muro. Los refuerzos introducidos mejoran las propiedades mecánicas de la masa de suelo producto de la interacción refuerzo-suelo y compensan la baja resistencia a la tracción de la masa de tierra.

ART. 7.6 LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO

En una obra de pavimentación urbana, la ejecución de losas de hormigón armado pueden ser necesarias para cruzar cursos de agua, encausar canales, esteros o acequias; sobre las cuales se emplazarán las obras de pavimentación y que permiten salvar el obstáculo que estos representan para la continuidad del pavimento de calzada o de acera. Su disposición puede ser complementada por la ejecución de muros de hormigón armado.

Se debe considerar en el proyecto que la misma losa de hormigón armado puede utilizarse como superficie de rodado o que, en algunos casos, se podría considerar la colocación de una estructura de pavimento sobre la losa.

En el proyecto de estructuras y construcción de las losas se debe atender las disposiciones entregadas en NCh 170, 431, 436 y el D.S. 60 de V. y U. de 2011. Los elementos componentes de este tipo de estructuras debe diseñarse conforme a las disposiciones del D.S. 60 de V. y U. de 2011, que deberán ser verificadas para el diseño realizado.

En la construcción de las losas de hormigón armado se empleará un hormigón de resistencia a la compresión cilíndrica de 30 MPa (G30), según la clasificación dada en NCh 170 y las barras serán de acero estriado de calidad mínima de 280 MPa de fluencia, según las disposiciones de la NCh 204 y que se cumpla en especial lo que se refiere al corte, doblado y empalme de las barras y a su colocación al efectuar el armado.

Para losas de dimensiones habituales en pavimentos urbanos, se han diseñado una serie de Láminas Tipo (Nº 7.9 a Nº 7.23 del Apéndice III), las que pueden ser utilizadas como referencia al proyecto estructural y de solución de pasadas. Sin embargo, estas obras deberán ser aprobadas por el proyecto estructural para establecer las condiciones propias del lugar de emplazamiento, tales como tipos de suelos y cargas de uso.

En las Láminas Tipo Nº 7.24 y Nº 7.25 se presenta además una losa de aproximación en acceso a puente.

Se deberá considerar que en canalizaciones de cierta longitud, será necesario proyectar la colocación de tapas removibles, a una distancia máxima determinada, para permitir la limpieza y revisión del cauce.

Para el vaciado y moldeo del hormigón fresco, se utilizarán moldajes horizontales con sistemas de puntales para su apoyo temporal, que tengan la resistencia necesaria para soportar la presión transmitida por la masa de hormigón fresco. Los moldes deberán asegurar estanqueidad para evitar la filtración de lechada de cemento durante la colocación y vibrado del hormigón.

ART. 7.7 VEREDAS DE HORMIGÓN

Se define como vereda a la parte pavimentada de la acera. Esta especificación se refiere a los elementos que serán construidos con hormigón in situ.

Estarán constituidas por una base granular debidamente compactada de por lo menos 5 cm, que será construida siguiendo las disposiciones dadas en el punto 3.4 de la Sección 3 para bases de pavimentos de hormigón y una capa de hormigón para circulación de 7 cm, o el espesor que defina el proyecto.

El hormigón a utilizar será de resistencia media a la compresión cilíndrica a los 28 días de 20 MPa (G20) según la clasificación de la NCh 170.

Se seguirán los métodos de construcción basados en las recomendaciones de construcción entregadas para pavimentos de hormigón, utilizando las herramientas de colocación, compactación, terminación y curado, indicadas en la Sección 4.

Las veredas de hormigón no se podrán dar al tránsito hasta que el pavimento obtenga una resistencia de por lo menos el 75% de la resistencia de diseño y según cuente con la aprobación de la fiscalización técnica de la obra.

Se debe considerar que si bien las veredas son solicitadas principalmente por cargas peatonales, en el caso de que se requiera la circulación de vehículos sobre ellas, como en accesos a propiedades privadas tales como viviendas unifamiliares, edificios de departamentos, estacionamientos, conjuntos habitacionales, condominios, locales comerciales u otros, que originen el paso frecuente de vehículos por la vereda desde o hacia la calzada adyacente, deberá realizar un diseño estructural del pavimento, asimilando este acceso a una vía tipo pasaje. Además, las veredas contiguas a estos accesos (ambos lados) deberán ser reforzadas, en una longitud mínima de 1 m, medido desde la parte más ancha del acceso, considerando espesores de hormigón e=0.10 m y de base estabilizada e=0.10 m.

ART. 7.8 EMPAREJAMIENTO DE ACERAS EN ZONAS SIN VEREDA

Consiste en la rectificación y alisado de la superficie de acera en donde no existan veredas. Estas labores se deben realizar para asegurar una superficie adecuada y segura para la circulación. También se incluyen en estas obras, los sectores donde existen bermas o bandejones en tierra, entre dos fajas de pavimento.

El emparejamiento de estas zonas deberá ejecutarse ya sea manualmente o con equipos. Es preciso, además de rectificar la superficie, efectuar una compactación, previo riego de dicha superficie. Se deberá considerar la extracción del material sobrante y su transporte a botadero.

ART. 7.9 SOLERAS HECHAS EN SITIO SOBRE CALZADAS DE HORMIGÓN

Este tipo de soleras se usa cuando por alguna restricción física o técnica no puedan usarse elementos prefabricados. Para su construcción se deberá utilizar hormigón de resistencia mínima a la compresión cilíndrica de 25 MPa (G25) y tamaño máximo de árido de 20 mm.

Se deberá anclar el hormigón colocado al pavimento de apoyo mediante fierros de anclaje y adhesivos epóxicos que aseguren su colocación y permanencia.

Para mayores detalles de esta aplicación y su especificación técnica (ver Lámina Tipo 6.1 del Apéndice III).

SECCIÓN 08

ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y RESTAURACIÓN DE PAVIMENTOS

SECCIÓN 08

SECCIÓN 08

ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y RESTAURACIÓN DE PAVIMENTOS

ART. 8.1 GENERALIDADES

Los pavimentos son diseñados para desempeñarse en forma óptima durante una cierta cantidad de años, los cuales se denominan "vida útil" del pavimento. Si bien este período de tiempo es un parámetro de diseño teórico, en la práctica los pavimentos se van desgastando de tal forma que muchas veces no son capaces de alcanzar la vida útil para la cual fueron diseñados, deteriorándose mucho antes de lo esperado.

Existen muchos factores que contribuyen al deterioro progresivo de los pavimentos, pero sin duda, los que tienen una mayor influencia son: los factores climáticos (variación de temperatura, precipitaciones, etc.) y las cargas del tránsito. Como estos factores no son controlables, se hace necesario aplicar sobre los pavimentos acciones que permitan disminuir o retardar la creciente tasa de deterioro generada por la constante influencia de estos factores.

A medida que los deterioros van aumentando su severidad, se reduce la serviciabilidad del pavimento y con esto, la seguridad de conducción para el usuario. Estos deterioros se clasifican según la característica que afectan, en funcionales y estructurales.

Deterioro funcional: es aquel que se relaciona con la calidad de la superficie del pavimento y afecta negativamente la serviciabilidad (confort y costo de operación del usuario) y la seguridad de circulación. Entre este tipo de deficiencias se encuentran: la rugosidad, fallas superficiales y pérdidas de fricción.

Deterioro estructural: es aquel que se origina por la pérdida de la capacidad estructural del suelo de fundación o de algunas de las capas que componen el pavimento. Este deterioro se puede manifestar en forma de deformaciones o agrietamientos.

Como se dijo anteriormente, los deterioros de un pavimento son progresivos, no aparecen espontáneamente, sino que son producto de un desarrollo en el tiempo, por lo tanto, su mayor o menor severidad depende del tiempo que han tenido para desarrollarse, bajo los efectos del tráfico y del clima. Tomando esto como principio de actuación, las acciones a aplicar a un pavimento se consideran como un proceso, en donde se aplican estrategias de conservación a corto plazo, de reparación a mediano plazo y de restauración a largo plazo, durante la vida útil del pavimento.

ART. 8.2 DEFINICIÓN DE ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y RESTAURACIÓN DE PAVIMENTOS

Las distintas estrategias que se apliquen a un pavimento durante su vida útil y la definición y propósito de cada una, dependen directamente del estado en que se encuentre el pavimento.

Las estrategias de conservación consisten en la ejecución de trabajos que tienen por objeto aumentar la capacidad de servicio del pavimento, sin modificar lo existente. Estos trabajos son los primeros que se realizan estando aún el pavimento en buen estado, con el propósito de conservar por un mayor tiempo las buenas condiciones funcionales y estructurales que tiene el pavimento en los primeros años de servicio.

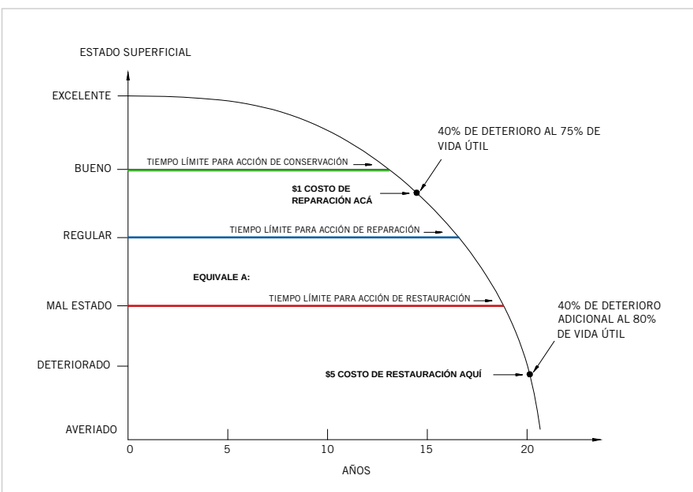
Las estrategias de reparación son aquellas que tienen como finalidad recuperar el deterioro ocasional sufrido por un pavimento. Estos trabajos siguen a los de conservación, ya que en algún momento los pavimentos comienzan a presentar defectos, producto del inevitable deterioro que los afecta. A través de estos trabajos se mejoran los defectos puntuales, evitando de este modo el aumento de la severidad de los daños, manteniendo las propiedades funcionales y estructurales dentro de rangos aceptables para los usuarios de la vía.

Finalmente, entre las últimas estrategias a aplicar durante la vida útil de un pavimento, están las de restauración, las cuales tienen por objeto reparar elementos para volverlos al estado o estimación original.

Es importante que se consideren los tiempos precisos para aplicar las distintas estrategias propuestas, ya que de ello depende que se logren mejoras reales en las propiedades funcionales y/o estructurales que se quieran mantener o reparar y además que la inversión económica sea rentable.

En la Figura 8.1 se muestra una curva típica de la tasa de deterioro de un pavimento. Se observa que 40% del deterioro ocurre al 75% de la vida útil del pavimento. Se sugiere que en este rango de tiempo se tome la decisión de aplicar alguna acción de reparación. También es posible observar que un gasto de $1 en acciones de reparación, cuando el estado del pavimento aún es bueno, se transforma en $5 para restaurar un pavimento ya deteriorado. Además se pueden identificar puntos en el estado superficial del pavimento, donde la aplicación de las distintas acciones es óptima. Por ejemplo: para aplicar una acción de conservación, se requiere que el estado del pavimento esté aún bueno.

FIGURA 8.1
CURVA DE DETERIORO DEL PAVIMENTO



Como se puede observar además en la Figura 8.1, el pavimento inevitablemente en algún momento de su vida útil llega a un punto donde pasa de un estado superficial regular a otro malo y es en este lapso de tiempo donde se aplican acciones de restauración para poder recuperar los estándares mínimos de confort y seguridad que provee la vía al usuario, antes que el pavimento se deteriore por completo y su única solución sea la reconstrucción.

ART. 8.3 PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN DE ACCIONES DE CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y RESTAURACIÓN

Las acciones que se aplican sobre el pavimento son función, principalmente del tiempo que ha transcurrido desde su construcción hasta el estado funcional y estructural en el que se encuentra. Para hacer una elección óptima de la acción a aplicar, es importante considerar una serie de factores que influyen en esta decisión. Básicamente se requiere de 5 datos principales de información:

Datos de Diseño: Para comenzar el análisis y tener una idea general del pavimento a tratar, se necesitan datos como los parámetros de diseño del pavimento, espesor de las capas, detalles sobre los componentes de la estructura del pavimento y detalles más específicos como tipo de junta, tipo de drenaje, etc.

Datos de Construcción: conocer la forma de construcción, tanto del pavimento como de elementos complementarios, como drenajes, alcantarillas, etc., puede explicar el origen del deterioro y, en base a esto, determinar un tipo particular de estrategia.

Datos de Tránsito: Este dato es necesario para evaluar el deterioro del pavimento y estimar el volumen y las cargas soportadas. Con este dato se ajustan las hipótesis asumidas al construir la vía y se comparan los deterioros reales con los proyectados, de modo que se tenga una idea más clara del comportamiento de la estructura.

Datos Climáticos: Las condiciones climáticas afectan considerablemente los pavimentos. Los gradientes de temperatura, las precipitaciones, humedad y posibilidad de congelamiento son factores importantes al momento de seleccionar la acción a aplicar, especialmente en los materiales que se utilizan.

Condición de Deterioro: Conocer en forma precisa la condición del deterioro de la infraestructura de la vía, permite aplicar políticas eficientes a lo largo del proyecto. Esto significa definir la severidad y cantidad de deterioro antes de seleccionar una estrategia. Para determinar el nivel de deterioro se aplican ensayos, tanto destructivos como no destructivos y junto a los datos definidos anteriormente, se pueden modelar los diferentes tipos de deterioro a lo largo de la vida útil del proyecto.

Las estrategias a aplicar en los distintos tipos de pavimentos dependen principalmente de los deterioros que los caracterizan, además del tipo de material que los componen, ya sea, rígido o flexible. Se anexan Láminas Tipo 8.1 y 8.2 en Apéndice III, en las cuales se presentan las especificaciones técnicas para la rotura y reposición de pavimentos de asfalto y hormigón.

En las secciones 9 y 10 se describen los principales deterioros que presentan los pavimentos urbanos rígidos y flexibles respectivamente, cuya clasificación y cuantificación resultan de la evaluación visual del pavimento. Además se describen las acciones de conservación, reparación y restauración que se pueden aplicar en cada caso.

ART. 8.4 EVALUACIÓN NO DESTRUCTIVA DE PAVIMENTOS

8.4.1 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL NO DESTRUCTIVA DE PAVIMENTOS CON EL DEFLECTOMETRO DE IMPACTO

8.4.1.1 GENERALIDADES

La medición de deflexiones ha sido usada ampliamente como una forma de evaluar la condición estructural de pavimentos tanto flexibles como rígidos.

La velocidad con que es posible evaluar el pavimento con equipos como el deflectómetro de impacto (FWD) presenta la gran ventaja de poder realizar un gran número de evaluaciones, evitando el cierre prolongado al tránsito y el costo de reposición que requieren los métodos destructivos para evaluar la misma cantidad de puntos.

Existen diversos tipos de equipos capaces de generar y medir deflexiones en el pavimento, los cuales se clasifican de acuerdo al tipo y magnitud de la carga aplicada en la superficie de la estructura, según el siguiente criterio:

- **Cargas Estáticas:** Estos equipos se caracterizan por medir la deflexión generada por una carga estática, generalmente producida por el eje de un camión.
- **Vibración Constante:** Las deflexiones son generadas por equipos vibratorios que aplican una carga dinámica sinusoidal además de una carga estática, con lo cual se logra que el pavimento se encuentre sometido a una carga de compresión.
- **Carga Impulsiva:** En esta categoría se incluyen todos aquellos equipos que aplican una fuerza transiente en la superficie del pavimento, como son las distintas variedades de deflectómetro de impacto. El principio básico de funcionamiento de estos equipos consiste en la aplicación de una carga sobre el pavimento, la cual se genera al dejar caer una masa desde distintas alturas (es decir, se varía la magnitud de la fuerza aplicada) y que resulta aproximadamente en una carga con forma de medio seno y con una duración entre 25 y 30 milisegundos. Lo anterior permite reproducir con mayor precisión que los equipos explicados anteriormente, la carga que ejercen sobre el pavimento los vehículos en movimiento.

8.4.1.2 TIPOS DE ENSAYOS EMPLEANDO DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO

Existen tres tipos de ensayo FWD, el ensayo base (cuenco de deflexiones), el ensayo de junta y el de esquina (los dos últimos solo en pavimentos de hormigón).

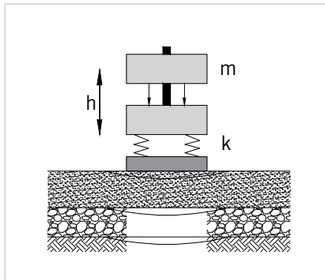
- **Ensayo Base:** se utiliza para evaluar la capacidad estructural de un pavimento, siendo también utilizado en materiales de base y subrasante.
- **Ensayo de Junta:** se usa para evaluar la capacidad de transferencia de carga en juntas y grietas, como también evaluar la presencia de huecos bajo pavimentos de hormigón.
- **Ensayo de Esquina:** tiene por objetivo evaluar la condición de las esquinas de una losa, y la presencia de huecos bajo estas. Las esquinas son las zonas que están sometidas a la mayor solicitación de tensiones.

8.4.1.3 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL EQUIPO

El deflectómetro de impacto es un equipo capaz de aplicar una carga dinámica impulsiva en la superficie del pavimento, la cual se asemeja en magnitud y duración a la carga aplicada por los vehículos en movimiento. Las deflexiones generadas en la superficie del pavimento por la carga aplicada se miden con sensores ubicados bajo la carga y a distintas distancias de ella.

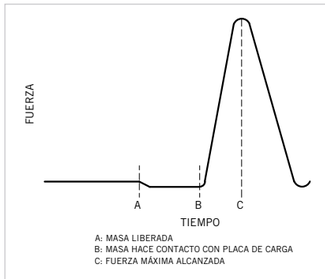
La principal característica de operación de estos equipos, es la generación de la carga transiente a través de una masa que se deja caer desde una altura predeterminada, sobre una placa de carga conectada a resortes. En la Figura 8.2 se muestra un esquema de la masa, la altura de caída y la placa de carga amortiguada con resortes, elementos comunes a todos los deflectómetros de impacto.

FIGURA 8.2
ESQUEMA EN ELEVACIÓN DEL SISTEMA DE CARGA DE UN FWD



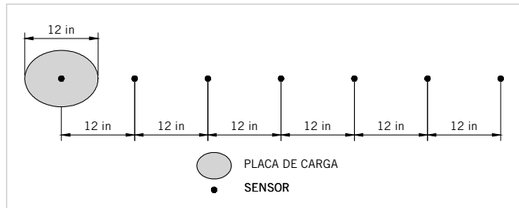
La forma de la fuerza que se aplica al pavimento, se esquematiza en la Figura 8.3 y se aproxima a la mitad de una función seno, con una duración entre 25 ms y 30 ms.

FIGURA 8.3
CARGA DE IMPULSO TÍPICA GENERADA POR UN FWD



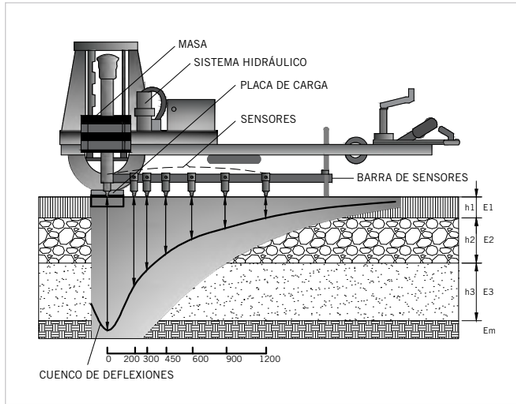
Las deflexiones verticales máximas producidas por la carga se miden con sensores de deflexión ubicados inmediatamente bajo la carga y a distintas distancias de ella, tal como se muestra en la Figura 8.4:

FIGURA 8.4
DISPOSICIÓN DE PLACA DE CARGA Y SENSORES DE DEFLEXIÓN EN UN FWD



En la Figura 8.5 se muestra un esquema tipo de la configuración de un deflectómetro de impacto y del cuenco de deflexiones generado por la carga.

FIGURA 8.5
DISPOSICIÓN DE PLACA DE CARGA Y SENSORES DE DEFLEXIÓN EN UN FWD



8.4.1.4 FACTORES QUE AFECTAN LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON FWD

Existen tres factores fundamentales que influyen en las deflexiones que presenta un pavimento, al ser evaluado con un equipo no destructivo como el deflectómetro de impacto. Estos factores son: la carga aplicada, las condiciones climáticas y las condiciones del pavimento.

8.4.1.5 SECUENCIA DEL ENSAYE

Se recomienda el siguiente procedimiento para realizar una campaña de ensayos completa con FWD.

a. Determine las variaciones de los tipos de pavimento dentro de los límites del proyecto. Desarrolle una planificación de ensayos separada para cada tipo de pavimento.

b. Determine los atributos del proyecto, ya que estos influencian la planificación de los ensayos. Es muy útil preparar un esquema del proyecto que identifique al menos todos los cambios de pavimento, las intersecciones a nivel o desnivel, las pistas de viraje, los puentes, áreas de servicio, tipos de bermas, etc.

c. Determine el tamaño de cada atributo del proyecto, lo que le permite estimar las demandas de ensayos FWD requeridas para el proyecto, basadas en el supuesto que se pueden realizar aproximadamente 150 ensayos por día.

d. Determine la geometría del proyecto, pues ella influencia la ubicación de los puntos por ensayar, ya que hay que tener en cuenta los aspectos relacionados con el flujo y seguridad del tránsito durante los ensayos.

e. Determine las secciones de ensayo. Utilice la información recopilada en las etapas precedentes para elegir las secciones a evaluar con FWD. Los largos de las secciones y la geometría del proyecto determinan la configuración de los puntos de ensayo.

f. Determine el tipo de ensayo FWD a realizar en cada sección (base, de esquina o de junta). La siguiente tabla indica las características de los ensayes, según tipo de pavimento y objetivos del estudio:

TABLA 8.1
CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYE SEGÚN TIPO DE PAVIMENTO Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

PAVIMENTO	ENSAYO	PLATO DE CARGA [mm]	UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE ENSAYO
Flexible	Base	300	Huella derecha o paño.
Rígido	Base	300	Centro de losa.
	Junta	300	Huella derecha.
	Esquina	300	Esquina / En juntas.
Subrasante / Base Granular	Base	300	Huella derecha.

g. Defina un número que caracterice el ensayo, de manera de disponer de información relativa al tipo de ensayo, tipo de pavimento y espaciamiento de sensores utilizado. Anote las características de la estructura del pavimento que está siendo evaluada (espesores, tipos de capas que lo constituyen, características del suelo de fundación, etc.).

h. Determine el espaciamiento de ensayo con FWD para cada sección del proyecto.

i. Configure el sistema de recolección de datos del FWD para satisfacer los requerimientos establecidos por el proyecto.

j. Realice las mediciones en terreno, registrando la temperatura ambiente y de la superficie del pavimento en forma regular.

8.4.2 EVALUACIÓN FUNCIONAL NO DESTRUCTIVA DE PAVIMENTOS

Los problemas funcionales del pavimento se relacionan principalmente con la calidad de la superficie de este, afectando negativamente la serviciabilidad (confort y costo de operación del usuario) y la seguridad de circulación. Entre este tipo de deficiencias se encuentran la rugosidad y pérdida de fricción.

8.4.2.1 RUGOSIDAD (REGULARIDAD)

8.4.2.1.1 DEFINICIÓN

La rugosidad se define como las irregularidades en la superficie del pavimento que afectan adversamente a la calidad de rodado, seguridad y costos de operación de los vehículos.

8.4.2.1.2 INDICADOR DE RUGOSIDAD

Para medir la rugosidad de un pavimento, existe un índice denominado IRI (Índice de Rugosidad Internacional), el cual es un indicador estadístico de la irregularidad superficial del pavimento. Al igual que otros indicadores, representa una forma de cuantificar la diferencia entre el perfil longitudinal teórico (recta o parábola continua perfecta, IRI = 0) y el perfil longitudinal real existente en el instante de la medida.

El IRI se define usualmente de la siguiente forma: “El IRI es la medida de la pendiente rectificada (razón entre el desplazamiento vertical acumulado y la distancia recorrida) del perfil filtrado, mediante el modelo de cuarto de coche normalizado (Golden Quarter Car), para una velocidad de 80 km/h, en la longitud de análisis”.

El perfil real de una vía recién construida tiene un estado cero, definido por su IRI inicial mayor que 0, debido a condicionantes constructivas. Una vez puesta en servicio, la geometría del pavimento se modifica lentamente en función del paso del tránsito, evolucionando hacia valores más elevados del IRI (mayores irregularidades).

El IRI se determina mediante un cálculo matemático realizado con las ordenadas o cotas de una línea del perfil longitudinal, obtenidas por cualquier técnica o equipo de medida del perfil longitudinal. Las consideraciones más importantes sobre el IRI son:

a. Su principal ventaja reside en que el IRI es un modelo matemático cuyo resultado es independiente de la técnica o equipo con el que se haya obtenido el perfil.

b. Para el cálculo del IRI es importante considerar la representatividad de las ordenadas que se introducen, es decir, la confiabilidad de la técnica o equipo con el que se obtiene el perfil y la frecuencia del muestreo del mismo.

c. La precisión de los equipos de medida de la irregularidad superficial, es uno de los temas más delicados y complejos de decidir y valorar.

8.4.2.1.3 MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD

La rugosidad de un pavimento se puede medir con muchos equipos que se encuentran disponibles en el mercado, los cuales se diferencian principalmente por el rendimiento y precisión que poseen. Estos equipos son clasificados, según el Banco Mundial, en 4 categorías, que se basan en la proximidad de las mediciones de rugosidad con el valor IRI.

En pavimentos urbanos, para las mediciones de IRI, es recomendable utilizar los equipos que cumplen con la clasificación de los equipos clase 1, clase 2 y clase 3.

a. Clasificación de Equipos

- Clase 1: Perfiles de Precisión

  Esta clase representa los más altos niveles de precisión para medir el IRI. Requiere que el perfil longitudinal de una vía sea medido como una serie de puntos de elevación equidistantes a través de la huella o rodera de dicha vía para calcular el IRI. Es recomendable que esta distancia no supere los 0,25 m y que la precisión en la medición de la elevación sea de 0,5 mm para pavimentos que posean valores de IRI entre 1 y 3 m/km y de 3 mm para pavimentos con valores de IRI entre 10 y 20 m/km.

- Clase 2: Otros Métodos Perfilométricos

  Este grupo incluye otros métodos que basan el cálculo del IRI en la medida del perfil longitudinal, pero que no tienen la exactitud de los de Clase 1. Esta clase también comprende medidas tanto con perfilómetros de alta velocidad como con métodos estáticos que no satisfacen los criterios de precisión y exactitud, como para ser considerados de Clase 1.

  Requieren una frecuencia de puntos de perfil, no superior a 0,5 m y una precisión en la medición de la elevación comprendida entre 1,0 mm, para pavimentos que posean valores de IRI entre 1 y 3 m/km, y 6,0 mm, para pavimentos con valores de IRI entre 10 y 20 m/km.

- Clase 3: Estimación de IRI Mediante Ecuaciones de Correlación

  La obtención del perfil longitudinal se hace mediante equipos tipo respuesta, los cuales han sido calibrados previamente con Perfilómetros de precisión mediante ecuaciones de correlación.

- Clase 4: Estimaciones Subjetivas y Mediciones no Calibradas

  Incluyen mediciones realizadas con equipos no calibrados, estimaciones subjetivas con base en la experiencia en la calidad de viaje o inspecciones visuales de las vías.

b. Medición con Equipos

Existen dos categorías de equipos para medir las irregularidades del perfil longitudinal con el máximo nivel de precisión, que se diferencian solo por la velocidad con que miden (rendimiento) y no por la precisión con que lo hacen. Los más conocidos son los que se indican a continuación, sin perjuicio que puedan existir otros que cumplan con los requisitos exigidos a una u otra categoría.

- Equipos de Alto Rendimiento
  - ◊ Perfilómetro Óptico
  - ◊ Perfilómetro Láser
- Equipos de Bajo Rendimiento (Portátiles)
  - ◊ Nivel y Mira (Topográficos)
  - ◊ Perfilómetro Transversal (Viga)
  - ◊ Perfilómetro Portátil (Merlín)

Pueden incluirse en estas categorías, otros equipos que cumplan los requisitos exigidos. Además existen equipos para medir la rugosidad de los pavimentos que no funcionan en base a la medición del perfil, entre los que se puede citar los equipos de tipo respuesta.

c. Medición con Equipo Clase 3

Se describe el procedimiento para determinar la rugosidad superficial de pavimentos asfálticos, de hormigón y, eventualmente, de otros tipos de capas de rodadura, utilizando el equipo Clase 3, específicamente el equipo Merlín.

Procedimiento de Medición

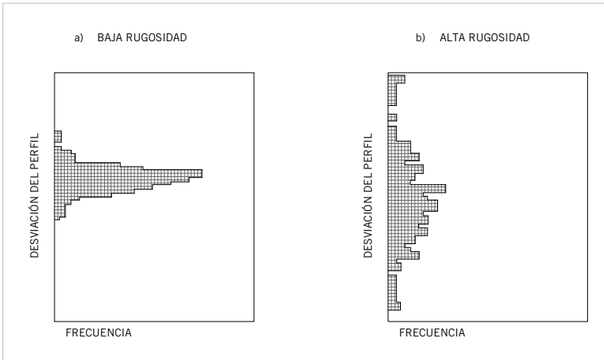
Sobre la placa o pantalla del instrumento se fija una hoja de papel milimetrado, de modo que el puntero se desplace sobre el borde de la hoja. En la planilla se registran los datos de la vía, fecha y hora de medición y el operador. Además, se señala la pista, la huella, el punto inicial y el largo del tramo evaluado.

Para evaluar una rugosidad, se procede a recorrer la huella de medición registrando en la planilla la posición que marca el puntero en cada detención. Para determinar la rugosidad de un tramo de calle, se realizan 200 mediciones a intervalos regulares, esto quiere decir, una a cada revolución de la rueda. En cada detención, el instrumento se encuentra apoyado en la rueda delantera (en posición normal), la barra trasera y la pata lateral. El patín central descansa, por su propio peso, sobre el pavimento.

Una vez registrada la lectura, se procede a actualizar el control de los puntos medidos, marcando uno de los casilleros previstos para este efecto, dentro de la hoja de registro.

Cuando se completan 200 mediciones, se retira la planilla (en la que se ha formado un histograma de frecuencias con la forma de una distribución normal) desde su posición en el Merlín y se procede al cálculo de la rugosidad, como se explica a continuación:
La Figura 8.6 presenta dos ejemplos de la apariencia que tienen los histogramas que resultan al utilizar el instrumento Merlín. El primer gráfico corresponde a un pavimento de rugosidad baja, en torno a IRI 2,5 m/km. El segundo gráfico, con mucha mayor dispersión, representa la rugosidad de un pavimento con IRI cercano a 7,2 m/km.

FIGURA 8.6
EJEMPLOS DE HISTOGRAMAS DE MERLÍN

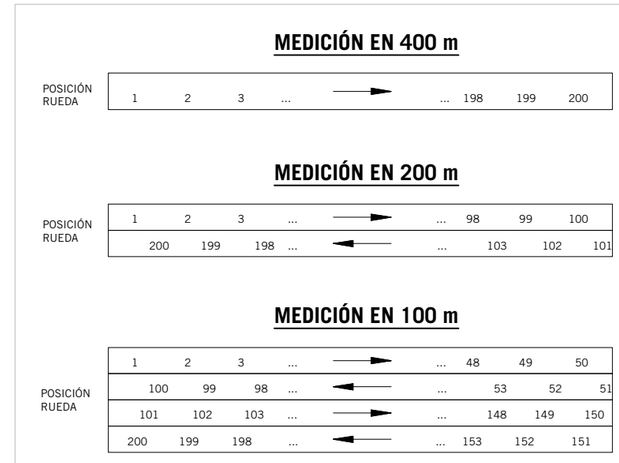


Medición de Tramos de Diferente Longitud

En la evaluación más simple, un ciclo de medición corresponde a 200 vueltas de rueda, en que el instrumento avanza en una misma dirección, pero es posible que se desee obtener una evaluación de la rugosidad para tramos de menor longitud. Para ello se establece procedimientos alternativos que permitan evaluar la rugosidad en tramos de 100 o 200 metros.

Estos procedimientos consisten en invertir el sentido de avance del instrumento cada vez que se completa esa distancia, desfasando además el punto inicial al invertir la marcha, de modo de obtener puntos de medición equidistantes y sin repetición. En la Figura 8.7 se presenta la secuencia y posicionamiento de los puntos de medición para tales evaluaciones. Es importante mencionar que las mediciones son realizadas sobre la misma huella, es decir, el instrumento recorre por donde mismo el tramo en los dos sentidos. En esta figura se intenta mostrar que para la medición en 200 m el desfase es de media vuelta de rueda, que se aplica al cambiar el sentido de avance. Para la medición en 100 m, el primer desfase es media vuelta de rueda, el segundo es de un cuarto de vuelta de rueda y el tercero es media vuelta de rueda. De esta manera, se consiguen puntos de medición equidistantes.

FIGURA 8.7
SECUENCIA Y POSICIONAMIENTO PARA LECTURAS MERLÍN EN TRAMOS DE DIFERENTE LONGITUD



8.4.2.1.4 CÁLCULO DE LA RUGOSIDAD

El cálculo de la rugosidad se realiza a partir del histograma obtenido con el instrumento. Se procede a hacer una marca hacia los extremos del histograma, en las posiciones que resultan de eliminar 10 mediciones a cada lado, aquellas que más se alejan del promedio. Estas marcas que se hacen en la base de las columnas pueden no resultar exactamente en la frontera entre ellas y, en este caso, se interpola. El espaciamiento o distancia entre estas dos marcas “D”, es una medida en milímetros y corresponde a la rugosidad en escala Merlín.

La interpolación en el interior de una columna corresponde a la proporción entre marcas eliminadas y la cantidad total de marcas en esa columna. Finalmente, la rugosidad en términos del IRI se determina usando las ecuaciones descritas a continuación:

a. Rugosidad en Escala IRI

Para pavimentos urbanos, tanto de hormigón como de asfalto, se emplea la siguiente ecuación de correlación:

$$IRI = 0.053 \cdot D \cdot \left({}^{50}\!/_{D_0} \right)$$

Donde:

- IRI en m/km y D en mm.
- Válida para 21 mm< D < 196 mm (1,1 < IRI < 10,4).

El resultado se obtiene con un error estándar de 0,49 m/km en el cálculo del IRI, comparado con el medido con el perfilómetro óptico.

b. Precisión de la Medición

La principal causa de la imprecisión en el uso del Merlín, es que las medidas del IRI en una sección se obtienen a partir de una muestra de observaciones y están sujetas al error muestral aleatorio. Lo que puede hacerse para reducir este error es repetir más observaciones en la sección.

En el mismo sentido, el registro de medidas del Merlín se lleva con una precisión de lectura de 1 cm, lo que implica aceptar una aproximación de ±5 mm. Por otra parte, esa variación de 5 mm en la planilla de registro equivale a una variación de cota, en la rasante, de 0,5 mm (o de 1 mm si se utiliza el factor de amplificación 1:5 en vez del 1:10 normal, desplazando la sonda en el patín de apoyo).

El error posible de ± 5 mm en el registro, implica, considerando las curvas de calibración descritas, un error en IRI de:

$$5 * 0{,}0532 = 0{,}27 \text{ [m/km]}$$

El valor anterior puede considerarse un error máximo propio del método de registro, dado que supone que se han registrado las 200 medidas con el sesgo (error), en el sentido más desfavorable.

En cuanto a la resolución del registro, la planilla con papel milimetrado permite apreciar con absoluta seguridad lecturas de ±1 mm. Este valor engloba las posibles variaciones en la posición del puntero, debido a vibraciones del brazo o en la posición de lectura adoptada por el operador. En la escala de lectura normal (ampliación 1:10), dicha resolución corresponde a una variación de cota de 0,1 mm en la rasante.

c. Calibración del Equipo

Para efectos de evaluar las posibles variaciones individuales debido a tolerancias constructivas, así como para controlar regularmente la calibración del equipo, se utiliza el siguiente procedimiento:

- Colocar el Merlín en su posición normal de lectura, con su apoyo central descansando libremente, sobre una superficie plana. Las baldosas pulidas son un buen ejemplo de dicha superficie.
- Registrar la posición del puntero sobre la placa o pantalla, en que se ha fijado previamente una hoja de papel milimetrado. Esta posición se estima al mm de precisión.
- Insertar una placa metálica de espesor conocido, bajo el apoyo central, sin desplazar el equipo, es decir, manteniendo inmóviles los apoyos delantero y trasero. Se recomienda usar un calibre de 5 mm.
- Registrar la nueva posición del puntero en la hoja de papel, con precisión de un milímetro.
- Medir la distancia D_0 entre las posiciones registradas con y sin calibre. Esta distancia puede obtenerse directamente en el papel milimetrado, entre ambas marcas.
- Por razones de diseño el equipo registra un valor igual a 10 veces el espesor del calibre (en la posición normal de amplificación). Si se ha usado un calibre de 5 mm, la amplificación debería mostrar un valor D_0 = 50 mm. Si el valor D_0 obtenido es diferente, se corrige la medición de D, en la curva de correlación con el IRI, por un factor (10*esp. calibre/ D_0), de manera de incorporar la verdadera amplificación del brazo.

Por otro lado, si cuando se mide un pavimento muy rugoso, más de 10 lecturas resultaran en los extremos del rango permitido al movimiento del puntero, conviene cambiar la sonda del apoyo central a otra posición permitida. Esta segunda posición está al doble de distancia del pivote y reduce la amplificación mecánica del brazo de 10 a 5 veces, modificando a la mitad el ancho de la distribución. El valor de la lectura final D se corrige usando el factor de calibración (5*esp. calibre/ D_0) que resulta del procedimiento descrito más arriba.

8.4.2.2. PÉRDIDA DE FRICCIÓN

8.4.2.2.1 DEFINICIÓN

La fricción de un pavimento es un parámetro que se relaciona directamente con la adherencia entre el neumático y la superficie, lo que se interpreta como la resistencia que entrega la superficie al deslizamiento de los neumáticos de un vehículo. Por esta razón, la fricción se considera como un parámetro fundamental para la seguridad vial. Para que el pavimento entregue la seguridad necesaria a los usuarios de las vías, es recomendable que exista en su superficie, un adecuado nivel de fricción, lo cual implica la existencia de un equilibrio o relación óptima entre la micro y macrotextura superficial del pavimento, ya que ambas, intervienen directamente en la adherencia neumático–superficie.

La microtextura se relaciona directamente con la adherencia neumático-pavimento y corresponde a la textura superficial proporcionada por la superficie de los agregados pétreos, los cuales pueden presentar características de tipo áspero o pulida. En general, los áridos utilizados en el país, por su mayor dureza, presentan un menor desgaste o pulimiento.

La macrotextura en cambio, se relaciona con la evacuación de agua y la percepción del ruido, se refiere a la textura superficial del pavimento, proveniente del efecto conjunto de las partículas de los agregados pétreos que sobresalen de la superficie. En este caso, las propiedades de la macrotextura están dadas por el tipo de mezcla que exista en la superficie. En el caso de mezclas drenantes o tratamientos superficiales, la macrotextura es del tipo grueso, mientras que en el caso de mezclas densas convencionales, la macrotextura es más bien fina.

La disminución o perdida de fricción se produce como consecuencia de una disminución combinada, tanto de la macrotextura como de la microtextura superficial del pavimento, debido al progresivo e inevitable desgaste y pulimiento de la superficie, producto, principalmente, del tránsito vehicular.

TABLA 8.2
RANGOS DE DIMENSIONES DE MICROTEXTURA, MACROTEXTURA Y MEGATEXTURA

NOMBRE	RANGO DE DIMENSIONES	
	horizontal	vertical
MICROTEXTURA	0-0,5mm	0-0,2mm
MACROTEXTURA	0,5-50mm	0,2-10mm
MEGATEXTURA	50-500mm	1-50mm

FIGURA 8.8
MICROTEXTURA Y MACROTEXTURA

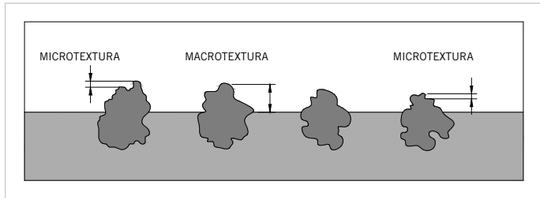


FIGURA 8.9
MICROTEXTURA Y MACROTEXTURA

TIPO DE SUPERFICIE	CLASES DE TEXTURA	
	MACROTEXTURA	MICROTEXTURA
	GRUESA	ÁSPERA
	GRUESA	PULIDA
	FINA	ÁSPERA
	FINA	PULIDA

8.4.2.2.2 MEDIDA DE LA TEXTURA

a. Caracterización de la Macrotextura

Se utilizan principalmente 2 procedimientos:

1) Método Volumétrico, Círculo de Arena

Sirve para determinar medidas puntuales de la macrotextura (gruesa o fina). Consiste en extender sobre la superficie de un pavimento un volumen determinado de arena fina uniforme, de manera de formar un círculo que cubra la mayor área posible al enrazar los puntos más altos de los agregados. Con la medida del diámetro del círculo, se determina el área, dividiendo el volumen de arena utilizada por el área cubierta, obteniendo la denominada "profundidad media de textura" (H). Mientras mayor es este valor, más rugosa es la macrotextura.

El ensayo es útil para valores de textura superiores a 0,25 mm y se lleva a cabo con el pavimento seco y limpio y en días sin viento. Cuando se trata de determinar el nivel de cumplimiento de la especificación de textura de un pavimento nuevo, se recomienda realizar el ensayo antes de la apertura al tráfico.

2) Perfilómetro Láser

Equipo capaz de entregar diversos parámetros, entre ellos se pueden nombrar: IRI, ahuellamiento y textura. Este tipo de equipo existe en gran variedad, pero difieren en la cantidad de láseres que llevan incorporados. Se pueden destacar los tipos remolque implementados sobre un vehículo, con la conexión computacional correspondiente. Suele actuar proyectando un rayo sobre un punto del pavimento y un receptor, situado en ángulo respecto al láser, registra la altura de ese punto sobre el pavimento.

b. Caracterización de la Microtextura

Se utilizan principalmente 3 métodos:

1) Péndulo Británico

El Péndulo Británico tiene por objeto obtener un coeficiente de resistencia al deslizamiento (C.D.R) que, manteniendo una correlación con el coeficiente físico de rozamiento, valora las características antideslizantes de la superficie de un pavimento. Este ensayo consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas (provisto en su extremo de una zapata de goma), cuando la arista de la zapata roza, con una presión determinada, sobre la superficie a ensayar y en una longitud fija. Esta pérdida de energía se mide por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo.

2) Grip Tester

El grip tester es un equipo que tiene por objeto medir la resistencia al deslizamiento de un pavimento. La medición la realiza mediante un neumático de goma liso normalizado, con rueda parcialmente bloqueada al 15%, sobre el pavimento mojado (0,25 mm de película de agua). La carga y la resistencia al avance se miden continuamente y su cociente, el coeficiente de rozamiento, se procesa, guarda y visualiza en un computador portátil ubicado en el interior del vehículo remolcador.

3) Scrim

El Scrim es un equipo de medición de tipo dinámico de rueda oblicua, destinado a medir la resistencia al deslizamiento en dirección transversal. El principio de medición de operación de la máquina se basa en la aplicación de una fuerza vertical constante sobre la rueda de ensayo (que esta desviada 20º con respecto al eje longitudinal del Scrim).

Se dispone de un chorro de agua controlado, inmediatamente antes del frente de la rueda de ensayo. De este modo, se conforma una película de agua de espesor aproximadamente uniforme sobre la superficie del pavimento por la cual circula la rueda de medición. La rueda de medición gira libremente, de manera tal que pueda deslizar por la superficie del pavimento en dirección contraria a la de la inyección del chorro de agua. La fuerza resistente al deslizamiento está relacionada con la resistencia al deslizamiento en condición húmeda, con lo cual el equipo calcula el coeficiente de fuerza lateral, como el cociente entre la fuerza perpendicular al plano de rotación de la rueda, respecto de la carga vertical que actúa sobre ella.

El modelo actualizado del Scrim incluye una cámara láser que permite obtener la macrotextura en el mismo punto.

8.4.2.2.3 ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL (IFI)

Con el fin de correlacionar los numerosos equipos y métodos que se utilizan para evaluar la resistencia al deslizamiento y la macrotextura, se propuso un experimento, del cual se extrajeron constantes que permiten correlacionar los equipos y, de este modo, llegar a la obtención de un índice que permita describir, cuantitativa e independientemente del equipo utilizado, las condiciones superficiales de cualquier pavimento.

Este Índice es el IFI (Índice de Fricción Internacional), el cual se expresa por dos números entre paréntesis separados por coma: **(F, M)**.

Donde:
F: es un número comprendido entre cero y uno, que cuantifica la fricción del pavimento y es adimensional (el valor cero de fricción indica desplazamiento perfecto y el valor uno adherencia perfecta).

M: es un número positivo sin límites determinados, que cuantifica la macrotextura y se expresa en unidades de velocidad [Km/h].

a. Procedimiento para calcular el IFI

Para obtener el IFI se precisa, en primer lugar, realizar dos tipos de medidas sobre el pavimento: una de fricción (FR) y otra de textura (Tx). Una vez obtenidas las medidas de los equipos, se expresan en formato IFI, de acuerdo con lo que sigue:

a.1) Características generales para la determinación del IFI

El Índice de Fricción Internacional (IFI) relaciona la fricción de un pavimento con la velocidad de deslizamiento de un vehículo sobre él. El modelo es de tipo exponencial y se describe en función de una constante (FR_{60}) referida a la velocidad de deslizamiento de 60 km/h. La ecuación queda de la siguiente manera:

$$FR(S) = FR_{60} * e^{\frac{60-S}{S_p}}$$

La ecuación anterior, permite convertir la medida de fricción, FRS, realizada a cualquier velocidad (S) a la medida de la fricción a 60 km/h, FR_{60}. Por lo tanto, si ese pavimento se ensaya con otro equipo, se obtiene otra curva de fricción-deslizamiento, que puede estar próxima o alejada de la curva del primer equipo. Es por esto que su campo de aplicación está restringido a la utilización del mismo equipo y a la "experiencia" acumulada en la interpretación de sus datos.

Para mejorar esta situación y estandarizar o armonizar las medidas de los equipos, se llevó a cabo el experimento internacional, y con sus resultados se estableció el procedimiento que permite ajustar las curvas de cada equipo alrededor de una curva de referencia o Golden Values, GF(S), que representa la función fricción–velocidad de deslizamiento "real" de un pavimento.

$$GF(S) = GF_{60} * e^{\frac{60-S}{GS}}$$

El proceso de armonización permite establecer para cada equipo la fricción de referencia estimada a 60 km/hora, F_{60}, que presumiblemente se encuentra cerca del valor "real", GF_{60}. Para ello, se mide primero la fricción con un equipo y velocidad determinado FRS; segundo se estima la fricción medida a 60 km/hora (FR_{60}) y como tercer paso, se estima la fricción armonizada o de referencia (F_{60}) por medio de la siguiente fórmula, donde A y B fueron determinados para los diferentes equipos utilizados para medir fricción:

$$F_{60} = A + B * FR_{60}$$

Durante la elaboración del modelo, y a partir de los datos del experimento, se ha comprobado que la constante Sp de la velocidad de referencia se puede determinar mediante una regresión lineal, con una medida de la macrotextura, Tx:

$$Sp = a + b * Tx$$

Por definición, la pareja de valores (F_{60}, Sp) se designa como el IFI de un pavimento. Su conocimiento permite dibujar la curva de referencia estimada de fricción–velocidad de deslizamiento del pavimento.

$$F(S) = F_{60} * e^{\frac{60-S}{Sp}}$$

Finalmente, el IFI se puede describir como una escala de referencia que relaciona la fricción con la velocidad de deslizamiento, modelo que sirve para estimar la constante de referencia de velocidad (Sp) y la fricción a 60 Km/h (F_{60}) de un pavimento. El par de valores (F_{60} y Sp) expresan el IFI de un pavimento y permiten calcular el valor de fricción F(S), a cualquier velocidad de deslizamiento (S).

a.2) Pasos para el Cálculo del IFI

I) Determinación de la Constante de Velocidad, Sp.

Para llevar a cabo la determinación de la curva fricción-deslizamiento, FR(S), se necesita una medida de la macrotextura, Tx, con cualquier sistema, como por ejemplo: mancha de arena, perfilómetro láser, entre otros. Con este valor se calcula Sp con la siguiente expresión:

$$Sp = a + b * Tx$$

Los valores a y b son los que se presentan a continuación en la Tabla 8.3.

TABLA 8.3
VALORES DE A Y B PARA ESTIMAR S_p

	CONSTANTE	
PRUEBA	***a***	***b***
Círculo de arena	-11,5981	113,632
Perfilómetro Láser	25,8322	139,68

II) Determinación de la fricción de referencia, F_{60}.

a. Medición de la fricción con cualquier equipo, ejemplo: Péndulo, Scrim, Grip tester, etc.

ii. Se establece el tipo de equipo empleado.

iii. Se determina la constante de velocidad del equipo, S. Esta constante adquiere distintos significados de acuerdo al tipo de equipo empleado:

- S = Velocidad del equipo durante el ensayo, para equipos con rueda bloqueada.
- S = Velocidad del equipo durante el ensayo multiplicada por el deslizamiento, expresado en tanto por uno, para equipos con rueda parcialmente bloqueada.
- S = Velocidad del equipo durante el ensayo multiplicada por el seno del ángulo de deriva, para equipos con rueda oblicua.

b. Determinación de la Constante FR_{60}.

Se determina el valor de la constante FR_{60} a partir del valor de la medida realizada, FRS, mediante la expresión:

$$FR_{60} = FRS * e^{\frac{S-60}{Sp}}$$

c. Determinación de la fricción de referencia F_{60}. Se obtiene el valor a partir de la siguiente expresión:

$$F_{60} = A + B * FR_{60} + CTx_m$$

Los valores A, B y C se obtienen de la Tabla 8.4, la cual se muestra en la siguiente página.

TABLA 8.4
CONSTANTE A, B Y C PARA DETERMINAR F_{60}

NEUMÁTICOS LISOS		Clave	S	A	B	C
Características	Equipo		Km./h	Cte.	Cte.	Cte.
Rueda Bloqueada	ASTM E 274 (USA)	B6	65	0.045	0.925	0
	LCPC Skid Trailer (F)	D6	60	0.002	1.008	0
Rueda Parcialmente Bloqueada	OSCAR a 86% (N)	B4E	52	- 0.03	0.864	0
	OSCAR a 20% (N)	B4E	12	0.119	0.643	0
	Komatsu skid Trailer (J)	C5	10	0.042	0.849	0
	DWW Trailer (NL)	C6E	43	0.019	0.868	0
	Griptester (UK)	D8	9.4	0.082	0.910	0
Rueda Oblicua	Stradograph (DK)	C9	12.5	0.054	0.770	0
	Odoliograph Wallon (B)	C10	12.9	0.113	0.729	0
	Odoliograph CRR (B)	D1E	20.5	0.113	0.746	0
	Scrim Flemish (B)	C3B	20.5	0.049	0.967	0
	Scrim CEDEX (E)	C4	20.5	0.019	0.813	0
	Scrim MOPT (E)	C8	20.5	0.032	0.873	0
	Scrim SRM (D)	D2	20.5	0.017	0.850	0
	Scrim GEOCISA (E)	D3	20.5	0.021	0.928	0
	Scrim (F)	D4	20.5	- 0.006	0.862	0
	SUMMS (I)		20.5	0.002	0.987	0
	ScrimTEX (UK)	D5	17.1	0.033	0.872	0
EQUIPOS CON NEUMÁTICOS GRAVADOS						
Rueda Bloqueada	Stuttgarter Reibungmesser (CH)	B1	60	0.022	0.050	0.082
	Skiddometer (CH)	B2	60	0.026	0.504	0.099
	Stuttgarter Reibungmesser (A)	B5	60	- 0.072	0.767	0.086
	ASTM E 274 (USA)	B6	65	- 0.023	0.607	0.098
	Equipo de Fricción (PL)	C1	60	- 0.025	0.807	0.068
	Stuttgarter Reibungmesser (CH)	B1	12	0.141	0.323	0.074
	Skiddometer	B2	12	0.03	0.918	- 0.014
	BV – 11 (S)	B3	12	0.04	0.856	- 0.016
	Stuttgarter Reibungmesser (A)	B5	12	0.02	0.867	- 0.006
EQUIPOS CON ZAPATA						
	DF Tester at 60 km/h (J)	A13	60	- 0.034	0.771	0
	DF Tester at 20 km/h (J)	A13	20	0.081	0.723	0
	Péndulo de fricción BPT (USA)	A14	10	0.056	0.008	0
	Péndulo de fricción SRT (CH)	B7	10	0.044	0.01	0

Finalmente, el IFI obtenido se expresa como (F_{60}, Sp).

SECCIÓN 09

CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y RESTAURACIÓN DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN, ADOQUINES Y BALDOSAS

SECCIÓN 09

SECCIÓN 09

CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y RESTAURACIÓN DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN, ADOQUINES Y BALDOSAS

ART. 9.1 GENERALIDADES

Estas especificaciones técnicas se refieren a las obras de conservación, reparación y restauración de pavimentos de hormigón, pavimentos de adoquines de piedra y de hormigón, de veredas de hormigón y baldosas.

ART. 9.2 MÉTODOS APLICABLES A LAS OBRAS DE CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y RESTAURACIÓN DE PAVIMENTOS

Es importante establecer una definición de las obras de conservación, de reparación o restauración de un pavimento. Estas obras se caracterizan por la no modificación de la estructura general del pavimento, sino que esta se aprovecha en su integridad, mediante un trabajo de mejoramiento que le permite recuperar sus condiciones primitivas.

ART. 9.3 RESTAURACIÓN DE PAVIMENTOS

Los trabajos referidos a la restauración de pavimentos se asocian a un reemplazo total o parcial de la estructura del pavimento, por considerarse esta como inadecuada.

Se recomienda efectuar la restauración o reconstrucción de un pavimento, o de una sección completa de este, en los siguientes casos:

- Cuando se manifieste una destrucción progresiva e irrecuperable, debido a que el pavimento no posee la capacidad resistente necesaria por defectos de construcción, o por la acción del tránsito o del clima.
- Cuando siendo posible aplicar un sistema de mejoramiento, tal como un recubrimiento asfáltico, ello implique problemas geométricos con la rasante, sumideros o soleras.
- Cuando el pavimento haya cumplido la vida útil, lo que puede traducirse en un incremento del costo de conservación, lo que hace en consecuencia más conveniente, por razones económicas, proceder a la restauración del pavimento.
- Cuando las fallas hayan provenido de las capa de base, subbase o subrasante, las que no pueden ser corregidas mediante un simple trabajo de conservación.

La restauración de un pavimento se efectúa de la misma forma que su construcción, es decir, ateniéndose a las especificaciones correspondientes.

Sin embargo, se recomienda que:

a. Se determine la necesidad de restaurar una o más capas constitutivas del pavimento, lo cual depende de un detenido análisis en el terreno acerca de las condiciones en que se encuentra cada una de ellas, pudiendo, si es necesario, llegar hasta la restauración de la subrasante o reemplazo de la capa de mejoramiento del terreno natural.

b. En los pavimentos de hormigón pueda restaurarse la losa completa.

c. La operación de restauración se ejecute, respetando las condiciones iniciales del proyecto, referentes a especificaciones sobre los materiales y procedimientos constructivos, salvo en el caso que se haya efectuado un nuevo diseño.

ART. 9.4 TIPOS DE FALLA Y TRABAJOS A EJECUTAR EN PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

Este artículo comprende recomendaciones sobre cómo identificar y clasificar los deterioros, recomendando los procedimientos de cuantificación, reparación y conservación de pavimentos de hormigón, considerando los siguientes seis aspectos:

a. Descripción de las características más relevantes para facilitar la identificación.

b. Esquemas explicativos que ayudan a la identificación.

c. Principales mecanismos que originan el deterioro.

d. Clasificación en tres niveles de severidad del deterioro: baja, media y alta, en función de sus características y condiciones.

e. Procedimientos de medición y cuantificación.

f. Métodos correctivos a aplicar.

Para los deterioros que se presentan en este apartado, se recomienda que se clasifiquen dentro de tres sub-grupos:

- Grietas y juntas dañadas.
- Deterioros superficiales.
- Otros deterioros.

9.4.1 GRIETAS Y JUNTAS DAÑADAS

9.4.1.1 AGRIETAMIENTO LINEAL (LONGITUDINAL, TRANSVERSAL)

9.4.1.1.1 DESCRIPCIÓN

Estas grietas, que dividen la losa en dos o tres piezas, son causadas usualmente por una combinación de cargas repetitivas de tráfico, alabeo debido a gradientes térmicos y tensiones debido a contracciones o dilataciones (las losas divididas en cuatro o más piezas se cuentan como losas divididas (ver apartado 9.4.3.2).

Las grietas de baja severidad se relacionan frecuentemente con alabeos o contracciones y no se consideran un deterioro estructural mayor. Las grietas de severidad media o alta son usualmente grietas de trabajo causadas por una combinación de cargas de tráfico y factores ambientales, y se consideran un deterioro estructural mayor. Las grietas que tienen solo unos pocos metros de largo y que no se extienden por toda la losa, se contabilizan como grietas por contracción.

9.4.1.1.2 POSIBLES CAUSAS

Grietas Longitudinales:

- Asentamiento de la base y/o subrasante
- Losa de ancho excesivo
- Carencia de la junta longitudinal
- Mal posicionamiento de las barras de traspaso
- Aserrado tardío de la junta

Grietas Transversales:

- Losas de longitud excesiva
- Junta de contracción aserrada o formada tardíamente
- Espesor de la losa insuficiente para soportar las solicitaciones
- Retracción térmica que origina alabeos

9.4.1.1.3 NIVELES DE SEVERIDAD

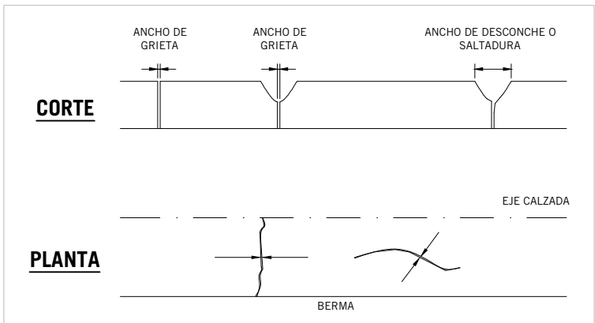
Grietas Longitudinales:

- Baja : Grietas de hasta 5 mm o selladas, sin desconche y sin presencia de escalonamiento.
- Media : Grietas de más de 5 mm hasta 15 mm y/o con desconche de ancho menor a 75 mm y/o con escalonamiento de hasta 10 mm.
- Alta : Grietas de ancho mayor a 15 mm y/o desconche mayor a 75 mm y/o escalonamiento mayor a 10 mm.

9.4.1.1.4 MEDICIÓN

Es recomendable que, para efectos de la determinación del ancho de las grietas, la medición se haga según se indica en Figura 9.1.

FIGURA 9.1
MEDICIÓN DEL ANCHO DE GRIETAS



Una vez que se ha definido la severidad, se recomienda registrar el deterioro como si ocurriera en una losa. Si en una sola grieta existe más de una severidad, se sugiere registrar la severidad mayor. Si existe más de una grieta dentro de una misma losa, cada una con diferentes niveles de severidad, se sugiere registrar cada una en forma separada. Si se tienen dos grietas de mediana severidad en una losa, se recomienda registrar la losa y se contabiliza como teniendo una grieta de alta severidad. Las losas divididas en cuatro o más piezas se contabilizan como losas divididas.

9.4.1.1.5 REPARACIÓN

Es recomendable realizar la reparación de acuerdo al daño existente, como se nombra a continuación:

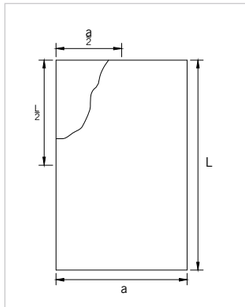
- Severidad Baja : No hacer nada.
- Severidad Media : Sellar grietas.
- Severidad Alta : Sellar grietas; reparación espesor parcial.

9.4.1.2 QUIEBRES DE ESQUINA

9.4.1.2.1 DESCRIPCIÓN

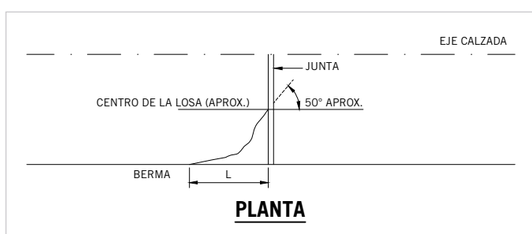
Un quiebre de esquina, corresponde a una grieta que intersecta a una junta en una distancia menor o igual a la mitad de la dimensión de la losa en cada lado, medido desde el borde de la losa. En la Figura 9.2 se detalla el quiebre.

FIGURA 9.2
QUIEBRES DE ESQUINA



Este deterioro, origina un trozo de losa de forma triangular, al interceptar las juntas transversal y longitudinal, formando un ángulo de aproximadamente 50 grados con la dirección del tránsito. La longitud de los lados del triángulo puede variar entre 300 mm y la mitad del ancho de la losa.

FIGURA 9.3
QUIEBRES DE ESQUINA



Los quiebres de esquina se producen usualmente por la repetición de cargas combinada con la pérdida de soporte, por efectos de bombeo.

9.4.1.2.2 POSIBLES CAUSAS

- Falta de apoyo de la losa, originado por erosión de la base o alabeo térmico.
- Sobrecarga en las esquinas.
- Deficiente transmisión de cargas entre las juntas.

9.4.1.2.3 NIVELES DE SEVERIDAD

- Baja : Grieta de hasta 5 mm o selladas, sin desconche y sin presencia de hundimiento.
- Media : Grietas de más de 5 mm hasta 15 mm y/o con desconche de ancho menor a 75 mm con o sin hundimiento de la esquina, pero menor a 20 mm.
- Alta : Grietas de ancho mayor a 15 mm y/o desconche mayor a 75 mm, con o sin escalonamiento mayor o igual a 20 mm.

9.4.1.2.4 MEDICIÓN

Se recomienda que, para medir la severidad de losa, en particular por quiebre de esquina, se mida la grieta según el criterio definido en el apartado 9.4.1.1.4. Además, una losa con más de un quiebre de esquina de un tipo de severidad particular, se considera de una severidad mayor en un grado, al tipo de severidad medida en cada una de los quiebres. Ahora, si una losa presenta más de una grieta de esquina de diferentes tipos de severidad, al quiebre de severidad mayor, se le aumenta en un grado dicha severidad.

9.4.1.2.5 REPARACIÓN

- Severidad Baja : No hacer nada.
- Severidad Media : Sellado de grietas; reparación espesor completo en caso que la grieta presente un deterioro mayor a medio espesor de losa.
- Severidad Alta : Reparación espesor completo.

En caso de existir uno o más quiebres de esquina de severidad media o alta, combinadas con agrietamientos de otro tipo dentro de una misma losa, se recomienda hacer una evaluación técnica económica respecto de la ejecución de una reparación de espesor completo o reemplazo de losa.

9.4.1.3 SELLO DE JUNTAS DAÑADO

9.4.1.3.1 DESCRIPCIÓN

El sellado de juntas dañado es cualquier condición que permite que las piedras o la tierra se acumulen en las juntas o permita la infiltración del agua en forma significativa. La acumulación de materiales incompresibles en la junta evita que las losas se expandan y puede producir levantamiento de la junta, fragmentaciones o saltaduras. La colocación de algún relleno de junta flexible puede garantizan la protección de los bordes de la losa, evitando la acumulación de material, previniendo la infiltración del agua y evitando el debilitamiento de la fundación de soporte.

Los ejemplos típicos de sellado de juntas dañado son:

- Expulsión del sellante de la junta
- Crecimiento de raíces o flora en las juntas

- Endurecimiento (oxidación) de la mezcla usada como sellante
- Falta o ausencia de sellante en la junta

9.4.1.3.2 POSIBLES CAUSAS

- Endurecimiento: producto de mala calidad, envejecimiento
- Desprendimiento de las paredes de la junta: producto de mala calidad, sello de juntas mal colocado, caja mal diseñada
- Fluencia fuera de la caja: exceso de sello, producto de mala calidad, procedimiento de colocación deficiente
- Carencia: producto de mala calidad, procedimiento de colocación deficiente
- Incrustaciones de materias incompresibles

9.4.1.3.3 NIVELES DE SEVERIDAD

- Baja: El sello de la junta se encuentra generalmente en buenas condiciones en la sección. El sellante tiene un buen funcionamiento, solo se visualiza daño menor. El daño se encuentra en menos de 10% de la junta.
- Media: El sello de la junta se encuentra en condiciones regulares en toda la sección, con uno o más de los ejemplos de daño presentes en un grado moderado. El daño se encuentra entre el 10% y el 50% en la junta.
- Alta: El sello de la junta está en malas condiciones generales en la sección, con uno o más de los ejemplos de daño presentes en un grado severo. El sellante necesita reemplazo inmediato. El daño se encuentra en más del 50% de la junta.

9.4.1.3.4 MEDICIÓN

Se recomienda que el sellante de juntas dañado no se contabilice losa por losa, pero se mida en base a la condición global del sellante en toda el área de la unidad de muestra.

9.4.1.3.5 REPARACIÓN

- Severidad Baja : No hacer nada.
- Severidad Media : Sellado de juntas.
- Severidad Alta : Sellado de juntas.

9.4.1.4 JUNTAS SALTADAS

9.4.1.4.1 DESCRIPCIÓN

Corresponde a la desintegración de las aristas de una junta, con o sin pérdida de trozos, y que puede afectar hasta unos 600 mm dentro de la losa, medidos como se indica en la Figura 9.4. Una junta saltada usualmente no se extiende verticalmente por la losa, pero intersecta la cara vertical de la junta en un ángulo.

9.4.1.4.2 POSIBLES CAUSAS

- Infiltración de materiales incompresibles en la junta que evitan la expansión de las losas.
- Tamaño máximo del árido mayor que la profundidad de la junta.
- Acumulación de agua en la junta.

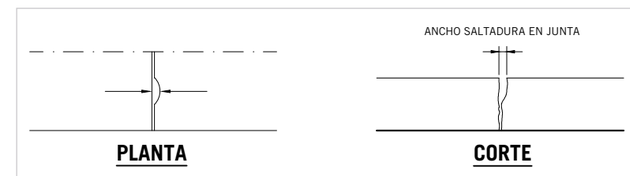
9.4.1.4.3 NIVELES DE SEVERIDAD

- Baja : Saltaduras de ancho menor a 75 mm, con o sin pérdida de material, no parchados.
- Media : Saltadura de ancho entre 75 mm y 150 mm con pérdida de material.
- Alta : Saltaduras de ancho mayor a 150 mm, con pérdida de material o quiebres en dos o más piezas, o que contienen material de parcha.

9.4.1.4.4 MEDICIÓN

Se recomienda que si una junta saltada está en el borde de una losa, se contabilice como una losa con junta saltada. Si la saltadura está en más de un borde de la misma losa, se contabiliza cada una de las saltaduras de forma independiente, con su respectivo nivel de severidad. La junta saltada también puede producirse en los bordes de dos losas adyacentes; si este es el caso, cada losa se cuenta como que tiene una junta saltada.

FIGURA 9.4
FORMA DE MEDIR EL ANCHO DE UNA JUNTA SALTADA



9.4.1.4.5 REPARACIÓN

- Severidad Baja : No hacer nada.
- Severidad Media : Reparación de espesor parcial, resellado de la junta, reparación áreas saltadas.
- Severidad Alta : Reparación de espesor parcial; resellado de la Junta, reparación de áreas saltadas.

9.4.2 DETERIOROS SUPERFICIALES

9.4.2.1 PARCHES Y CORTES DAÑADOS

9.4.2.1.1 DESCRIPCIÓN

Un parche dañado corresponde a un área donde se ha removido el pavimento original y se reemplaza por uno nuevo, ya sea con un material similar o eventualmente diferente, el cual presenta algún grado de deterioro. Un corte dañado es un parche que ha reemplazado el pavimento original después que se interviene una instalación o de servicios bajo la losa, el cual presenta algún grado de deterioro.

9.4.2.1.2 POSIBLES CAUSAS

- Retracción del hormigón del parche que lo despega del hormigón antiguo.
- Falta de adherencia de los materiales del pavimento existente y el material de reparación.
- Capacidad estructural insuficiente o mala construcción del pavimento del parche.

9.4.2.1.3 NIVELES DE SEVERIDAD

- Baja : El parche se encuentra funcionalmente bueno con pequeños deterioros o sin ellos.

- Media : El parche se encuentra moderadamente deteriorado. El material del parche puede ser retirado con considerable esfuerzo.
- Alta : El parche se encuentra gravemente deteriorado. El material del parche puede ser retirado con poco esfuerzo. La extensión del deterioro justifica reemplazos.

9.4.2.1.4 MEDICIÓN

Si una sola losa tiene uno o más parches con el mismo nivel de severidad, se contabiliza como una losa que contiene ese deterioro. Si una sola losa tiene más de un nivel de severidad, se contabiliza como una losa con el mayor nivel de severidad presente.

Si la causa de deterioro del parche es más severa, solo se contabiliza el deterioro original.

9.4.2.1.5 REPARACIÓN

- Severidad Baja : No hacer nada.
- Severidad Media : No hacer nada; reemplazar el parche.
- Severidad Alta : Reemplazar el parche, haciendo una reparación de espesor completo.

En caso de severidad alta, se puede hacer una evaluación técnico-económica entre una reparación de espesor completo y un reemplazo de losa.

9.4.3. OTROS DETERIOROS

9.4.3.1 ESCALONAMIENTO

9.4.3.1.1 DESCRIPCIÓN

El escalonamiento es la diferencia de nivel que existe entre las superficies de pavimentos adyacentes, que se encuentran separadas por una junta o una grieta. La mayoría de los escalonamientos suceden por cargas repetitivas y son considerados un problema mayor de soporte de fundación.

FIGURA 9.5
ESCALONAMIENTO

9.4.3.1.2 POSIBLES CAUSAS

- Asentamiento producto de una base con pérdida de capacidad de soporte.
- Bombeo o erosión de material fino de la base, producido por cargas pesadas repetitivas.
- Deficiencia en el traspaso de cargas entre las losas o trozos de losas.

9.4.3.1.3 NIVELES DE SEVERIDAD

Los niveles de severidad están definidos por la diferencia de elevación de la grieta o junta y son indicados a continuación:

- Baja : El desnivel es hasta de 10 mm.
- Media : El desnivel es mayor a 10 y hasta 20 mm.
- Alta : El desnivel es mayor a 20 mm.

9.4.3.1.4 MEDICIÓN

Se recomienda que el escalonamiento que se produce en la junta se cuente como que ocurre en una losa. La decisión sobre a cuál losa se le asigna el escalonamiento es arbitraria, ya que finalmente interesa el número de losas afectadas. Los escalonamientos que se producen en grietas no se cuentan como deterioros, pero se consideran cuando se define el nivel de severidad de la grieta.

9.4.3.1.5 REPARACIÓN

- Severidad Baja : No hacer nada.
- Severidad Media : Cepillado.
- Severidad Alta : Reemplazo de losa.

9.4.3.2 LOSA DIVIDIDA

9.4.3.2.1 DESCRIPCIÓN

Se dice que se tiene una losa dividida cuando las grietas dividen una losa en cuatro o más partes. Este deterioro lo producen normalmente la sobrecarga y/o el soporte inadecuado de la losa. El alabeo puede contribuir al agrietamiento inicial en la losa y puede desencadenar una losa dividida. Si todas las piezas o grietas están contenidas en una grieta de esquina, no se está en presencia de losas divididas, sino que se está ante un deterioro clasificado como grieta de esquina.

9.4.3.2.2 POSIBLES CAUSAS

Etapa avanzada de grietas de esquina, longitudinales o transversales, donde ha penetrado agua, por lo que también se da el bombeo de finos.

9.4.3.2.3 NIVELES DE SEVERIDAD

Los niveles de severidad se presentan en la tabla siguiente:

TABLA 9.1
NIVELES DE SEVERIDAD SEGÚN Nº DE PIEZAS EN LA LOSA

NIVEL DE SEVERIDAD DE LA MAYORÍA DE LAS GRIETAS	Nº de piezas en la losa agrietada		
	4 a 5	6 a 8	Más de 8
Baja	Baja	Baja	Media
Media	Media	Media	Alta
Alta	Media	Alta	Alta

9.4.3.2.4 MEDICIÓN

Si la losa tiene severidad media o alta, no se registran más deterioros en la misma.

9.4.3.2.5 REPARACIÓN

- Severidad Baja : No hacer nada; sellar grietas de ancho mayor a 5 mm.
- Severidad Media : Reemplazar losa (Reparación de espesor completo).
- Severidad Alta : Reemplazar losa (Reparación de espesor completo).

ART. 9.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA REPARACIÓN Y CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS URBANOS DE HORMIGÓN

9.5.1 SELLADO DE JUNTAS Y GRIETAS

9.5.1.1 DESCRIPCIÓN Y ALCANCES

En este apartado se definen los trabajos para resellar juntas y sellar o resellar grietas existentes en pavimentos de hormigón. Conservar selladas las juntas y grietas es fundamental para alcanzar la vida útil esperada para el pavimento. Sin embargo, para que un sello cumpla cabalmente el objetivo para el cual se coloca es necesario que juntas y grietas no trabajen, es decir, que no experimenten desplazamientos verticales significativos entre sí.

Los desplazamientos se originan porque no existe un traspaso adecuado de las cargas entre las losas, el que se puede detectar, si no se cuenta con instrumental para ese objetivo, durante la mañana, antes que el sol caliente la superficie. En ese momento las caras se encuentran con su máxima separación, a veces sin tocarse, lo que se puede determinar introduciendo una delgada lámina de acero, y/o porque presentan los bordes saltados. Las juntas y grietas que presentan esa condición de estar trabajando, pueden repararse con el procedimiento descrito en el apartado 9.5.2, antes de proceder con un resellado.

Para los efectos de esta operación, las juntas y grietas pueden agruparse en función de su ancho promedio, forma y ubicación, de acuerdo a lo siguiente:

- Juntas de hasta 12 mm de ancho
- Juntas de ancho entre 12 mm y 20 mm
- Juntas de ancho entre 20 mm y 30 mm
- Grietas de ancho entre 3 mm y 30 mm
- Juntas y grietas de ancho superior a 30 mm
- Juntas longitudinales de cualquier ancho

9.5.1.2 MATERIALES

Juntas de hasta 12 mm de ancho: Se recomienda sellar con productos que tengan una deformación admisible entre el 20% y el 30% y utilizar imprimantes y cordones de respaldo adecuados y compatibles con el sellante.

Juntas de ancho entre 12 mm y 20 mm: Se recomienda sellar con productos del tipo termoplástico aplicados en caliente, que tengan una deformación admisible entre el 10% y el 20%.

Juntas de ancho entre 20 mm y 30 mm y grietas entre 3 mm y 30 mm de ancho y grietas longitudinales: Se recomienda sellar con un producto tipo mástic asfáltico modificado con polímero que cumpla con lo siguiente:

- Penetración, 25°C, 100g, 5s, 10-1 mm: Máx. 60, según NCh 2340.
- Ductilidad, 0°C, mm: Mín. 20, según NCh 2342.
- Filler, porcentaje en peso: Máx. 25.
- Punto Ablandamiento, °C: Mín. 58, según NCh 2337.

Juntas y grietas de ancho superior a 30 mm: Se recomienda sellar con una mezcla de arena-emulsión asfáltica con una dosis mínima de 18% de emulsión y ajustar la arena a alguna de las granulometrías que se indican en la tabla siguiente:

TABLA 9.2
GRANULOMETRÍAS DE ARENA PARA EL SELLADO.

TAMIZ		PORCENTAJE EN PESO QUE PASA		
mm	(ASTM)	A	B	C
12.5	(1/2")	—	—	100
10	(3/8")	100	100	85 - 100
5	(N° 4)	85 - 100	85 - 100	55 - 85
2.5	(N° 8)	80 -90	65 -90	35 - 65
0.63	(N° 30)	55 - 80	30 - 50	15 - 35
0.16	(N°100)	5 -15	5 -15	2 -10

9.5.1.3 PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO

a. Limpieza

Se recomienda que:

- Las juntas y grietas que contengan restos de sellos antiguos o materias extrañas, se limpien completa y cuidadosamente en toda su profundidad.
- Se use sierras, herramientas manuales u otros equipos adecuados que permitan remover el sello o relleno antiguo, sin afectar al hormigón.
- No se usen barretas, chuzos, equipos neumáticos de percusión u otras herramientas o elementos destinados a picar la junta o que puedan soltar o desprender trozos de hormigón.
- En general, no se use solventes para remover el sello antiguo, salvo que se demuestre que el procedimiento no significa transportar los contaminantes hacia el interior de la junta, ni una impregnación mayor del hormigón con aceite u otros materiales.
- Una vez removido el sello antiguo se proceda a repasar cuidadosamente barriendo con una escobilla de acero, que asegure la eliminación de cualquier material extraño o suelto.
- La limpieza se termine con un soplado con aire comprimido, con una presión mínima de 0,83 MPa, que elimine todo vestigio de material contaminante, incluso el polvo.
- Antes de utilizar este equipo, se verifique que el aire expulsado esté completamente libre de aceite.

b. Imprimación

Es recomendable dar un especial cuidado a la imprimación, en los casos que esta se use, de modo de producir una perfecta adherencia entre el sellante y las paredes de las juntas o grietas.

c. Sellado de Juntas de hasta 12 mm de ancho

Se recomienda que:

- Se haga la limpieza de grietas con aire comprimido.
- Las juntas que carezcan de una caja en su parte superior se aserren para conformar una caja, mínimo de entre 8 mm y 12 mm de ancho y entre 22 mm y 35 mm de profundidad, según el tipo de sellante y respaldo por emplear.

- El cordón o lámina a emplear como respaldo se ajuste a lo recomendado por el fabricante del material sellante, y sea ligeramente más ancho que la junta, de manera que ajuste bien y quede perfectamente alineado a una profundidad constante y sin pliegues o curvaturas.
- Cuando el fabricante del sellador recomiende usar imprimante, este se coloque en forma pareja cubriendo las dos caras de la junta, utilizando procedimientos comprobados.
- El sellante cubra el ancho de la caja y quede entre 4 y 5 mm por debajo de la superficie del pavimento.

d. Sellado de Juntas de Ancho entre 12 mm y 20 mm.
Se recomienda que:

- Para estas juntas se siga un procedimiento similar al descrito para las juntas de hasta 12 mm de ancho, salvo que el ancho de la caja llega hasta 20 mm y su profundidad, la necesaria para colocar el cordón de respaldo o lámina, un sellante de mínimo 14 mm de profundidad y que queden 4 a 5 mm libres entre la cara superior del sellante y la superficie del pavimento.
- Las juntas clasificadas en este grupo se sellen con productos termoplásticos y que el imprimante se ajuste a las recomendaciones del fabricante del sellante.

e. Sellado de Juntas de Ancho entre 20 mm y 30 mm
Se recomienda que:

Las juntas de ancho entre 20 mm y 30 mm se limpien con aire comprimido, se sellen con productos del tipo mástic asfáltico y que la profundidad del sello sea como mínimo de 15 mm y quede de 4 a 5 mm por debajo de la superficie del pavimento.

f. Sellado de Grietas de Ancho entre 3 mm y 30 mm
Se recomienda que:

Las grietas se limpien con aire comprimido y luego se biselen los bordes mediante equipo esmerilador u otro aprobado, de manera de formar una cavidad de 6 mm de ancho mínimo y se sellen con productos tipo mástic asfáltico. El espesor del material sellante sea como mínimo de 15 mm, cualquiera fuere el ancho superficial de la grieta y quede entre 4 y 5 mm por debajo de la superficie del pavimento.

g. Sellado de Juntas y Grietas de Ancho Superior a 30 mm
Se recomienda que:

- Las juntas y grietas de más de 30 mm de ancho se limpien con aire comprimido y se sellen con una mezcla de arena-emulsión asfáltica, siempre que el ancho promedio no exceda los 100 mm, en cuyo caso el sellado se hace con una mezcla en caliente. En ambos casos el espesor del material sellante es, como mínimo, 20 mm.
- El relleno quede de 4 a 5 mm por debajo de la superficie del pavimento.
- Las paredes de las juntas y grietas se impriman con emulsión asfáltica diluida.
- Se use emulsiones del tipo CSS-1 que cumplan con lo indicado en la Sección 5, a las que se les agrega una parte igual de agua.
- No imprimar una longitud mayor que aquella que pueda sellarse en la jornada de trabajo.

h. Sellado de Juntas Longitudinales de cualquier Ancho
Se recomienda que las juntas longitudinales se limpien con aire comprimido y se sellen con productos tipo mástic asfáltico.

i. Preparación de las Mezclas de Sellado
Se recomienda que:

- Salvo que las instrucciones del fabricante de un determinado producto indiquen otra cosa, o cuando se utilice un imprimante en base a emulsiones asfálticas, las juntas y grietas se encuentren perfectamente secas antes de comenzar el sellado.
- Solo se proceda a sellar cuando la temperatura ambiental sea superior a 5°C e inferior a 30°C.
- El mezclado o la preparación de mezclas, según corresponda, se hagan con equipos mecánicos adecuados, que aseguren productos homogéneos y de características constantes.
- La mezcla y homogeneización de productos líquidos se haga con equipos de agitación mecánica que no superen las 150 RPM y los calentadores dispongan de controles que permitan variaciones de la temperatura, incluso de ser necesario, se caliente en baño maría en aceite.
- En ningún momento la temperatura máxima de colocación recomendada por el fabricante pueda sobrepasarse en más de 6°C y no se coloque el sellante a una temperatura inferior en 6°C respecto de la recomendada.
- El sellado se ejecute con equipos mecánicos adecuados para asegurar un vaciado continuo y uniforme, que no deje espacios intermedios sin rellenar y que la operación además sea limpia, rellenando exclusivamente las áreas requeridas.
- Se retire cualquier material de sello que manche zonas del pavimento fuera de la grieta o junta.

9.5.2 REPARACIÓN DE ESPESOR COMPLETO

9.5.2.1 DESCRIPCIÓN Y ALCANCES

Esta operación tiene por objetivo reemplazar una parte deteriorada del pavimento de hormigón, la que sugiere como mínimo, abarcar el ancho de una losa y tener no menos de 0,5 m en el sentido longitudinal. En el caso que el reemplazo afecte un área delimitada por juntas de contracción, en ellas se pueden instalar barras de traspaso de cargas, de las características señaladas en la Sección 4; en ese caso, la longitud mínima por reponer es de 1,8 m.

Parte importante del éxito del procedimiento que se describe, depende de dos consideraciones: que la zona por reemplazar se aísle completamente del resto del pavimento antes de comenzar a retirarla y que se asegure una transmisión de cargas adecuada cuando la zona por reemplazar queda delimitada por una o más juntas de contracción, tomando las medidas para que exista una unión monolítica entre el hormigón de reemplazo y el pavimento antiguo no afectado, en los demás casos.

9.5.2.2 MATERIALES

Es recomendable que los hormigones y demás materiales se ajusten en todos sus términos a lo estipulado en la Sección 04.

9.5.2.3 PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO

a. Remoción del Pavimento
Se recomienda que:

- Antes de comenzar con los trabajos, se marque claramente el área por remover, respetando las dimensiones mínimas señaladas anteriormente.
- La zona se aísle completamente del pavimento adyacente; así se minimizan los daños durante la operación de remoción.

- En el sentido transversal, se hagan dos cortes con sierra, hasta una profundidad equivalente a 1/4 del espesor de la losa y a unos 150 mm más afuera de la línea que delimita la zona por reemplazar. Enseguida, por las líneas interiores se corte con sierra en todo el espesor.
- Por la junta longitudinal y los extremos laterales del pavimento, si estos son también pavimentados, los cortes también se profundicen a todo el espesor. Si los extremos laterales no son pavimentados, se hace espacio para luego colocar un moldaje.
- Una alternativa para lograr un comportamiento monolítico entre el pavimento antiguo y el pavimento nuevo, corresponde a aplicar una técnica de remoción del pavimento deteriorado, donde se ejecuta con un disco de corte, hasta un cuarto del espesor de losa y luego otro interior hasta la mitad del espesor de la losa. Posteriormente, mediante martillos neumáticos se procede a demoler y retirar el material deteriorado del pavimento en todo su espesor, dejando las paredes de la zona delimitada a reparar con una textura rugosa.
- Cuando la zona dañada incluya una junta de contracción, se procure dejarla en el centro del área por remover y, en todo caso, entre los extremos de las barras de acero de amarre entre losas antiguas y el nuevo hormigón, una vez completamente aislada el área por reemplazar se proceda a retirarla, de preferencia levantándola en vez de demolerla.
- Hacer perforaciones para introducir pernos que permitan amarrar una cadena que se levante con maquinaria, como por ejemplo un cargador frontal.
- Cualquiera que sea el procedimiento para remover la zona deteriorada, se evite dañar a la subbase y a las losas adyacentes.

b. Preparación antes de hormigonar
Se recomienda que:

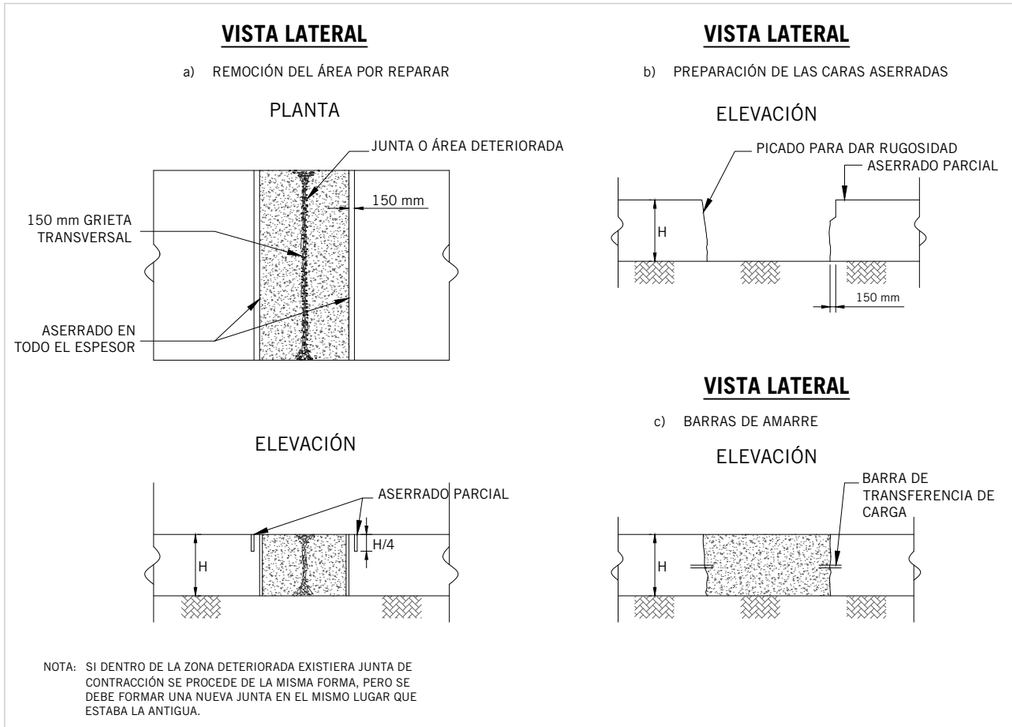
- Si en el proceso de remoción se produce algún daño en la subbase, esta se repare de manera que quede perfectamente lisa, a la cota que corresponda y que la compactación se haga hasta obtener una densidad mayor o igual al 95% de la D.M.C.S. del Proctor Modificado (NCh 1534/2), o al 80% de la densidad relativa, (NCh 1726), según corresponda.
- Las caras aserradas de las losas que presenten una superficie lisa se pican hasta hacerlas disparejas y rugosas.
- Para lo anterior, con herramientas livianas (incluso pueden utilizarse martillos neumáticos livianos, de máximo 13,6 kg de peso), se pique para dejar una superficie inclinada entre el borde superior del corte inicial de 1/4 del espesor de la losa y el borde inferior del corte de todo el espesor.
- La zona quede rugosa, irregular e inclinada de arriba hacia abajo.
- En las caras de la losas antiguas, excluyendo la losa adyacente (junta longitudinal), se hagan perforaciones horizontales distanciadas cada 600 mm, exceptuando la más cercana al borde externo, se ubica a 500 mm de ese borde.
- Las perforaciones tengan 300 mm de largo y el diámetro adecuado para empotrar barras de acero estriadas, de 12 mm de diámetro y 600 mm de longitud. Su objetivo es amarrar las losas antiguas con el nuevo hormigón.
- Para el empotramiento se use una lechada de cemento hidráulico con un aditivo expansor.

c. Hormigonado
Se recomienda que:

- Se use el mismo tipo de hormigón especificado para pavimentos en la Sección 04.

- El hormigonado se haga contra las caras de las losas no removidas, por lo que previamente se asegure que se encuentran limpias de polvo u otra suciedad, y húmedas.
- Para obtener un parche de buena calidad, se preste especial atención a la colocación y terminación del hormigón, incluyendo el proceso de vibrado.
- La nivelación se verifique mediante una regla de una longitud igual a la de la zona reemplazada más 1 m. La experiencia indica que los mejores resultados se logran colocando la cercha vibradora.
- No olvidar dar la textura final a la superficie.
- El curado del hormigón y el aserrado con su respectivo sello de juntas, si corresponde, se ajuste a lo señalado en la Sección 04.

FIGURA 9.6
REPARACIÓN EN TODO EL ESPESOR



d. Terminaciones
Es recomendable que antes de entregar el pavimento a uso, se proceda a reparar y limpiar la zona vecina y que cualquier daño se repare como parte de esta operación. Los materiales extraídos o sobrantes pueden trasladarse a botaderos autorizados, dejando el área de los trabajos completamente limpia.

9.5.2.4 RECEPCIÓN Y CONTROLES
Se recomienda que la obra solo se recepcione cuando se cumplan los requisitos señalados precedentemente en Terminaciones.

Se requiere que los hormigones tengan una resistencia media a la flexotracción a los 28 días de 5 MPa o grado especificado a compresión cilíndrica G30, considerando una fracción defectuosa del 20%.

9.5.3 REPARACIÓN DE ESPESOR PARCIAL

9.5.3.1 DESCRIPCIÓN Y ALCANCES

La operación se refiere a la reparación de juntas de pavimentos de hormigón, de contracción y longitudinales, que presentan saltaduras en las aristas que afectan solo la parte superior del hormigón, entendiéndose como tales las que alcanzan hasta un tercio del espesor de la losa.

La saltadura de juntas crea una superficie muy irregular y acelera el deterioro general del pavimento, por lo que es necesario repararlas. La técnica que se incluye en esta operación es muy eficaz y más económica que las reparaciones en todo el espesor. Sin embargo, el éxito de su aplicación depende de las limitaciones y condicionantes que se describen en los procedimientos de trabajo.

9.5.3.2 MATERIALES

Es recomendable que los hormigones se ajusten en todos sus términos a lo estipulado en la Sección 4. La unión entre el hormigón antiguo y el nuevo será monolítica.

9.5.3.3 PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO

a. Remoción del área deteriorada

Se recomienda que:

- Se establezca toda la zona deteriorada, la que muchas veces es efectivamente algo mayor que lo que aparenta desde la superficie. Normalmente la profundidad que se remueve varía entre 25 y 100 mm, dependiendo ello del nivel al cual se encuentre hormigón en buenas condiciones, lo que se puede constatar golpeando con un martillo o una barra de acero y/o, mejor aún, extrayendo un testigo del hormigón.
- La auscultación con un martillo o una barra de acero se base en el tipo de sonido de la respuesta. Si suena metálico, significa que el hormigón se encuentra en buenas condiciones; si es apagado o suena a hueco, el hormigón se encuentra deteriorado. Para asegurarse que se remueve toda el área afectada, esta se extiende hasta unos 80 a 100 mm dentro del hormigón en buenas condiciones.
- La zona por remover se demarque formando un cuadrado o un rectángulo, nunca una figura irregular.
- Enseguida, por las líneas demarcadas se corte con sierra todo el contorno hasta una profundidad de unos 50 mm.
- La zona central se remueva empleando herramientas neumáticas livianas (de 6,8 kg es el peso adecuado, pudiendo utilizarse hasta una de 13,6 kg de peso). Nunca se usen herramientas pesadas que puedan dañar el hormigón.
- El fondo de la zona removida quede irregular y muy rugoso.
- Si al excavar, lo que desde la superficie parecía únicamente una saltadura de la junta, se detecta que el hormigón débil alcanza una profundidad mayor que un tercio del espesor, la operación se suspende, y se procede a ejecutar una reparación en todo el espesor, de acuerdo a 9.5.2.

b. Precauciones Especiales

Se recomienda que para asegurar el éxito de la reparación se tenga en consideración, fundamentalmente, las condicionantes y limitantes que se indican a continuación:

- Frecuentemente, cuando un parche de este tipo queda en contacto con una losa adyacente se originan nuevas saltaduras en la junta, debido a las tensiones que aquella le transmite. Se puede colocar una faja delgada de plástico, una tablilla impregnada en asfalto u otro elemento que separe el hormigón antiguo del nuevo.
- Aun cuando una junta de contracción se puede aserrar después de reparada con esta técnica, lo más seguro es formarla mientras el hormigón se encuentra fresco.
- Puesto que normalmente los parches presentan una gran superficie en relación al volumen por rellenar, la humedad se pierde con rapidez, por lo que el sistema de curado puede ser el adecuado para esta situación.

c. Hormigonado

- Antes de hormigonar, se recomienda preparar el área de contacto, de manera de asegurar que se produzca una unión monolítica entre los hormigones y que la superficie del hormigón antiguo sea impermeable para evitar la infiltración del agua del hormigón nuevo al antiguo. La primera condición se logra siguiendo los procedimientos indicados en a.; en tanto que lo segundo, se obtiene recubriendo la superficie de contacto con una lechada de relación 1:1 de agua: cemento hidráulico.
- En general, se sugiere que el volumen de hormigón por colocar en estos parches sea pequeño, para que el hormigón se pueda preparar en el mismo lugar en betoneras pequeñas.
- Se requiere colocar y luego vibrar el hormigón, de manera que la cantidad de hormigón por vaciar se calcule para que, finalmente, quede a nivel con el resto del pavimento.
- La terminación puede ser mediante un platachado que avance desde el centro del parche hacia las orillas y finalizando con una textura superficial similar a la del resto, de manera que el parche se mimetice.

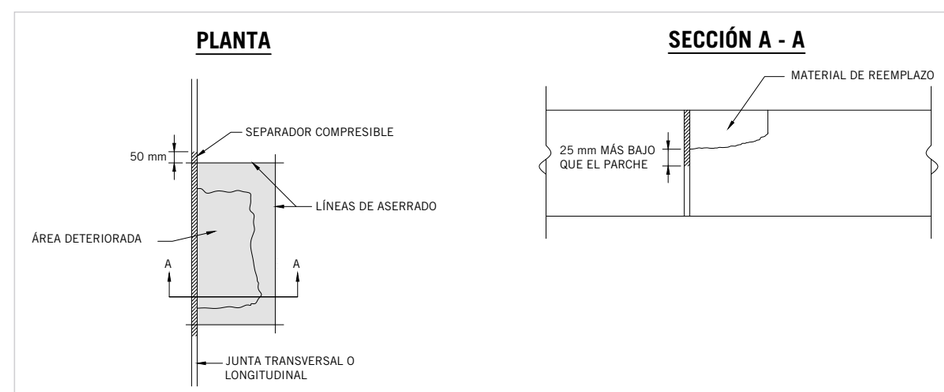
9.5.3.4 CURADO Y SELLADO DE JUNTAS

Tal como se ha indicado, un curado adecuado es extremadamente importante por lo que se requiere utilizar los mismos procedimientos indicados en la Sección 04.

Una vez que el parche haya adquirido suficiente resistencia, se procede al sellado de la junta reparada, ajustándose a lo dispuesto en la Sección 04.

FIGURA 9.7

REPARACIÓN DE ESPESOR PARCIAL



9.5.4 CEPILLADO DE LA SUPERFICIE

9.5.4.1 DESCRIPCIÓN Y ALCANCES

Esta operación se refiere al cepillado superficial (diamond grinding) del pavimento de hormigón, con el objetivo de reducir las irregularidades, lo que mejora la serviciabilidad y prolonga la vida útil. El procedimiento elimina sustancialmente las irregularidades creadas por el escalonamiento de juntas y por las deformaciones originadas por los gradientes térmicos y/o durante la construcción, así como también aumenta la fricción entre neumáticos y pavimento. No aumenta la capacidad estructural del pavimento, pero al minimizar los efectos dinámicos de las cargas, permite que la estructura soporte un número mayor de solicitaciones durante el resto de su vida útil, las que pueden aceptarse si no se ha cepillado.

9.5.4.2 MATERIALES

Esta operación no requiere materiales.

9.5.4.3 PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO

a. Equipos

Se recomienda que:

- El cepillado se ejecute con una máquina autopropulsada, especialmente diseñada para suavizar y dar una textura adecuada a la superficie.
- La distancia entre ejes de apoyo del equipo no sea inferior a 3,60 m y disponga de un eje tándem direccional al frente y de ruedas traseras adecuadas para circular sobre la superficie recién tratada, y que el eje de la cabeza cepilladora no esté a más de 0,90 m por delante del centro de las ruedas traseras.
- El equipo cepille como mínimo 0,90 m de ancho por pasada, sin provocar saltaduras en los bordes de las juntas, grietas o en otros lugares y que periódicamente se revise para asegurar que esté trabajando adecuadamente.
- En especial se compruebe la redondez de las ruedas cortantes del equipo cepillador.

b. Construcción

Se recomienda que:

- El cepillado solo se haga una vez terminados todos los trabajos de reparación de juntas, cambios de losas, reparación de grietas y otros, salvo el resellado de juntas y grietas que se hace con posterioridad.
- Se provean los medios adecuados para remover los residuos que produce el cepillado, los que se retiran antes que eventualmente lo haga el tránsito o el viento.
- El tratamiento afecte como mínimo al 95% de la superficie y que quede perfectamente lisa y de apariencia uniforme, con una textura formada por ranuras longitudinales paralelas al borde del pavimento.
- Los montes de las corrugaciones serán entre 2,4 y 0,8 mm más altos que los valles, debiendo existir aproximadamente entre 175 y 188 ranuras uniformemente repartidas por metro.
- El número de ranuras por metro, para producir el efecto antes indicado, dependerá de las características del agregado de los hormigones. No se usarán ranurados cuyo espaciamiento impida cumplir con lo antes indicado.
- Cuando, por cualquier causa, sea necesario repasar el cepillado, se trate cada pista en todo su ancho.

9.5.5 REPARACIÓN DE ÁREAS SALTADAS

9.5.5.1 DESCRIPCIÓN Y ALCANCES

El trabajo comprende la reparación de áreas con saltaduras, existentes o potenciales, en especial en los bordes de juntas longitudinales o transversales, para lo cual se remueve el hormigón en un área delimitada hasta una determinada profundidad, menor que el espesor de la losa.

9.5.5.2 MATERIALES

Se recomienda que:

- Como agente ligante entre el antiguo y el nuevo hormigón se use puentes de adherencia epóxicos, cuyas bondades sean previamente evaluadas cuidadosamente en el laboratorio, ajustándose estrictamente a las instrucciones del fabricante.
- La superficie reparada sea entregada al tránsito en un máximo de 48 horas después de terminada la reparación.
- En consecuencia, se diseñe un hormigón que cumpla con una resistencia mínima a la compresión cilíndrica de 20 MPa.
- La reparación se entregue al tránsito cuando esta resistencia se haya logrado, controlándola mediante muestras tomadas durante el hormigonado y conservadas en las mismas condiciones que el pavimento.
- Para reconformar juntas se utilicen elementos comprensibles que se puedan insertar en el hormigón, tales como planchas de poliestireno expandido (tipo “plumavit”) u otros elementos similares.

9.5.5.3 PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

Se recomienda que:

- Antes de iniciar los trabajos, se delimite las áreas a reparar para lo cual se recurra al procedimiento de golpear con un martillo de carpintero o una barra de acero, las zonas sospechosas de saltaduras potenciales.
- Cuando el hormigón se encuentre en buen estado, se observe que el golpe produce un sonido metálico agudo, en tanto que cuando no lo esté, suene como hueco.
- El límite del área a remover se demarque con pintura, unos 0,05 m más afuera de la zona detectada como defectuosa.
- Las zonas a remover sean cuadradas o rectangulares y si quedan separadas por menos de 0,60 m se recomienda unirlas.
- Las áreas de hormigón defectuoso se remuevan mediante aserrado y cincelado.
- El aserrado tenga una profundidad mínima de 50 mm y se efectúe por todo el perímetro de la zona a remover.
- La remoción del hormigón dañado se ejecute mediante martillos neumáticos livianos (peso máximo de 13,6 kg) hasta una profundidad de mínimo 50 mm y no más de $^{1}/_{3}$ a ½ del espesor de la losa.
- Si durante el proceso de remoción del hormigón, se comprueba que el daño alcanza a más de un medio del espesor de la losa, el trabajo puede suspenderse, procediendo a evaluar la conveniencia de hacer una reparación de espesor completo.
- La superficie que quede después de removido el hormigón dañado, se someta a un proceso de arenado o de chorro de agua a presión que elimine las partículas sueltas, manchas de aceite, polvo, residuos de asfalto y otros contaminantes.

- El proceso se termine con un soplado con aire comprimido y se verifique que el aire no contenga aceites.
- Cuando el parche o reparación incluya una junta, esta se reconforme mediante la colocación del elemento compresible que la restituya y se reconstruya la junta de las mismas dimensiones de la original.
- El agente ligante o puente de adherencia epóxico, se extienda por toda el área removida, incluyendo las paredes, formando una capa delgada y pareja y se use brocha para la colocación de este ligante.
- Como las cantidades a utilizar son, normalmente, muy pequeñas, las mezclas se hagan en el mismo lugar del trabajo, usando betoneras móviles u otras mezcladoras similares.
- El hormigón del parche se coloque antes que el agente ligante se seque. Si ello ocurre, se remueve mediante un arenado adicional.
- El hormigón para el relleno se vibre mediante vibradores de inmersión pequeños, de diámetro no mayor que 1", usados en ángulo de 45º.
- El volumen a colocar exceda ligeramente lo necesario para llenar el hueco, para compensar lo que baje al consolidarlo.
- El vibrador se mueva lentamente por toda el área, sin desplazar hormigón con él, ya que ello se traduce en segregación.
- Para el alisado final se recomienda platachar desde el centro hacia los bordes, lo que permite zonas de contacto parejas y asegura una liga adecuada con el hormigón antiguo.
- Inmediatamente terminado el proceso de afinado superficial, se debe aplicar una doble capa de membrana de curado en base a solventes, tal que se puedan aplicar sobre el agua de exudación sin que ello altere la velocidad ni calidad de la película protectora.

9.5.6 COLOCACIÓN DE BARRAS (RESTAURACIÓN DE TRANSFERENCIA DE CARGAS EN JUNTAS Y GRIETAS DEL PAVIMENTO)

9.5.6.1 DESCRIPCIÓN

Este trabajo consiste en la restauración de la transferencia de cargas en las juntas y grietas transversales en pavimentos de hormigón, mediante la colocación de barras en aproximadamente el punto medio de la losa de hormigón, en los sitios indicados en los planos, o según sea dirigido por el Ingeniero de Obra. El trabajo consiste en el corte de ranuras, la colocación de las barras en las ranuras, y el relleno de estas con el material apropiado.

La transferencia de cargas a través de juntas y grietas transversales ocurre en las tres formas siguientes: el entrelazamiento del agregado, el apoyo de la base y mecanismos de transferencia de cargas como las barras. El pavimento de hormigón simple, sin barras, puede perder eficiencia en la transferencia de cargas del entrelazamiento del agregado cuando está expuesto a un gran volumen de camiones pesados durante épocas de tiempo frío, en que las juntas tienden a abrirse.

La transferencia de cargas se mide por medio de la comparación entre la deflexión del extremo cargado de la losa, con el extremo sin carga de la losa siguiente. Cuando la eficiencia, medida por la deflexión, cae por debajo del 60%, la junta o grieta requiere la restauración de su transferencia de cargas. Las grietas transversales, en la mitad de las losas de los pavimentos de hormigón simple, pueden perder su capacidad de transferencia de cargas, debido a un posible desgaste del entrelazamiento del agregado. Una deficiente transferencia de cargas puede acelerar el bombeo y el escalonamiento, que pueden conducir eventualmente a la rotura de esquinas y/o a la fractura de losas.

La colocación de tres barras de traspaso de cargas por cada huella de la pista de camiones, mejora la eficiencia del traspaso y brinda una extensión de varios años de vida útil. Las barras son colocadas, con una mezcla típica para este tipo de circunstancias, cerca del punto medio de la losa, en ranuras alineadas, aserradas con discos diamantados.

A continuación se hacen unas sugerencias para asegurar el éxito de la restauración del traspaso de cargas:

a. Para ser eficiente en relación al costo, la restauración se limita a las vías con tránsito de camiones o a otras áreas expuestas a una carga pesada frecuente.

b. La colocación de barras de traspaso se emplea para las juntas transversales, en un pavimento sin barras, y para las grietas transversales medias, en las losas en todos los tipos de pavimento de hormigón con juntas.

c. Un pavimento con problemas serios de bombeo se estabiliza antes de la colocación de las barras.

9.5.6.2 MATERIALES

Se recomienda que:

- Se instalen barras de traspaso de cargas, de las características señaladas en la Sección 04, las cuales pueden tener 460 mm de largo y 1,5" de diámetro y estar cubiertas con epóxico, incluyendo la superficie del extremo.
- Las tapas y sillas de expansión sean no-metálicas y construidas para permitir una expansión de ¼" en cada extremo de la barra y una separación de 1/2" por debajo de la barra.
- El agente anti-adhesivo de las barras sea una capa delgada de base de cera, pre-aplicada por el proveedor de las barras; o bien, una forma de aceite delgado aplicado a las barras antes de su instalación en las ranuras.
- El re-formador de juntas sea un tablero de poliestireno expandido con un espesor de ¼" a 3/8", debidamente perforado para la barra y conformado para sostenerla en su sitio durante la instalación.
- Sea de silicona el sellador; para prevenir que la lechada se introduzca en la grieta abierta.
- Se use adhesivos de alta resistencia como los normalmente empleados para reparaciones de espesor completo.
- El agregado de los materiales de relleno del parche este limpio y tenga un tamaño máximo de 5/16".

9.5.6.3 PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

a. Corte de las Ranuras

Se recomienda que:

- Las ranuras se corten mediante sierra diamantada capaz de cortar un mínimo de tres ranuras simultáneamente, centradas sobre la junta o grieta. Se hagan dos o tres ranuras en cada senda de ruedas.
- La distancia transversal desde la junta longitudinal al centro de la primera ranura pueda variar de 60 cm a 120 cm para asegurar el máximo soporte al borde libre sin interferir con las barras de amarre longitudinales.
- Las barras queden alineadas con el eje central de la vía (sin importar su ángulo con la junta o grieta transversal), así como entre ellas.
- Las barras se centren sobre la junta o grieta con un mínimo de 6" de barra a cada lado de la grieta.

b. Remoción del Hormigón
Se recomienda que el hormigón que queda en la ranura después del aserrado sea removido con martillos neumáticos con un peso no mayor de 30 libras. Los radios de cada extremo no necesitan ser removidos, pero se requiere de un espacio de 20 mm para la barra en el fondo de la ranura.

c. Limpieza de la Ranura
Es recomendable que cualquier trozo de hormigón suelto -o que pueda interferir con el alineamiento de las barras- se remueva, y todas las superficies de las paredes se limpien a presión para eliminar cualquier polvo o residuo, mediante un paño o con las yemas de los dedos.

d. Colocación de las Barras
Se recomienda que:

- Luego de la limpieza final, la grieta o junta se selle con silicona para evitar que el material de relleno se introduzca en ella.
- Las sillas sean de modo tal que sus patas encajen cómodamente en los cortes de sierra y sostengan la barra en el centro de la ranura, con un espacio de 12 mm alrededor de la barra para el material de relleno.
- Cuando las barras están alineadas correctamente, estén en línea con la superficie del pavimento y paralelas al eje central.
- Las tapas de expansión de cada extremo permitan una expansión del hormigón de 6 mm. El tablero compresible de poliestireno expandido se debe ajustar cómodamente en las paredes de las ranuras y puede tener una forma de T para sujetar en su lugar los materiales.
- Se cuide el alineamiento del tablero de poliestireno expandido con la grieta, particularmente en grietas aleatorias.
- El agente anti-adhesivo se aplique a mano sobre la barra entera (a menos que haya sido pre-aplicado por el proveedor), antes de que sea colocada en las sillas.
- El derrame de anti-adhesivo en cualquier superficie de la ranura se limpie inmediatamente.

e. Relleno de los Parches
Se recomienda que el material de relleno se mezcle con un mezclador móvil o portátil y que se extienda con agregado limpio de tamaño máximo 8 mm hasta 100% por peso o según recomendaciones del fabricante.

Se sugiere hacer la mezcla de acuerdo con las recomendaciones del fabricante y colocarla en las ranuras, consolidándola con un vibrador de inmersión de mano y que el acabado de la superficie esté emparejado con el hormigón que lo rodea.

9.5.6.4 APERTURA AL TRÁNSITO
Se recomienda permitir la cura del material de relleno por un mínimo de dos horas antes de someter la reparación a carga de vehículos, según lo especifique el fabricante de la mezcla.

9.5.7 ASERRADO DE GRIETAS EN PAVIMENTOS EXISTENTES DE HORMIGÓN

9.5.7.1 DESCRIPCIÓN
Este trabajo consiste en el aserrado de juntas en pavimentos existentes de hormigón, cuando la remoción de tal pavimento existente está indicada.

9.5.7.2 MATERIALES
Se precisa una sierra mecánica con hoja de filo de diamante con potencia adecuada, enfriada por agua, o bien una rueda abrasiva, que corte una junta recta a la profundidad requerida. Para asegurar que se produce una junta satisfactoria, se puede requerir que se use una guía con la sierra.

9.5.7.3 PROCEDIMIENTO DE TRABAJO
a. Juntas
Es recomendable que las juntas se asierren con precisión hasta las líneas diseñadas por el Ingeniero. Para confirmar la remoción del pavimento hasta las líneas precisas, y prevenir el astillado o la rotura de pavimentos que permanecen en su lugar, las juntas se asierran hasta una profundidad de por lo menos 50 mm o más, si así fuera indicado por el Ingeniero. Se sugiere hacer el aserrado con hojas de diamante y no en seco con hojas abrasivas.

b. Retiro del Pavimento
Luego que las juntas han sido aserradas, para aislar por completo el pavimento, se puede comenzar a retirar este, protegiendo los bordes que permanecen en su lugar.

c. Control de Circulación
Luego de que un pavimento se saca y hasta que el nuevo pavimento se construya en su lugar, no se aconseja que se transite, ya que se pueden dañar los bordes expuestos del pavimento que queda.

ART. 9.6 CONSERVACIÓN Y REPARACIÓN DE PAVIMENTOS DE ADOQUINES

9.6.1 ADOQUINES DE PIEDRA
Se recolocan los adoquines en las zonas en que hayan perdido su primitiva disposición o trabazón, o cuando hayan sido extraídos, si se trata de una reparación de pavimento.

Refiriéndose al procedimiento a seguir, se sugieren las siguientes operaciones:

a. Extracción de los adoquines y del material de la base, de un área aproximadamente rectangular, que se circunscriba en la zona dañada.
b. Recompactación de la Subrasante.
c. Reposición de la base con un material que cumpla con lo especificado en el capítulo correspondiente. Si la base es de hormigón, se recomienda emplear un hormigón de 10 cm de espesor.
d. Colocación de una capa de mortero, de dosificación 1:4 en volumen, de 3 cm de espesor.
e. Colocación de los adoquines, siguiendo las directivas de la especificación de construcción de adoquines de piedra.

9.6.2 ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN
Además de los trabajos de reparación que se ejecutan a estos pavimentos, se efectúa una conservación de las superficies más o menos extensas cuando se observen desnivelaciones que puedan afectar las condiciones de tránsito de vehículos o peatones o impedir el adecuado escurrimiento de las aguas superficiales.

El citado trabajo de conservación se desarrolla según el procedimiento que a continuación se sugiere:

a. Extracción de los adoquines en toda la zona comprometida, en un área ligeramente superior y de forma geométrica regular.

b. Extracción de la capa de arena de asentamiento de los adoquines.

c. Extracción de la subbase de la misma zona.

d. Recompactación de la subrasante.

e. Reposición del material de la subbase con un material que cumpla con las especificaciones indicadas en el capítulo correspondiente.

f. Compactación de la subbase.

g. Colocación de la capa de arena.

h. Colocación de los adoquines, siguiendo las operaciones de vibración que corresponda.

Las operaciones f., g., y h., se realizan de acuerdo a las especificaciones de construcción de pavimentos de adoquines prefabricados de hormigón.

ART. 9.7 CONSERVACIÓN Y REPARACIÓN DE VEREDAS DE HORMIGÓN Y BALDOSAS

9.7.1 VEREDAS DE HORMIGÓN

En la conservación de veredas de hormigón se distinguen dos casos: el primero se refiere a la recolocación de los pastelones prefabricados que han sido extraídos y en el segundo, a la reconstrucción de los pastelones en sitio.

En ambos casos, se requiere comprobar las condiciones que presenten la base y la subrasante; y si es necesario se procede a su reconstrucción y compactación. La colocación de los pastelones prefabricados se realiza sobre una capa de mortero de 4 cm de espesor, sobre la cual se asientan los pastelones, golpeándolos ligeramente a fin de que queden perfectamente nivelados.

En el segundo caso, se reconstruyen los pastelones en la forma descrita en las especificaciones de construcción de veredas de hormigón. En ambos casos, se recomienda emplear hormigón H 30.

9.7.2 VEREDAS DE BALDOSAS

Para la conservación de las veredas de baldosas, se sugiere emplear el siguiente procedimiento:

a. Extracción de los elementos sueltos o quebrados.

b. Extracción de las baldosas inmediatamente adyacentes al área dañada.

c. Extracción de la capa de asiento de mortero y, si fuese necesario, del material de la base.

d. Reconstrucción y/o recompactación de la base.

e. Recolocación de la capa de mortero.

f. Colocación de baldosas que cumplan con las especificaciones indicadas anteriormente y con las normas chilenas correspondientes, dejándolas perfectamente a nivel con las superficies adyacentes.

g. Colocación de la lechada de cemento.

Los puntos d., e., f., y g., se cumplen de acuerdo a las correspondientes especificaciones de construcción de veredas de baldosas.

Antes de ser entregadas al tránsito, las zonas reparadas se humedecen permanentemente durante un período de siete días, a menos que se utilice un método para ser entregadas al tránsito antes del tiempo estipulado.

SECCIÓN 10

CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y RESTAURACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

SECCIÓN 10

CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y RESTAURACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

ART. 10.1 INTRODUCCIÓN

Los pavimentos son construidos con el fin de proporcionar una superficie de circulación confortable a los usuarios que transiten por ellos.

La reducción de los tiempos de circulación y la seguridad que entrega una vía a sus usuarios, ya sean peatones, conductores o pasajeros, es una característica necesaria y altamente valorada por las personas. Por lo tanto, la conservación del buen estado de los pavimentos es imprescindible.

Es recomendable que los pavimentos asfálticos mantengan en el tiempo las siguientes características:

10.1.1 SOPORTE DE LAS CARGAS PRODUCIDAS POR EL TRÁFICO

La vía es la encargada de soportar las cargas que el tráfico ocasiona, sin que se produzcan desplazamientos en la superficie, base o subbase del pavimento.

10.1.2 PROTECCIÓN CONTRA EL AGUA

Un exceso de agua en los materiales que componen la vía, ocasiona la lubricación de las partículas con la consiguiente pérdida de capacidad de soporte. Se aconseja tener especial cuidado al proyectar una vía, con el control de aguas, tanto de superficie como filtrantes. El asfalto puede sellar la superficie de la vía contra el exceso de agua fluyente, si el material granular está correctamente graduado.

10.1.3 TEXTURA SUPERFICIAL ADECUADA

Se recomienda que la capa de rodadura sea segura para la conducción de vehículos y lo suficientemente lisa para proporcionar una marcha confortable. La buena combinación del asfalto y las partículas granulares puede producir una excelente textura superficial de conducción segura y marcha suave.

10.1.4 RESISTENCIA A LA OXIDACIÓN

El sol, el viento y las variaciones de temperatura afectan a los materiales bituminosos, por lo tanto, una buena elección de materiales y un buen plan de conservación pueden mantener la flexibilidad y propiedades ligantes del asfalto.

Debido que los pavimentos están constantemente sometidos a cargas de tráfico y a los efectos del clima, su desgaste es inminente y difícil de controlar, si no se aplican acciones de conservación o correctivas en los tiempos adecuados. A partir de esto, se hace necesario implementar acciones que permitan disminuir los efectos dañinos que dichos factores generan sobre las superficies pavimentadas.

En particular los pavimentos asfálticos se ven afectados en mayor grado por las cargas y el clima, ya que las propiedades mecánicas de este material se ven altamente influenciadas por la temperatura a la cual trabaja. El asfalto es un material rígido a bajas temperaturas y flexible a temperaturas altas, pero los rangos son variables dependiendo del tipo de asfalto, por esto es sumamente difícil predecir su comportamiento bajo el efecto de un determinado clima. Si bien existen pautas que indican qué tipo de asfalto puede tener mejor desempeño para cierto tipo de clima, su deterioro por efecto de este factor es inevitable, pero controlable.

En todos los materiales asfálticos existe un fenómeno conocido como envejecimiento, el cual es producto principalmente de la evaporación de ciertos componentes del asfalto y de la oxidación por el oxígeno del aire. La modificación química que sufre el ligante asfáltico se traduce en una alteración de la estructura

del asfalto, aumentando su dureza, rigidez y fragilidad; y como consecuencia de esto, pierde la capacidad de ser un ligante adecuado para pavimentos asfálticos.

ART. 10.2 PRINCIPALES DETERIOROS DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

10.2.1 AGRIETAMIENTO DE LA CARPETA ASFÁLTICA

10.2.1.1 AGRIETAMIENTO POR FATIGA

10.2.1.1.1 DESCRIPCIÓN

El agrietamiento por fatiga es un deterioro estructural que se caracteriza por tener un desarrollo progresivo. En su etapa inicial se manifiesta con algunas grietas longitudinales, las que en una etapa intermedia de desarrollo, se interconectan con otras grietas, formando de este modo, trozos de ángulos agudos y de dimensión máxima, menor a 0,3 m. Debido a su aspecto, este agrietamiento es conocido a su vez, como "agrietamiento piel de cocodrilo".

Este deterioro se desarrolla, principalmente, en los sectores del pavimento sobre los cuales se efectúa el traspaso de cargas del tránsito, es decir, en la huella de la rueda de los vehículos. Frecuentemente se puede observar que en las áreas donde se desarrollan las grietas por fatiga, se manifiesta paralelamente, el deterioro denominado "ahuellamiento". Otra característica usual de este deterioro, es que en una etapa avanzada de su desarrollo, el alto nivel de severidad que alcanza, provoca que se desprendan trozos de la carpeta de rodado, dando origen de este modo, a la formación de baches.

10.2.1.1.2 CAUSAS

En el contexto de la ciencia de materiales, el término fatiga se define como "la disminución de la resistencia mecánica de los materiales, al someterlos a esfuerzos repetidos". En este caso, los esfuerzos que producen la fatiga del pavimento, son principalmente los generados por las cargas del tráfico.

La estructura de un pavimento asfáltico urbano está compuesta de varias capas y la fatiga puede desencadenarse por efectos de los esfuerzos repetidos, en cualquiera de estas capas.

Los principales factores que favorecen el desarrollo de la fatiga son:

- Vehículos que exceden el nivel de carga para el cual fue diseñado el pavimento.
- Deficiencia en la capacidad de soporte de la estructura del pavimento. Esta puede ser consecuencia de una mala compactación y/o de espesores insuficientes de las capas. También la deficiencia de la estructura, puede ser generada por un inadecuado sistema de drenaje (veredas con jardines), ya que al penetrar el agua a las capas subyacentes, estas pierden capacidad de soporte.
- Mezclas asfálticas demasiado rígidas. Esto impide que la capa asfáltica pueda deformarse al recibir cargas, ya que al ser rígida se torna frágil. El exceso de rigidización puede ser consecuencia de un mal diseño de mezcla y/o del envejecimiento del asfalto.

10.2.1.1.3 NIVELES DE SEVERIDAD

- Baja : La gran mayoría de las fisuras del área deteriorada tienen un ancho que no supera los 3 mm.
- Media : Existe un patrón definido de agrietamiento; las grietas tienen un ancho comprendido entre 3 mm y 10 mm.
- Alta : Las mayoría de las grietas tienen un ancho mayor a 10 mm.

10.2.1.1.4 MEDICIÓN

Registrar el área de pavimento agrietada, clasificada según nivel de severidad. Medir o estimar si el largo total de grietas existentes en la superficie sobrepasa o no los 0,5 ml por m^2 de superficie.

10.2.1.1.5 REPARACIÓN

- Severidad Baja : Aplicar Lechada Asfáltica.
- Severidad Media :
  - » Si la longitud total promedio de agrietamiento en el área medida es menor a 0,5 ml/m^2, sellar grietas.
  - » Si la longitud total promedio de agrietamiento en el área medida es mayor a 0,5 ml/m^2, aplicar sobre el área agrietada el procedimiento denominado Scrub Seal y sobre este, una lechada asfáltica, un micropavimento o un microaglomerado en caliente.
- Severidad Alta : Realizar reparación de espesor parcial o espesor completo, fresado y recapado, o reconstrucción de la carpeta asfáltica.

10.2.1.2 AGRIETAMIENTO EN BLOQUE

10.2.1.2.1 DESCRIPCIÓN

Es un tipo de agrietamiento del pavimento que se caracteriza por la interconexión de grietas longitudinales y trasversales (respecto al eje de la vía), en ángulos aproximadamente rectos. Esta interconexión genera bloques rectangulares de diversas dimensiones, generalmente en un rango entre 0,3 m^2 y 10 m^2.

10.2.1.2.2 CAUSAS

Este deterioro se genera por la acción de los ciclos de variación de temperatura sobre la carpeta de asfalto.

Cuando hay un aumento de temperatura, el material asfáltico se dilata y, por el contrario, cuando hay una disminución de esta, la carpeta se contrae, lo que es posible gracias a las propiedades visco elásticas que provee el cemento asfáltico a la mezcla. Cuando el aumento o disminución de la temperatura sobrepasan la capacidad de deformación de la mezcla, esta se agrieta, dando origen al agrietamiento en bloque.

Existe un factor que influye directamente sobre la capacidad de deformación de la mezcla asfáltica: la rigidez que esta posea, la cual aumenta por la influencia individual o conjunta de los siguientes factores:

- Envejecimiento del asfalto.
- Cementos asfálticos no adecuados (baja penetración).
- Mal diseño volumétrico de la mezcla (baja proporción de cemento asfáltico en la mezcla).
- Aunque la causa de este agrietamiento no es la fatiga por cargas de tráfico, una vez producido el deterioro, estas cargas incrementan severamente el agrietamiento en bloque, al haber perdido la capa asfáltica su continuidad física y resistente.

10.2.1.2.3 NIVELES DE SEVERIDAD

- Baja : La gran mayoría de las fisuras del área deteriorada tienen un ancho que no supera los 3 mm.
- Media : Existe un patrón definido de agrietamiento; las grietas tienen un ancho comprendido entre 3 mm y 10 mm.
- Alta : Las mayoría de las grietas tienen un ancho mayor a 10 mm.

10.2.1.2.4 MEDICIÓN

Registrar el área de pavimento agrietada, clasificada según nivel de severidad. Medir o estimar si el largo total de grietas existentes en la superficie sobrepasa o no los 0,5 ml por m^2 de superficie.

10.2.1.2.5 REPARACIÓN SEGÚN NIVEL DE SEVERIDAD

- Severidad Baja : Aplicar Lechada Asfáltica.
- Severidad Media :
  - » Si la longitud total promedio de agrietamiento en el área medida es menor a 0,5 ml/m^2, sellar grietas.
  - » Si la longitud total promedio de agrietamiento en el área medida es mayor a 0,5 ml/m^2, aplicar sobre el área agrietada el procedimiento denominado Scrub Seal y sobre este, una lechada asfáltica o micropavimento o microaglomerado en caliente.
- Severidad Alta : Realizar reparación de espesor parcial o espesor completo, Fresado y Recapado, o reconstrucción de la carpeta asfáltica.

10.2.1.3 AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL

10.2.1.3.1 DESCRIPCIÓN

La grieta longitudinal es aquella que se extiende paralela al eje de la vía. Por lo general se presenta en la huella de la rueda, o en la junta longitudinal de construcción.

10.2.1.3.2 CAUSAS

Las principales causas que dan origen a este deterioro son: problemas estructurales, contracción térmica de la carpeta de asfalto y fallas asociadas a la construcción de la junta longitudinal del pavimento.

Los problemas estructurales asociados a esta falla se generan a partir de la mala compactación de las capas subyacentes y/o el mal sistema de drenaje. La compactación inadecuada durante el proceso de construcción del pavimento, se traduce en un asentamiento de las capas con el paso de los vehículos, lo que desencadena las grietas en la superficie. Por otra parte, un mal sistema de drenaje afecta las capas subyacentes del pavimento, lo que disminuye la resistencia al esfuerzo cortante e induce el agrietamiento.

La contracción térmica de la carpeta de asfalto, al igual que en las grietas transversales, se origina por la disminución excesiva y prolongada de la temperatura. Si la contracción sobrepasa la resistencia a la tensión del asfalto, este comienza a fallar, dando origen al agrietamiento longitudinal.

La junta longitudinal de construcción es un sector débil del pavimento, debido a la diferencia de densidad entre los bordes que la componen; por lo tanto, es altamente probable que se agriete producto de la contracción térmica, por las cargas del tránsito o incluso cuando esta junta queda ubicada justo en el paso de la rueda. Que la junta longitudinal sea una zona débil, es consecuencia del proceso constructivo. Cuando se extiende la primera franja de asfalto, el borde que queda para formar la futura junta de construcción, no está confinado, por lo tanto, la densidad de este sector tiende a ser menor que la del borde de la segunda franja puesta, ya que esta se encuentra confinada por la primera franja.

10.2.1.3.3 NIVELES DE SEVERIDAD

- Baja : La gran mayoría de las fisuras del área deteriorada tienen un ancho que no supera los 3 mm.
- Media : Existe un patrón definido de agrietamiento; las grietas tienen un ancho comprendido entre 3 mm y 10 mm.
- Alta : La mayoría de las grietas tienen un ancho mayor a 10 mm.

10.2.1.3.4 MEDICIÓN

Registrar el área de pavimento agrietada, clasificada según el nivel de severidad. Medir o estimar si el largo total de grietas existentes en la superficie sobrepasa o no los 0,5 ml por m^2 de superficie.

10.2.1.3.5 REPARACIÓN

- Severidad Baja :
  - » Si las fisuras son escasas en la superficie, se sellan.
  - » Si la densidad de grietas en la superficie del pavimento es alta, aplicar lechada asfáltica.
- Severidad Media :
  - » Si la longitud total promedio de agrietamiento en el área medida es menor a 0,5 ml/m^2, sellar grietas.
  - » Si la longitud total promedio de agrietamiento en el área medida es mayor a 0,5 ml/m^2, aplicar sobre el área agrietada el procedimiento denominado Scrub Seal y sobre este una lechada asfáltica, micropavimento o microaglomerado en caliente.
- Severidad Alta :
  - » Si la longitud total promedio de agrietamiento en el área medida es menor a 0,5 ml/m^2, sellar grietas.
  - » Si la longitud total promedio de agrietamiento en el área medida es mayor a 0,5 ml/m^2, realizar reparación de espesor parcial o espesor completo, fresado y recapado, o reconstrucción de la carpeta asfáltica.

10.2.1.4 AGRIETAMIENTO TRANSVERSAL

10.2.1.4.1 DESCRIPCIÓN

La grieta transversal es aquella de longitud variable, que se extiende sobre el pavimento en un ángulo aproximadamente recto respecto al eje de la vía. Por lo general, se presentan regularmente espaciadas.

Es común encontrarlas además, en sectores donde se han ejecutado juntas transversales de construcción.

10.2.1.4.2 CAUSAS

Las principales causas asociadas a este deterioro son: los efectos de la temperatura sobre la carpeta asfáltica y la construcción deficiente de la junta.

Las altas variaciones de temperatura que ocurren en un día, provocan la dilatación y contracción de la carpeta de asfalto, por lo cual es posible que este efecto genere la fatiga térmica del material, debido al constante aumento y disminución de tensiones. Además, la disminución violenta y prolongada de la temperatura genera una gran contracción de la mezcla asfáltica, la cual, al superar la resistencia a la tensión que posee el asfalto, induce el agrietamiento transversal.

El envejecimiento del asfalto. Los asfaltos de baja penetración o las mezclas mal diseñadas, influyen directamente sobre el aumento de rigidización de la carpeta asfáltica, por lo tanto, estos factores favorecen la formación de grietas transversales, ya que la carpeta disminuye su capacidad de deformarse ante las distintas tensiones térmicas que actúen sobre ella.

Por último, como el sector de las juntas de construcción, es un área más débil que el pavimento (al igual que la junta longitudinal), los efectos de las tensiones térmicas sobre la carpeta de asfalto, desencadenan la formación de grietas justo sobre estos sectores que poseen menor resistencia a la tensión.

10.2.1.4.3 NIVELES DE SEVERIDAD

- Baja : La gran mayoría de las fisuras del área deteriorada tienen un ancho que no supera los 3 mm.
- Media : Existe un patrón definido de agrietamiento; las grietas tienen un ancho comprendido entre 3 mm y 10 mm.
- Alta : La mayoría de las grietas tienen un ancho mayor a 10 mm.

10.2.1.4.4 MEDICIÓN

Registrar el área de pavimento agrietada, clasificada según el nivel de severidad. Medir o estimar si el largo total de grietas existentes en la superficie sobrepasa o no los 0,5 ml por m^2 de superficie.

10.2.1.4.5 REPARACIÓN

- Severidad Baja :
  - » Si las fisuras son escasas en la superficie, se sellan.
  - » Si la densidad de grietas en la superficie del pavimento es alta, aplicar lechada asfáltica.
- Severidad Media :
  - » Si la longitud total promedio de agrietamiento en el área medida es menor a 0,5 ml/m^2, sellar grietas.
  - » Si la longitud total promedio de agrietamiento en el área medida es mayor a 0,5 ml/m^2, aplicar sobre el área agrietada el procedimiento denominado Scrub Seal y sobre este una lechada asfáltica, micropavimento o microaglomerado en caliente.
- Severidad Alta :
  - » Si la longitud total promedio de agrietamiento en el área medida es menor a 0,5 ml/m^2, sellar grietas.
  - » Si la longitud total promedio de agrietamiento en el área medida es mayor a 0,5 ml/m^2, realizar reparación de espesor parcial o espesor completo, fresado y recapado, o reconstrucción de la carpeta asfáltica.

10.2.1.5 GRIETAS POR REFLEXIÓN

10.2.1.5.1 DESCRIPCIÓN

Este agrietamiento es característico de pavimentos mixtos, es decir, de aquellos en que un antiguo y/o deteriorado pavimento de hormigón ha sido cubierto con una carpeta de asfalto, la que pasa a cumplir la función de carpeta de rodado. La distribución y longitud de las grietas en el asfalto dependen directamente de las grietas y juntas existentes en la carpeta subyacente de hormigón, ya que este deterioro se genera por la propagación ascendente, hacia la superficie asfáltica, de las juntas y grietas del pavimento de hormigón.

10.2.1.5.2 CAUSAS

La principal causa de este deterioro son los movimientos verticales de la losa de hormigón subyacente a la carpeta de asfalto, ya que estos inducen la propagación ascendente de las grietas y juntas.

10.2.1.5.3 NIVELES DE SEVERIDAD

- Baja : La gran mayoría de las fisuras del área deteriorada tienen un ancho que no supera los 3 mm.
- Media : Existe un patrón definido de agrietamiento; las grietas tienen un ancho comprendido entre 3 mm y 10 mm.
- Alta : La mayoría de las grietas tienen un ancho mayor a 10 mm.

10.2.1.5.4 MEDICIÓN

Registrar el área de pavimento agrietada, clasificada según nivel de severidad. Medir o estimar si el largo total de grietas existentes en la superficie sobrepasa o no los 0,5 ml por m^2 de superficie.

10.2.1.5.5 REPARACIÓN

- Severidad Baja : No aplicar técnica de reparación.
- Severidad Media : No aplicar técnica de reparación.
- Severidad Alta : Reconstruir carpeta.

10.2.2 DESINTEGRACIÓN DE LA CARPETA ASFÁLTICA

10.2.2.1 BACHES

10.2.2.1.1 DESCRIPCIÓN

Los baches son cavidades en el pavimento, de aspecto redondeado, que se generan producto de la desintegración total o parcial de la carpeta de rodado. Estas cavidades pueden extenderse, en profundidad, hacia las capas subyacentes del pavimento.

Es común encontrarlos en zonas de transición entre un pavimento de asfalto y otro de hormigón y en zonas afectadas por un severo agrietamiento por fatiga.

10.2.2.1.2 CAUSAS

La principal causa de la formación de baches es el efecto de la infiltración de agua hacia las capas inferiores de la estructura del pavimento. Al alojarse el agua en las capas subyacentes a la carpeta de rodado, esta comienza a generar presiones, lo que combinado con las cargas de tráfico, provocan el desprendimiento de la carpeta de rodado. Es por esto, que el agrietamiento de la carpeta de rodado es el mejor escenario para el comienzo de la formación de baches.

10.2.2.1.3 NIVELES DE SEVERIDAD

- Baja : Profundidad del bache menor a 30 mm.
- Media : Profundidad del bache mayor o igual a 30 mm y menor o igual a 50 mm.
- Alta : Profundidad del bache mayor a 50 mm.

10.2.2.1.4 MEDICIÓN

Registrar el área de la superficie afectada por el bache, según el nivel de severidad.

10.2.2.1.5 REPARACIÓN

- Si el área de la superficie en análisis, presenta una baja cantidad de baches, se procede según la operación de bacheo superficial.
- Si el área de la superficie en estudio, presenta una cantidad considerable de baches, las técnicas apropiadas a aplicar son el fresado y recapado, o la reconstrucción de la carpeta, en toda el área afectada por baches.

10.2.2.2 DESGASTE DE LA SUPERFICIE

10.2.2.2.1 DESCRIPCIÓN

Este deterioro se reconoce por el desprendimiento del mortero asfáltico más superficial de la carpeta, dejando expuesto el agregado grueso que compone la mezcla asfáltica. Cuando esto ocurre, se pueden observar dos situaciones respecto al comportamiento del agregado grueso de la mezcla asfáltica:

a. Pulimiento del agregado: cuando el agregado es de baja tenacidad o posee una superficie lisa, se aprecia una pérdida de fricción de la superficie, producto del desgaste del agregado bajo las cargas repetitivas del tránsito.

b. Pérdida de agregado: cuando hay una escasa afinidad entre el mortero asfáltico y el árido grueso, este comienza a desprenderse de la superficie con las cargas del tránsito.

10.2.2.2.2 CAUSAS

Las principales causas del desprendimiento del mortero asfáltico superficial son:

- Superficies envejecidas por la oxidación del asfalto.
- Bajo contenido de cemento asfáltico en la mezcla.
- Utilización de agregados desmenuzables en la mezcla.
- Falta de afinidad agregado-asfalto.
- Por presencia de agua en la mezcla.

10.2.2.2.3 NIVELES DE SEVERIDAD

No existen niveles de severidad definidos para este deterioro. Se puede cuantificar el deterioro evaluando la fricción del pavimento.

10.2.2.2.4 MEDICIÓN

Registrar el área de la superficie afectada por este deterioro.

10.2.2.2.5 REPARACIÓN

Una reparación efectiva, es aplicar un sello neblina para mejorar la adhesividad de los agregados con el mortero asfáltico.

Si el desgaste de la superficie afecta la fricción de la superficie de rodado, comprometiendo la seguridad vial, se puede recuperar la textura superficial aplicando un sello de agregados, una lechada asfáltica, un micropavimento o un microaglomerado discontinuo en caliente.

10.2.3 DEFORMACIONES DEL PAVIMENTO

10.2.3.1 AHUELLAMIENTO

10.2.3.1.1 DESCRIPCIÓN

El ahuellamiento es un deterioro que se origina en cualquiera de las capas de un pavimento asfáltico, pero que se manifiesta en la superficie de rodadura como una depresión longitudinal canalizada en la huella de circulación de los vehículos. En los pavimentos urbanos es frecuente que este deterioro se encuentre acompañado de agrietamiento por fatiga.

10.2.3.1.2 CAUSAS

Las causas del ahuellamiento de la carpeta asfáltica, pueden originarse en las capas subyacentes y/o la carpeta asfáltica en sí.

a. Ahuellamiento en Capas Subyacentes (base, subbase, subrasante): El ahuellamiento puede producirse por una inadecuada compactación de estas capas, ya que en los primeros años de servicio del pavimento, las capas subyacentes se comienzan a consolidar, con lo cual se produce un descenso de todas las capas superiores, dando origen así al ahuellamiento en la superficie de rodado. Otro factor que incide en este deterioro es la colocación de capas con una capacidad de soporte inadecuada para las cargas recibidas.

b. Ahuellamiento en Carpeta Asfáltica: Por lo descrito en el punto anterior, una mala compactación de la mezcla asfáltica también da origen a ahuellamiento. Pero el factor más destacado, es el comportamiento viscoelastoplástico del asfalto. Al recibir cargas, la carpeta asfáltica sufre una deformación elástica y una plástica, la deformación elástica se recupera en el tiempo, pero la deformación plástica se acumula con el paso de las cargas. Este fenómeno es más perceptible en zonas de tráfico lento, o en zonas de altas temperaturas y en los primeros años de servicio del pavimento, en donde el envejecimiento del asfalto es escaso, careciendo de rigidez.

10.2.3.1.3 NIVELES DE SEVERIDAD

- Baja : Profundidad máxima del ahuellamiento menor a 20 mm.
- Media : Profundidad máxima del ahuellamiento mayor a 20 mm y menor a 40 mm.
- Alta : Profundidad máxima del ahuellamiento mayor a 40 mm.

10.2.3.1.4 MEDICIÓN
Se mide el área de la superficie del pavimento afectada por el ahuellamiento, clasificada según los niveles de severidad descritos anteriormente.

10.2.3.1.5 REPARACIÓN
- Severidad Baja : Se puede aún no aplicar técnica de reparación o rellenar las huellas con mezcla asfáltica hasta nivelar con la superficie adyacente.
- Severidad Media : Aplicar fresado y recapado.
- Severidad Alta : Aplicar reparación de espesor parcial o completo.

10.2.3.2 ONDULACIONES

10.2.3.2.1 DESCRIPCIÓN
Deformación del perfil longitudinal con crestas y valles regularmente espaciados con ondas cortas (calamina), a veces acompañados de grietas semicirculares. También puede presentarse como una onda individual que normalmente se produce en la zona de cambio de un pavimento flexible hacia otro rígido (en el sentido del tránsito).

10.2.3.2.2 CAUSAS
Las principales causas asociadas a este deterioro, son las cargas de tráfico sumadas a factores que contribuyen a la inestabilidad de la mezcla, como son:

- Utilización de áridos lisos, es decir, no chancados.
- Exceso de cemento asfáltico en la mezcla.
- Cemento asfáltico blando.
- Inadecuado riego de liga.

En el caso de ondulaciones extensivas las posibles causas son:

- Diseño inadecuado de la mezcla (uso de áridos redondeados, dosificación inadecuada del ligante, ligante blando, etc.).
- Estructura inadecuada para tramos con pendiente longitudinal muy pronunciada.
- Estructura inadecuada para una zona de frenado.

En el caso de ondulaciones individuales la posible causa es:

- Mezcla asfáltica poco estable, con cemento asfáltico muy blando y/o espesor de la capa inadecuado.

10.2.3.2.3 NIVELES DE SEVERIDAD
- En áreas con ondulaciones extensivas, se puede establecer el nivel de severidad según el incremento que experimenta la rugosidad (IRI) del área afectada.
- Para ondulaciones individuales, cualquier protuberancia mayor a 50 mm se considera de alta severidad.

10.2.3.2.4 MEDICIÓN
- Para ondulaciones extensivas, medir el área de superficie afectada por las ondulaciones.
- Para ondulaciones individuales, comparar si la altura de la ondulación es mayor a 50 mm.

10.2.3.2.5 REPARACIÓN
- En el caso de ondulación extensiva, fresar y recapar.
- En el caso de ondulaciones individuales, aplicar bache superficial o profundo según corresponda.

10.2.3.3 DEFORMACIÓN TRANSVERSAL

10.2.3.3.1 DESCRIPCIÓN
Las deformaciones transversales son cordones o protuberancias que afectan al perfil longitudinal del pavimento. Generalmente se encuentran ubicadas a un costado del pavimento.

10.2.3.3.2 CAUSAS
Las principales causas de este deterioro son las cargas del tránsito actuando sobre mezclas asfálticas poco estables. Estas mezclas se caracterizan por poseer:

- Áridos lisos, es decir, no chancados.
- Exceso de cemento asfáltico.
- Cemento asfáltico blando.
- Inadecuado riego de liga.

10.2.3.3.3 NIVELES DE SEVERIDAD
- Baja : Desnivel máximo entre el fondo de la huella y la cresta del levantamiento, menor a 20 mm.
- Media : Desnivel máximo entre el fondo de la huella y la cresta del levantamiento, mayor a 20 mm y menor a 40 mm.
- Alta : Desnivel máximo entre el fondo de la huella y la cresta del levantamiento, mayor a 40 mm.

10.2.3.3.4 MEDICIÓN
Medir el área superficial afectada por este deterioro.

10.2.3.3.5 REPARACIÓN
- Severidad Baja : No se aplica técnica de reparación.
- Severidad Media : Fresar y recapar.
- Severidad Alta : Reparación de espesor parcial o completo.

10.2.4 OTROS DETERIOROS

10.2.4.1 PARCHES DETERIORADOS

10.2.4.1.1 DESCRIPCIÓN
Los parches son áreas generalmente cuadradas o rectangulares, que por encontrarse en malas condiciones o por trabajos relacionados con instalaciones públicas (alcantarillado, aguas lluvias, etc.) son removidas y reemplazadas por una carpeta asfáltica de características iguales o similares. Generalmente el parche tiene un comportamiento inferior al pavimento original, lo que conlleva al deterioro de estos.

10.2.4.1.2 CAUSAS

La principal causa de este deterioro es la insuficiencia estructural. La capacidad estructural del parche, generalmente es inferior a las cargas de tráfico recibidas por este, lo que puede ser consecuencia de un mal dimensionamiento, una compactación insuficiente, mezcla asfáltica mal diseñada, etc.

Cuando los parches son una reparación de un área deteriorada, es muy posible que se vuelvan a dañar si no se corrige la causa del deterioro (por ejemplo: infiltración de agua).

10.2.4.1.3 NIVELES DE SEVERIDAD

- Baja : Cualquiera sea el tipo de deterioro que presenta el parche, si es de baja severidad o el escalonamiento o asentamiento del perímetro es imperceptible.
- Media : Cualquiera sea el tipo de deterioro que presenta el parche, si es de severidad media o el escalonamiento o asentamiento del perímetro no supera los 5 mm.
- Alta : Cualquiera sea el tipo de deterioro que presenta el parche, si es de alta severidad o el escalonamiento o asentamiento del perímetro es mayor que 5 mm.

10.2.4.1.4 MEDICIÓN

Medir la superficie afectada por este deterioro.

10.2.4.1.5 REPARACIÓN

- Baja : Aplicar lechada asfáltica o sello de agregados.
- Media : Aplicar fresado y recapado.
- Alta : Aplicar reconstrucción de la carpeta asfáltica.

10.2.4.2 EXUDACIÓN

10.2.4.2.1 DESCRIPCIÓN

La exudación es la migración de ligante asfáltico hacia la superficie del pavimento y se reconoce por la presencia de una capa más oscura, brillante y pegajosa sobre esta. Generalmente este defecto aparece en las huellas de los vehículos.

El principal problema asociado a este deterioro, es la pérdida de resistencia al deslizamiento, lo cual es una condición de riesgo para los conductores.

10.2.4.2.2 CAUSAS

La exudación ocurre principalmente en épocas del año calurosas y las principales causas asociadas a este deterioro son:

- Exceso de cemento asfáltico en una o más de las capas del pavimento.
- Riego de imprimación o liga demasiado gruesa.
- Carencia de vacíos en la mezcla asfáltica.
- Además de las altas temperatura, el exceso de carga sobre el pavimento induce el afloramiento del ligante asfáltico.

10.2.4.2.3 NIVELES DE SEVERIDAD

De preferencia, establecer niveles de severidad en función de la reducción que experimente la resistencia al deslizamiento. Cuando se carece del instrumental para medir el coeficiente de fricción, se puede clasificar como sigue:

- Baja : El área del pavimento (especialmente la huella) presenta un color ligeramente más oscuro que el resto de la superficie.
- Media : La zona presenta un cambio de textura debido a la película superficial de asfalto que se ha formado.
- Alta : En la zona afectada la superficie se presenta brillante, casi no puede verse el árido, y con altas temperaturas ambientales, los neumáticos de los vehículos dejan marcas.

10.2.4.2.4 MEDICIÓN

No se aplica método de medición.

10.2.4.2.5 REPARACIÓN

- Baja : No aplicar técnica de reparación.
- Media y Alta : Fresar y recapar.

ART. 10.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE TRABAJOS DE CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y RESTAURACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

10.3.1 TÉCNICAS DE CONSERVACIÓN

El deterioro de los pavimentos asfálticos, es un proceso progresivo e inevitable debido a la constante interacción de estos con agentes climáticos y por la acción de esfuerzos mecánicos provenientes del tráfico. Por ello es necesario aplicar sobre los pavimentos técnicas de conservación, cuyo objetivo es restaurar las condiciones iniciales de la superficie de rodado, empleando agentes rejuvenecedores y sellando los primeros indicios de agrietamiento, producto del envejecimiento del asfalto; todo esto, previamente a la aparición de fallas puntuales.

Estos procedimientos contribuyen a la disminución de la tasa de deterioro del pavimento en el tiempo, extendiendo así su vida útil.

A continuación se describen las distintas técnicas que se consideran para la conservación de pavimentos asfálticos.

10.3.1.1 RIEGO NEBLINA

10.3.1.1.1 DESCRIPCIÓN

Es una suave aplicación de una emulsión asfáltica de quiebre lento, diluida con agua sobre una superficie de pavimento existente. Esta se diluye en variadas proporciones, hasta una parte de emulsión por cinco partes de agua; pero en la mayoría de los casos, se usa una dilución uno es a uno.

Un riego neblina es una valiosa ayuda de mantenimiento cuando se usa con este propósito. Se emplea para renovar superficies viejas de pavimentos que han perdido asfalto y se han convertido en quebradizas con la edad, para sellar pequeñas grietas y superficies porosas. Este no es sustituto de un sello de agregados o de una lechada asfáltica.

La cantidad justa de emulsión de baja viscosidad (diluida), fluye fácilmente dentro de la grieta y superficie porosa. Esto también recubre partículas de agregado en la superficie. Esta acción correctiva prolonga la vida del pavimento y puede demorar la necesidad de una mayor conservación o rehabilitación.

10.3.1.1.2 ESPECIFICACIÓN TÉCNICA
Ver Art. 5.6 de la Sección 05.

10.3.1.2 SCRUB SEAL

10.3.1.2.1 DESCRIPCIÓN
Consiste en la aplicación de un riego neblina como el descrito anteriormente, pero con la incorporación de cepillos en la parte trasera del camión regador, que ayudan a la emulsión a penetrar en el fondo de las fisuras. Es un tratamiento superficial efectivo para pavimentos fisurados y oxidados. El propósito de esta técnica es sellar pequeñas grietas, fisuras, poros, etc., previamente a la aplicación de un sello superficial.

10.3.1.2.2 ESPECIFICACIÓN TÉCNICA
Se recomienda que la especificación técnica de construcción del Scrub Seal, cumpla con lo dispuesto en el Artículo 5.6 de la Sección 5 “Riego Neblina”. Se incorporan al equipo de extensión (camión regador), cepillos en la parte posterior, de manera que estos ayuden a la penetración de la emulsión en la superficie del pavimento a tratar.

10.3.1.3 LECHADA ASFÁLTICA Y MICROPAVIMENTOS

10.3.1.3.1 DESCRIPCIÓN
La lechada es una mezcla de agregado fino bien graduado, filler mineral (si es necesario), asfalto emulsificado y agua, aplicado a un pavimento como un tratamiento superficial. Se usa en conservación y reparación de superficies de pavimentos asfálticos. Esta técnica no aumenta la resistencia estructural de una sección de pavimento. Se recomienda que cualquier pavimento que está funcional y estructuralmente débil en áreas localizadas, se repare antes de aplicar la lechada asfáltica.

Cuando la lechada asfáltica se aplica correctamente sobre la superficie de un pavimento, puede ser muy efectiva. La oportuna aplicación puede ayudar a reducir deterioros superficiales causados por la oxidación del asfalto y la rigidización del pavimento. Esta sella las superficies agrietadas, detiene el envejecimiento de la mezcla, impermeabiliza las superficies porosas del aire y agua y mejora la resistencia al deslizamiento y apariencia del pavimento.

El micropavimento posee características similares a la lechada asfáltica, pero para su fabricación se utiliza una emulsión modificada y los agregados poseen mejores propiedades mecánicas que los de las lechadas.

10.3.1.3.2 ESPECIFICACIÓN TÉCNICA
Ver Art. 5.8 de la Sección 05.

10.3.1.4 SELLO DE AGREGADO

10.3.1.4.1 DESCRIPCIÓN
El sello de agregados se usa para proteger al pavimento de los efectos destructivos del sol y del agua. Otro beneficio secundario del sello de agregados es que aumenta la resistencia al deslizamiento de la superficie del pavimento. Esto ocurre porque la cobertura de agregado aumenta la textura superficial del pavimento.

Una capa simple de sello de agregado se usa como recubrimiento e impermeabilizante de la superficie existente. Consiste en la aplicación de spray de asfalto, cubierto inmediatamente de una capa de agregado de tamaño uniforme.

10.3.1.4.2 TRATAMIENTOS
Un tratamiento multicapas provee un recubrimiento e impermeabilización de mayor durabilidad que un tratamiento simple. Este consiste en dos o más alternativas de aplicación de asfalto y agregado.

10.3.1.4.3 ESPECIFICACIÓN TÉCNICA
Ver Art. 5.9 de la Sección 05.

10.3.2 TÉCNICAS DE REPARACIÓN
Siguiendo el proceso de deterioro de los pavimentos asfálticos, cuando se distinguen fallas en la superficie del pavimento, es necesario realizar trabajos de reparación o respuesta, cuyo objetivo es corregir los deterioros puntuales y mejorar, dentro de lo posible, las condiciones de serviciabilidad y seguridad de conducción del pavimento.

A continuación se describen las distintas técnicas que se consideran para la reparación de pavimentos asfálticos.

10.3.2.1 SELLADO DE GRIETAS

10.3.2.1.1 DESCRIPCIÓN
La operación consiste en sellar con asfalto algunos tipos de grietas que se producen en los pavimentos asfálticos, con el propósito de minimizar la infiltración de agua y la oxidación del asfalto. Este procedimiento es eficaz para tratar grietas puntuales en el pavimento, que tengan severidad media o alta.

10.3.2.1.2 ESPECIFICACIÓN TÉCNICA
Se distinguen tres niveles de tratamiento para la ejecución de los trabajos, dependiendo del ancho que presente el espaciamiento existente entre las paredes de la cavidad a reparar, cualquiera sea la calidad de esta (grietas y fisuras en el pavimento, pequeñas fisuras en sellados ejecutados anteriormente, etc.). Dichos niveles se explican más adelante.

En forma previa al relleno de las cavidades, se procede a la remoción y extracción de los materiales inadecuados o sueltos que haya en las junturas y grietas. Esta operación se ejecuta con herramientas manuales apropiadas para el caso, sin emplear técnicas de percusión que pueden dañar el resto del pavimento. El polvo y material suelto que quede, se elimina mediante un barrido enérgico y un soplado con aire comprimido, hasta dejar las paredes totalmente limpias y firmes en toda su profundidad.

Todo material resultante de la limpieza de las cavidades se retira de la calzada y se transporta hasta un botadero autorizado.

En caso de discrepancias respecto al ancho y consecuentemente respecto al tipo de procedimientos a utilizar, para ejecutar el relleno en cierto sector, la inspección técnica o el profesional responsable, determina en definitiva la faena que se efectúe.

Se recomienda que una vez ejecutado el relleno de una cavidad, el nivel superior del sellado no exceda la cota del pavimento adyacente, más allá de un rango de tolerancia que se fija de acuerdo al tipo de calzada.

10.3.2.1.3 GRIETAS CON ANCHO COMPRENDIDO ENTRE 3 Y 20 MM

Cuando la grieta tenga un ancho entre 3 mm y 20 mm, se recomienda emplear como material sellante un mástic asfáltico que cumpla, como mínimo, las especificaciones de la Tabla 10.1.

El material de sellado se trabaja a la temperatura recomendada por el fabricante del producto asfáltico, y es aconsejable que este rellene completamente la cavidad, en el espesor que sea necesario.

TABLA 10.1
ESPECIFICACIONES PARA EL MATERIAL SELLANTE

Penetración a 25º C	máx. 60
Ductilidad a 0ºC	min. 2 cm
Punto de ablandamiento	min. 59ºC
Filler	máx.25%

10.3.2.1.4 GRIETAS CON ANCHO COMPRENDIDO ENTRE 20 MM Y 70 MM

Cuando la juntura o la grieta tenga un ancho superior a 2 cm, el tipo de relleno a utilizar es una mezcla arena-asfalto, tipo lechada asfáltica, utilizando como material asfáltico una emulsión tipo CSS-1, CSS-1h o SS-1h.

Se recomienda que la arena se ajuste a una de las bandas granulométricas que se presentan en la Tabla 10.2, o bien puede corresponder a una de las bandas indicadas en la Tabla 5.17: "GRANULOMETRIA DE ARIDOS PARA SELLOS". La dosificación definitiva es efectuada por un laboratorio autorizado.

TABLA 10.2
BANDAS GRANULOMÉTRICAS

TAMIZ		PORCENTAJE QUE (PASA EN PESO) :	
		Banda tipo A	Banda tipo B
10 mm	(3/8 ")	100	100
5 mm	(Nº 4)	85 - 100	85 - 100
2.5 mm	(Nº 8)	80 - 95	65 - 90
0.63 mm	(Nº 30)	55 - 80	30 - 50
0.16 mm	(Nº 100)	4 - 14	5 - 15

Después de aplicar en las paredes de la cavidad, un riego de liga con emulsión asfáltica diluida, en proporción 1:1, se coloca una mezcla bituminosa para el relleno, evitando cualquier tipo de contaminación. La mezcla se compacta mediante algún tipo de herramienta manual, que puede ser un pisón o varilla metálica.

10.3.2.1.5 GRIETAS DE ANCHO SUPERIOR A 70 MM

Cuando la juntura o grieta tenga un ancho mayor a 70 mm, se aplica como relleno, una mezcla asfáltica que puede ser en caliente o en frío.

Se recomienda que el material asfáltico cumpla con las especificaciones del apartado 5.2.3 y que los áridos cumplan con las especificaciones del Art. 5.11 para mezclas en frío y Art. 5.12 para mezclas en caliente.

Previamente, se aplica en las paredes de la grieta, un riego de liga con emulsión diluida, en proporción 1:1. La mezcla se compacta mediante algún tipo de herramienta manual, que puede ser un pisón o varilla metálica, de acuerdo al ancho de la cavidad.

10.3.2.2 BACHEO SUPERFICIAL

10.3.2.2.1 DESCRIPCIÓN

La operación comprende la reparación de baches y el reemplazo de áreas puntuales del pavimento que se encuentren deterioradas, siempre que afecten exclusivamente a la carpeta asfáltica, encontrándose en buenas condiciones la base granular y demás capas de suelos.

Es importante mencionar que, antes de optar por esta alternativa, se consideren los efectos negativos que tiene este bacheo superficial en el IRI o Serviciabilidad del pavimento y, por consiguiente, en su nivel de servicio y vida útil remanente.

Los trabajos que se especifican pueden realizarse, ya sea mediante procedimientos fundamentalmente manuales o mediante sistemas mecanizados.

10.3.2.2.2 ESPECIFICACIÓN TÉCNICA

a. Materiales

Se recomienda que:

- Cuando la mezcla de reemplazo se apoye sobre una base granular, esta se imprima según el procedimiento descrito en el Art. 5.4.
- Cuando la mezcla se coloque apoyándose sobre una capa asfáltica y cuando se utilicen medios mecánicos para el bacheo, se imprima la superficie según el procedimiento descrito en el Art. 5.4.
- En la reparación de pavimentos de concreto asfáltico en caliente, se usen de preferencia, mezclas asfálticas en caliente, que cumplan con la banda granulométrica IV-12 de la Tabla 5.28 presentada en la Sección 5.
- La dosificación se debe ajustar a lo señalado en el Art. 5.12 Mezclas Asfálticas en Caliente.
- En la reparación de pavimentos constituidos por mezclas en frío, se ejecute un bacheo mecanizado, el cual se puede realizar con una mezcla en frío, de diseño propuesto por el fabricante y que su empleo sea adecuado.

b. Procedimientos de Trabajo

- **Bacheo Manual**

Se recomienda entender como bacheo manual, el procedimiento tradicional que consiste en la remoción manual de la zona deteriorada, la limpieza de las paredes resultantes para posteriormente colocar un imprimante o un riego de liga, según corresponda, para finalizar con la colocación de una mezcla asfáltica.

- **Remoción del Área Deteriorada**

Se recomienda que:
Primero se delimite el área por remover, demarcándola con pintura, de forma rectangular o cuadrada, comprendiendo toda la zona deteriorada que presente fallas o un bache que incluya, aproximadamente, unos 300 mm de pavimento en buenas condiciones.

Las mezclas asfálticas se corten de manera que las paredes queden verticales. Para ello se usan sierras, de preferencia, aun cuando también pueden emplearse taladros.

La remoción alcance hasta una profundidad en que las mezclas no presenten signos de agrietamientos o fisuras y, en el caso de baches, alcancen como mínimo hasta el punto más profundo de él.

Se tenga especial cuidado de no dañar la base granular existente bajo las capas asfálticas.

- **Relleno**

Se recomienda que:
Las paredes y el fondo de la zona en que se hace la remoción, se limpien mediante un barrido enérgico que elimine todas las partículas sueltas (de preferencia mediante soplado) y retire el polvo. Las paredes queden firmes y perfectamente limpias.

La superficie se recubra con ligante (riego de liga o imprimación, según corresponda), para lo cual se utilizan escobillones u otros elementos similares que permitan esparcirlo uniformemente (normalmente la dosificación está comprendida entre 1,3 y 2,4 l/m^2).

Antes de colocar la mezcla asfáltica de relleno, se verifique que la emulsión de la liga haya quebrado, o que la imprimación haya penetrado según lo especificado.

La mezcla asfáltica se extienda y nivele mediante rastrillos, colocando la cantidad adecuada para que sobresalga unos 6 mm sobre el pavimento circundante y en los extremos coincida con las líneas de corte de la zona.

La mezcla se deje con paredes verticales y se retire cualquier exceso.

La compactación se haga con un rodillo neumático o liso de 3 a 5 ton de peso o alternativamente se use un rodillo manual, dependiendo del espesor de la capa por compactar.

El desnivel máximo tolerable entre la zona reparada y el pavimento que la rodea sea de 3 mm.

- **Bacheo Mecanizado**

Se refiere a las labores de bacheo superficial realizadas mediante un equipo, especialmente diseñado, que secuencialmente limpia el área afectada, coloca un imprimante o riego de liga a presión y rellena y compacta el bache con una mezcla asfáltica.

Se recomienda que:
Cuando el trabajo definido en esta operación se haga utilizando una mezcla preparada, tipo stock pile, corresponda a situaciones de emergencia o en épocas cuando las precipitaciones impidan utilizar otro material.

Consecuentemente, en estos casos, el trabajo se termine dentro de un plazo de 24 horas desde el momento que se dé la orden de ejecución.

Cuando los trabajos se realicen con la calle en servicio, antes de iniciarlos se adopten las medidas seguridad necesarias para la óptima ejecución de los trabajos.

10.3.2.3 REPARACIÓN DE ESPESOR COMPLETO

10.3.2.3.1 DESCRIPCIÓN

La operación se refiere al bacheo o reemplazo de una parte severamente deteriorada de la estructura de un pavimento asfáltico, cuando el daño afecte tanto a la(s) capa(s) asfáltica(s) como, a lo menos, parte de la base y subbase. El procedimiento se aplica para reparar áreas que presenten fallas originadas por agrietamientos de las diversas capas asfálticas y/o por debilitamiento de la base, subbase y/o subrasante.

10.3.2.3.2 ESPECIFICACIÓN TÉCNICA

a. Materiales

- Bases y Subbases

  Se recomienda que las subbases y bases existentes por remover, se reemplacen por materiales que cumplan los requisitos establecidos en el Art. 3.2 y Art. 3.3.

- Ligantes

  Es conveniente que para el riego de imprimación, se usen materiales que cumplan con lo estipulado en el Art. 5.4 y con el Art. 5.5, para riego de liga.

- Mezclas Asfálticas

  En la reparación de pavimentos de concreto asfáltico en caliente, se aconseja usar, de preferencia, mezclas asfálticas en caliente, que cumplan con la banda granulométrica IV-12 (de la Tabla 5.28 del Art. 5.12), ligadas con cemento asfáltico de las Tablas 5.1 o 5.2. Finalmente, la dosificación puede ajustarse a lo señalado en el Art. 5.12.

b. Procedimientos de Trabajo

c. Remoción del Área Deteriorada
Se recomienda que:

- Se delimite el área por remover, demarcándola con pintura, de forma rectangular o cuadrada y que comprenda toda la zona deteriorada que presente fallas o baches e incluyendo, aproximadamente, unos 300 mm de pavimento en buenas condiciones.
- Las mezclas asfálticas se corten de manera que las paredes queden verticales, utilizando de preferencia sierras, pero también pueden emplearse taladros.
- Cuando se reparen baches, la remoción alcance como mínimo hasta el punto más profundo de estos y continúe, si a ese nivel el material no se encuentra firme.
- En la reparación de los otros tipos de fallas, se retiren todas las capas asfálticas y se continúe con la base y subbase hasta encontrar una superficie firme y densa.
- Al programar la profundidad de la remoción, idealmente, todo lo removido se reemplace por mezclas asfálticas, aun cuando parte de ello corresponda a antiguas bases o subbases.
- Solo cuando la extensión del área por reemplazar sea muy importante y, simultáneamente, el espesor sea igual o superior a 150 mm, se opte por reemplazar la base y/o subbase, por materiales de tipo base y, en tal caso, las bases y subbases se cortan de manera que sus paredes queden con una inclinación del orden de 1:3 (H:V) hacia dentro, y sirvan de apoyo firme al material que se agrega.
- El fondo de la excavación sea paralelo a la rasante.

d. Reemplazo de Bases y Subbases
Se sugiere que:

Antes de iniciar la colocación de los materiales de reemplazo se revise el fondo y paredes de la excavación, para verificar que no existen o han existido escurrimientos de aguas. Si ello así ocurre, es conveniente asegurar que los escurrimientos sean evacuados en el futuro.

Normalmente se coloque solo material de reemplazo, que se ajuste a los requisitos de la base.
Se coloque por capas de no más de 150 mm de espesor, compactándola con equipos apropiados hasta alcanzar, al menos, el 95% de la D.M.C.S., según NCh 1534/2, o el 80% de la densidad relativa, NCh 1726, según corresponda.

e. Relleno con Mezclas Asfálticas
Se recomienda que:

- Se imprime el fondo de la zona en que se hace la remoción o que queda después de reemplazar la base y subbase, utilizando el ligante, según el Art. 5.5.
- Las paredes de las capas asfálticas se limpien, eliminando todas las partículas sueltas y luego, de preferencia mediante soplado, se retire el polvo.
- A continuación, la superficie se recubra con el ligante, mediante una escobilla u otro elemento similar que permita un cubrimiento uniforme (normalmente se coloca entre 1,3 y 2,4 l/m^2).
- Antes de colocar la mezcla asfáltica de relleno, se verifique que la emulsión de la liga haya quebrado y que la imprimación haya penetrado según lo especificado.
- La mezcla se extienda y nivele mediante rastrillos, restituyendo las pendientes originales y colocando la cantidad adecuada para que sobresalga unos 6 mm sobre el pavimento circundante.
- En los extremos, y coincidiendo con las líneas de corte de la zona, se recorte la mezcla, de manera de dejar paredes verticales y retirar cualquier exceso.
- La compactación se haga con un rodillo neumático o liso de 3 a 5 ton de peso. Alternativamente puede usarse un rodillo manual, dependiendo del espesor de la capa por compactar. El desnivel máximo tolerable entre la zona reparada y el pavimento que la rodea es de 3 mm.
- Cuando los trabajos se realicen con la calle en servicio, antes de iniciarlos se adopten las medidas seguridad necesarias para la óptima ejecución de los trabajos.

10.3.3 TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN

Finalmente, cuando producto de diferentes fallas, el pavimento ha perdido propiedades funcionales y/o capacidad estructural, se realizan trabajos de restauración y de este modo, se mejora la calidad funcional y/o estructural del pavimento.

A continuación se describen las distintas técnicas que se consideran para la restauración de pavimentos asfálticos.

10.3.3.1 FRESADO

10.3.3.1.1 DESCRIPCIÓN

La operación consiste en desgastar la superficie del pavimento, con el fin de restaurar la rasante, removiendo de este modo, deformaciones e imperfecciones del pavimento, dejando una superficie texturizada que sirve de base para un recapado.

El fresado puede ser superficial o profundo, total o parcial, dependiendo del estado del pavimento y del tipo de intervención que se realice. A partir del estudio del estado del pavimento a ser rehabilitado, se define el espesor de pavimento a intervenir.

10.3.3.1.2 ESPECIFICACIÓN TÉCNICA

a. Equipo
Se recomienda que:

El equipo para la ejecución de los trabajos, sea una máquina fresadora con controles automáticos, capaz de fresar el pavimento asfáltico con una profundidad precisa de corte y con el perfil y la pendiente transversal establecidos, y además esté provista de dispositivos para verter el material fresado directamente en camiones de transporte. Su estado, potencia y capacidad productiva aseguran el correcto cumplimiento del plan de trabajo.

Los vehículos para el transporte del material fresado sean suficientes para garantizar el cumplimiento del programa de trabajo y estén provistos de los elementos necesarios para evitar la contaminación o cualquier alteración perjudicial del material transportado y su caída sobre las vías empleadas para el transporte. Además, como parte del equipo se requieren algunos elementos accesorios, principalmente escobas y una barredora o sopladora mecánica.

b. Procedimientos de Trabajo

- Preparación de la Superficie Existente

  Se recomienda que previo a la operación de fresado, la superficie del pavimento asfáltico se encuentre limpia y, por lo tanto, se ejecuten las operaciones de barrido y/o soplado que se requieran para lograr tal condición.

- Fresado del Pavimento

  Se recomienda que:
  El fresado se efectúe sobre el área y espesor apropiado para cada caso, a temperatura ambiente y sin adición de solventes u otros productos ablandadores que puedan afectar la granulometría de los agregados o las propiedades del asfalto del pavimento existente.

  La operación de fresado se haga cuidando de no desgarrar ni romper el pavimento subyacente o adyacente y protegiendo al material fresado de contaminación con materiales granulares, de subrasante u otras sustancias objetables.

  En proximidades de sitios que resulten inaccesibles al equipo de fresado, el pavimento se remueva empleando otros métodos que den lugar a una superficie apropiada.

  El trabajo de fresado se realice en varias capas, hasta alcanzar el espesor adecuado, debiendo quedar una superficie nivelada y sin fracturas, la cual se barre antes del recapado.

  En la eventualidad de que al término de una jornada de trabajo, no se complete el fresado en todo el ancho de la calzada, los bordes verticales en sentido longitudinal, cuya altura supere cincuenta milímetros (50 mm), se suavicen de manera que no impliquen peligro para el tránsito.

  Igual precaución se tome, en todos los bordes transversales que queden al final de cada jornada. Cualquiera que sea el método utilizado, los trabajos de fresado no provoquen daños a objetos, estructuras e instalaciones que se encuentren cerca de la zona de acción de los equipos y, por

lo tanto, se toman las precauciones que correspondan para garantizar la buena ejecución de los trabajos.

10.3.3.2 RECAPADO

10.3.3.2.1 DESCRIPCIÓN

La operación se refiere a la colocación de una nueva capa de rodadura sobre un antiguo pavimento de asfalto, con el fin de recuperar propiedades funcionales del pavimento.

10.3.3.2.2 ESPECIFICACIÓN TÉCNICA

a. Materiales

Riego de liga. Se ejecuta según el Art. 5.5.
Geotextil. Según Especificaciones Técnicas Especiales, cuando se requiera.

Mezclas asfálticas. Se utilizan:

- Mezclas asfálticas en caliente, que cumplan con la banda granulométrica de la Tabla 5.28. La dosificación debe ajustarse a lo señalado en el Art. 5.12.
- Micropavimentos, que cumplan con la banda granulométrica Tipo C-1 de la Tabla 5.11. La dosificación debe ajustarse a lo señalado en el Art. 5.8.

SECCIÓN 11
CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE BASES, SUBBASES Y SUBRASANTES

SECCIÓN 11

CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE BASES, SUBBASES Y SUBRASANTES

ART. 11.1 REPOSICIÓN DE BASES Y SUBBASES

La restauración o reconstrucción de una base, subbase o ambas, además de la reposición del material de la subrasante hasta determinada profundidad, es necesaria en los siguientes casos:

a. Cuando debido a trabajos de instalación, renovación o reparación de redes o empalmes domiciliarios subterráneos de servicios de utilidad pública, ha sido necesario romper el pavimento en su capa de rodado y en sus capas de infraestructura, hasta el nivel que fija el respectivo proyecto. Esta ruptura puede adoptar, ya sea una forma aproximadamente cuadrada o rectangular en planta, o bien una de sus dimensiones puede tener una gran longitud (decenas o cientos de metros), en cuyo caso se le da el nombre genérico de zanja o herido.

b. Cuando la rotura se ha originado por fallas en las capas de rodado o de la infraestructura; por la acción del tránsito al sobrepasarse la resistencia de diseño necesario; por compactación insuficiente; o por la acción de agentes climáticos, como el agua o el hielo.

Para la restauración de la base, subbase o subrasante, se adoptan las siguientes disposiciones:

a. Se rectifican las paredes de la excavación, de modo que queden planas y verticales. Se extrae todo el material suelto y, si es necesario, se profundiza la excavación hasta alcanzar un terreno firme, no alterado y no contaminado.

b. Se rellena la excavación por capas de un espesor no mayor de 20 cm, espesor que puede ser mayor, siempre que se utilice el equipo de compactación adecuado, y los ensayes sean efectuados por un laboratorio inscrito en el Minvu. Los materiales deberán cumplir con las especificaciones de base y subbase; se recomienda que para la subrasante se exija un poder de soporte igual o superior al material de subrasante existente. Es conveniente que la compactación alcance un porcentaje no inferior al 95% de la D.M.C.S. en la subrasante, bases y subbases, de acuerdo a la NCh 1534/2.

c. En la ejecución de estos trabajos se deberá cumplir con las disposiciones contenidas en la Sección 2 y 3 del presente código, en especial las que se refieren a granulometría, límite líquido, índice de plasticidad, desgaste y poder de soporte de los materiales.

d. Cuando no sea posible el uso de rodillo, la compactación se efectúa mediante una placa o pisón vibratorio o, en su defecto, por impacto, mediante pisones metálicos de un peso no inferior a 200 N, aplicando el número de golpes por unidad de superficie necesarios para asegurar la compactación mínima exigida.

ART. 11.2 RESTAURACIÓN DE MATERIALES DE SUELOS EN ÁREAS NO PAVIMENTADAS

Se recomienda que:

Cuando se reponga el material extraído de áreas sin pavimentos, tales como aceras, veredones, bandejones, etc., se tenga en consideración el efecto que las excavaciones practicadas en tales sectores, puedan ejercer en la estabilidad de los pavimentos, si estos están en su inmediata vecindad.

Cuando así ocurra, se tomen las medidas preventivas del caso, como suspender el tránsito sobre el o los paños de calzada afectada, hasta después que se haya procedido a efectuar la reposición indicada.

El material que se emplee en la ejecución de los rellenos sea, en general, el mismo extraído de las excavaciones si este es adecuado. De no ser así, se puede disponer que se reemplace por otro de mejor calidad, o que se emplee una mezcla de ambos materiales, en particular cuando la profundidad de la excavación es importante. Para lo anterior se puede exigir un grado de compactación igual o superior al 95% de la D.M.C.S. según NCh 1534/2.

El relleno pueda ejecutarse por capas de un espesor no superior a 20 cm compactado y que tenga el contenido de humedad óptimo. Se puede emplear un espesor mayor, siempre que se utilice el equipo adecuado.

Estas capas se compacten preferentemente mediante placas o pisones vibratorios o, en su efecto, por impacto, mediante pisones metálicos de un peso no inferior a 100 N, aplicando un número suficiente de golpes sobre la misma área de contacto del pisón.

Todos los rellenos se controlen con ensayos de laboratorios oficiales, salvo que la inspección técnica o profesional responsable estime no controlar debido al tamaño del trabajo, y se emplee un equipo adecuado.

ART. 11.3 TÚNELES BAJO PAVIMENTO

No se permiten túneles bajo la calzada, salvo que se demuestre que estos no afectan la estabilidad y serviciabilidad futura del pavimento.

ART. 11.4 VEREDAS DE ASFALTO

La conservación de las veredas de asfalto consiste en la demolición y extracción de los tramos de veredas destruidas o en mal estado y su reconstrucción, incluida la base y el mejoramiento de la subrasante, si fuera necesario. En general, este trabajo comprende las siguientes etapas:

a. Nivelación del terreno y recompactación.

b. Reconstrucción de la base, de acuerdo a las especificaciones para bases definidas en el Art. 3.3, en cuanto a banda granulométrica, límite líquido e índice de plasticidad. Se exige un porcentaje de compactación mínimo de 95% de la D.M.C.S. (NCh 1534/2).

c. Imprimación de la base, de preferencia con emulsiones, de acuerdo al Art. 5.4.

d. Colocación y compactación de la mezcla asfáltica, para lo cual se aplican las disposiciones que corresponda de la especificaciones sobre pavimentos asfálticos. Es recomendable que la vereda, luego de construida, mantenga el nivel y la línea que corresponda de acuerdo al proyecto inicial.

La mezcla a emplear podrá ser en frío o en caliente.

11.4.1 MATERIALES

11.4.1.1 ÁRIDOS

Es aconsejable que cumplan con las bandas VI-10a, VII-5 y VIII-2, pudiendo estos materiales ser arenas o piedras trituradas (Tabla 11.1).

TABLA 11.1
BANDAS GRANULOMÉTRICAS

MEZCLA Nº		VI-10A	VII-5	VIII-2
USO		SUPERFICIE	SUPERFICIE	SUPERFICIE
Espesor compactado recomendado para cargas individuales		25 a 50 mm	12 a 25 mm	12 a 25 mm
Tamices: (mm)	ASTM	Porcentaje que pasa en peso		
20	(3/4")			
12,5	(1/2")	100		
10	(3/8")	85-100	100	
5	(Nº 4)	-	85-100	100
2,5	(Nº 8)	65-80	80-95	95-100
1,25	(Nº 16)	50-70	70-89	85-98
0,63	(Nº 30)	35-60	55-80	70-95
0,315	(Nº 50)	25-48	30-60	40-75
0,16	(Nº 100)	15-30	10-35	20-40
0,08	(Nº 200)	6-12	4-14	8-16

11.4.1.2 ASFALTOS

De las Tablas 5.1, 5.2 o emulsiones de residuo duro, aniónicas o catiónicas.

ART. 11.5 CALZADAS DE AFIRMADO PÉTREO O GRANULAR

Las calzadas de afirmado pétreo o granular, requieren de una conservación periódica; el trabajo comprende las operaciones de escarificado, recompactación y perfiladura. La frecuencia requerida de este trabajo depende de condiciones locales, tales como el tránsito y la pluviosidad. Por lo general, se estima que debe efectuarse, como mínimo, dos veces al año.

Las operaciones mencionadas se desarrollan de acuerdo a la secuencia que se indica a continuación:

a. Escarificación del material pétreo, en una profundidad mínima de 5 cm, mediante motoniveladora, o bulldozer con rooter.

b. Riego de la superficie preferentemente mediante regador mecánico.

c. Segunda escarificación del material, avanzado en sentido opuesto a la primera.

d. Extracción de los trozos de material de tamaño superior a 5 cm, si los hubiere.

e. Segundo riego superficial.

f. Mezclado y extensión uniforme del material.

g. Tercer riego.

h. Compactación mediante rodillo neumático, con un peso mínimo de 8 t.

i. Compactación mediante rodillo liso.

j. Perfiladora superficial con motoniveladora.

Si es necesario adicionar material, se deberá cumplir con lo especificado para los materiales de subbases granulares del presente código. Sin perjuicio de este trabajo de conservación que se efectúa periódicamente, es conveniente efectuar operaciones de reperfilado en forma más frecuente. Esta operación se detalla en el Art. 11.6.

ART. 11.6 CONSERVACIÓN DE CALZADAS EN TIERRA

En las calles en que la superficie de rodado de su calzada es el terreno natural, es necesario efectuar periódicamente un trabajo de reperfilado, a fin de permitir el tránsito de vehículos, en condiciones aceptables. Para este trabajo se usa la motoniveladora.

Las operaciones necesarias para este fin son las siguientes:

a. Paso de la hoja de la motoniveladora sobre la cuneta y sobre la acera, en caso de existir, restituyendo la sección transversal necesaria para el buen escurrimiento de las aguas; retiro del material excedente.

b. Paso de la hoja de la motoniveladora sobre la calzada, para recuperar el perfil transversal; retiro del material excedente.

c. Riego superficial, seguido de una compactación mediante rodillo neumático de peso no inferior a 8 t.

d. Paso final de la hoja de la motoniveladora, para dar el perfil definitivo a la calzada.

Como operación complementaria al trabajo de conservación de calzadas en tierra o en calzadas de afirmado pétreo, puede aplicarse a la superficie un riego matapolvo, según lo especificado en el Art. 5.7.

SEGUNDA PARTE
DISEÑO DE PAVIMENTOS Y OBRAS ANEXAS

SECCIÓN 12
MECÁNICA DE SUELOS

SECCIÓN 12
MECÁNICA DE SUELOS

ART. 12.1 EL SUELO COMO FUNDACIÓN DEL PAVIMENTO

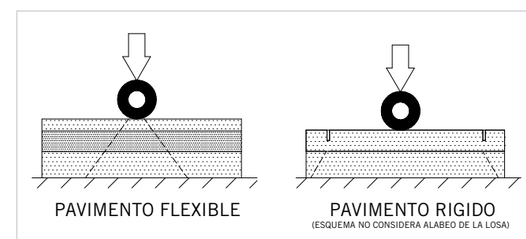
La Mecánica de Suelos es la rama de la ingeniería que estudia las propiedades de los suelos, para determinar su capacidad de servir de fundación a los distintos tipos de construcción. Para el caso de los pavimentos, el estudio de mecánica suelos debe considerar las características de las distintas clases de suelos que se pueden encontrar a lo largo de un mismo proyecto y que servirán de soporte a la estructura del pavimento. Es importante también conocer las características de los esfuerzos aplicados para esta clase de estructuras, que son esencialmente cargas dinámicas, lo que hace crítica la adecuada caracterización de sus propiedades.

Como objetivo fundamental, en la aplicación de los métodos de estudio de la Mecánica de Suelos a las obras de pavimentación, se busca establecer el estado de esfuerzos y deformaciones que se originan en el interior de la masa del suelo, debido a las solicitaciones originadas por las cargas provenientes del tránsito, actuantes en la superficie del pavimento y transmitidas, a través de las diferentes capas que lo constituyen, hasta el suelo de fundación o subrasante. Se determina en esta forma las tensiones y deformaciones máximas que soporta este último.

Debido a que la forma de traspasar las cargas al suelo de fundación en los pavimentos de hormigón y asfalto es distinta, se debe considerar esta particularidad en el diseño de la estructura, de manera que la subrasante, base y/ o subbase, sean aptas para soportar las cargas de tránsito transmitidas entre las distintas capas que conforman el pavimento.

En la Figura 12.1 se presenta esquemáticamente la forma de transmisión de carga en una estructura de pavimento flexible (asfalto) y rígido (hormigón), de manera de considerar esta particularidad, tanto en las exigencias a subrasantes, subbases y bases como al diseño de los pavimentos, las cuales se abordan ampliamente y en detalle en las Secciones 14 y 15, para hormigón y asfalto, respectivamente.

FIGURA 12.1
REPRESENTACIÓN DE LAS CARGAS ENTRE CAPAS EN ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO DE HORMIGÓN Y ASFALTO



En esta sección se ha incluido una breve reseña de los aspectos más esenciales en la aplicación de la Mecánica de Suelos a las obras de pavimentación. Considerando que se trata de una disciplina básicamente experimental, se ha querido mencionar las principales pruebas y ensayes de laboratorio que se requiere efectuar para conocer las características del suelo de fundación y obtener una adecuada solución para la subrasante y para las capas de subbase y de base.

ART. 12.2 NATURALEZA Y ORIGEN DE LOS SUELOS

Los suelos son conjuntos de partículas minerales, que se han originado producto de la desintegración de las rocas y que presentan las siguientes propiedades esenciales:

- El conjunto posee una organización definida. En general, sus propiedades varían en sentido vertical con mucha mayor rapidez que en sentido horizontal.
- La organización de las partículas del suelo permite que el agua, que se encuentre en su interior, pueda tener "continuidad", en el sentido de distribución de presiones. El agua puede llenar todos los poros que existen entre las partículas, formando una masa continua.
- Los suelos pueden ser residuales o transportados; la estructuración y distribución interna de las propiedades son diferentes en ambas clases de suelo. En los suelos residuales, su estructura y distribución se asemejan levemente a las de la roca originaria; en cambio, los suelos transportados generan estructuras regidas únicamente por los mecanismos propios del depósito formado por la acumulación del material transportado.

ART. 12.3 RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS DE LOS SUELOS

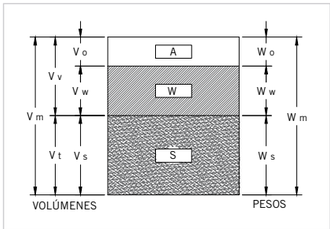
En los suelos se distinguen tres fases constituyentes:
a. La fase sólida, representada por las partículas minerales.

b. La fase líquida, por el agua.

c. La fase gaseosa, por el aire.

Una representación esquemática de las fases se presenta en la Figura 12.2.

FIGURA 12.2
REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LAS DISTINTAS FASES QUE COMPONEN LOS SUELOS



Entre estas fases existe un conjunto de relaciones entre los respectivos pesos y volúmenes. Podemos representar a estos últimos por los símbolos siguientes:

a. Fase sólida: volumen = Vs; peso = Ws;

b. Fase líquida: volumen = Vw; peso = Ww;

c. Fase gaseosa: volumen = Vo; peso = Wo;

Se define:
- Vm: volumen total Vm = Vo + Vw+ Vs
- Go= $\gamma o/\gamma w$, en que γo es el peso específico del agua a 4ºC y es aproximadamente igual que el valor de γw, por lo que Go es aproximadamente igual a 1.
- Gs: peso específico de las partículas sólidas dividido por γw.

Las relaciones más importantes son las siguientes:

a. Peso específico de la masa:

$$Gm = \frac{Ws + Ww}{Vm}$$

b. Peso volumétrico de los sólidos:

$$\gamma_s = \frac{Ws}{Vs}$$

c. Peso específico relativo de los sólidos:

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_o}$$

d. Relación de vacíos:

$$e = \frac{Vo + Vw}{Vs}$$

e. Grado de saturación:

$$S\,(\%) = 100\frac{Vw}{Vo + Vw}$$

f. Contenido de agua o humedad del suelo:

$$W\,(\%) = 100\frac{Ww}{Ws}$$

ART. 12.4 GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS

Se denomina granulometría de un suelo a la división del mismo en diferentes fracciones, seleccionadas por el tamaño de sus partículas componentes, que permiten describir una curva para caracterizar su composición.

En los suelos gruesos, la característica más importante es la compacidad, que influye directamente en su compresibilidad; esta propiedad depende además de su estructuración y fundamentalmente de su granulometría. No sucede lo mismo en los suelos finos, en que la granulometría no da mayores indicaciones acerca de sus propiedades mecánicas.

Establecido el hecho de que existe esta limitante en el uso de la granulometría, esta se usa básicamente con un criterio de clasificación. Así se definen las diferentes clases de constituyentes del suelo: arcilla, limo, arena y grava. La distribución granulométrica de los suelos se representa mediante curvas granulométricas, en las cuales se lleva en abscisas el tamaño en mm de las partículas, en escala logarítmica y en ordenadas, el porcentaje en peso de partículas menores que un cierto tamaño.

Mediante estas curvas se puede establecer una relación que representa la medida de la uniformidad del material del suelo y que se conoce como coeficiente de uniformidad.

$$C = \frac{D60}{D10}$$

Donde:

- D60: Es el tamaño para el cual el 60% en peso del suelo es igual o menor.
- D10 (diámetro efectivo): Es el tamaño para el cual el 10% en peso es igual o mayor.

La separación de muestras de suelo en sus diferentes fracciones se efectúa de acuerdo a métodos especiales, siendo los más importantes el cribado por mallas y el análisis de una suspensión del suelo con hidrómetro.

a. Cribado por mallas: Se usa para obtener las fracciones correspondientes a los tamaños mayores del suelo; generalmente se llega hasta el tamaño correspondiente a la malla N° 200 (0,074 mm).

b. Método del hidrómetro: Se basa en la Ley de Stokes y proporciona una relación entre la velocidad de sedimentación de las partículas del suelo y sus tamaños. Esta ley considera partículas de forma esférica, y si D es el diámetro de una partícula determinada, se obtiene:

$$D = \sqrt{\frac{1.800\ n\ v}{gs - gf}}$$

Siendo:
v = velocidad de sedimentación de la esfera, en [cm/s].
gs = peso específico de la esfera, en [g/cm^3].
gf = peso específico del fluido, en [g/cm^3].
n = viscosidad del fluido, en [g*seg/cm^2].

La Ley de Stokes es válida solo para tamaños menores de 0,2 [mm], y mayores de 0,002 [mm].

ART. 12.5 PERMEABILIDAD

El agua puede fluir a través de un suelo siguiendo la ley de gravedad; este flujo se puede producir en dos formas o regímenes diferentes: “laminar”, en el cual las líneas de flujo permanecen separadas; o bien “turbulento”, si las líneas de flujo se entremezclan.

Para velocidades bajas, el flujo es laminar, pero al aumentar estas velocidades más allá de un cierto límite, se hace turbulento. La velocidad límite, hasta la cual el régimen es laminar, es la velocidad crítica.

Para velocidades suficientemente pequeñas, el gasto que circula a través del suelo está expresado por la ley de Darcy:

$$Q = k * i * A$$

Siendo:
A : El área de la sección transversal del filtro colocado en la conducción.
i : Gradiente hidráulico.
k : Coeficiente de permeabilidad.

La ecuación de continuidad del gasto establece que:

$$Q = A * v$$

Donde, v = velocidad del flujo.

Por lo cual, al igualar las expresiones anteriores se obtiene:

$$v = k * i$$

Según esta expresión, se puede definir “k” como la velocidad con que fluye el agua a través del suelo cuando está sometida a un gradiente hidráulico unitario.

La permeabilidad de los suelos es un valor que admite grandes variaciones según el material de que se trate. Por ejemplo, en las gravas limpias alcanza valores comprendidos entre 10 y 100 [cm/seg], en tanto que en las arcillas puede llegar hasta 10^{-8} y 10^{-9} [cm/seg].

La permeabilidad está influida por las siguientes características de los suelos:

a. La relación de vacío.

b. El tamaño de las partículas.

c. La composición mineralógica, físico-química.

d. La estructura.

e. El grado de saturación.

f. La existencia de agujeros, fisuras, etc.

g. Depende en forma importante de la temperatura del agua.

ART. 12.6 RELACIONES ESFUERZO-DEFORMACIÓN

La deformación que experimenta un suelo por la acción de los esfuerzos aplicados, depende de factores tales como su composición mineralógica, su relación de vacíos, los esfuerzos aplicados con anterioridad y la forma de aplicar los nuevos esfuerzos. En el laboratorio se pueden emplear las siguientes pruebas para determinar las características esfuerzo-deformación:

a. Prueba de compresión hidrostática o isótropa

b. Prueba de compresión confinada o de consolidación

c. Prueba triaxial

d. Prueba directa de esfuerzo cortante

Mediante estas pruebas se puede llegar a diferenciar dos clases principales de material constituyente del suelo:

a. De "falla frágil", caracterizado por un crecimiento del esfuerzo aplicado hasta un máximo bien definido, después del cual dicho esfuerzo desciende rápidamente al aumentar la deformación.

b. De "falla plástica", en cuyo caso, luego que el esfuerzo llega a un valor límite, se produce la fluencia plástica del material bajo esfuerzo constante e igual a ese límite.

En todo caso, se puede afirmar que la relación esfuerzo-deformación no es un valor constante y depende de las características de composición, compactación y estado de los suelos, los que dependen del lugar en cada caso.

En general, el comportamiento plástico corresponde a las arenas sueltas y a las arcillas blandas con contenido de agua relativamente elevado. El comportamiento frágil es propio de las arenas compactas y de las arcillas duras.

ART. 12.7 TEORÍA DE LA CONSOLIDACIÓN

A través de períodos suficientemente largos de tiempo los suelos experimentan el fenómeno llamado de "consolidación", que es por consiguiente un proceso muy lento y consiste en la compresión y reducción de volumen de la masa de suelo por efecto de la acción de las cargas exteriores. La forma en que se desarrolla este proceso ha sido estudiada por investigadores y ha dado lugar a la enunciación de la Teoría de la Consolidación, debida principalmente a Terzaghi.

Esta teoría se basa en una serie de hipótesis, que aun cuando no son totalmente exactas, se aproximan suficientemente a la realidad. Las más importantes son las siguientes:

a. El suelo se deforma en una sola dirección, por ejemplo la vertical.

b. El flujo del agua se produce solo en la dirección vertical.

c. Es válida la Ley de Darcy.

d. El suelo está totalmente saturado.

La teoría permite determinar el asentamiento ΔH que experimenta un estrato de suelo de espesor H, de acuerdo a la expresión:

$$\Delta H = \int \frac{H_o \Delta e}{1 + e_o} dz$$

Donde:
H_o = Altura del estrato de suelo
e_o = Relación inicial de vacíos
Δe = Disminución de espesor de una muestra de suelo cuyo espesor total es "$dz = 1 + e_o$"

El cálculo de la evolución de "H" con el tiempo requiere la determinación previa del "Coeficiente de Consolidación del Suelo".

$$Cv = \frac{K\,(1 + e)}{Av * Gw}$$

Donde:
k = coeficiente de permeabilidad del suelo.
e = relación de vacíos del suelo (antes de iniciarse el proceso de consolidación).
Av = coeficiente de compresibilidad del suelo, obtenido mediante la curva de compresibilidad, en laboratorios.
Gw = peso específico de la fase líquida.

La teoría establece algunos hechos importantes como:

a. El tiempo necesario para alcanzar un determinado grado de consolidación varía en forma directamente proporcional al cuadrado del espesor efectivo de la capa de suelo.

b. El tiempo señalado en a) es inversamente proporcional al coeficiente de permeabilidad "*k*".

c. El tiempo señalado en a) es directamente proporcional al coeficiente de compresibilidad "*Av*".

Mediante las pruebas de consolidación en el laboratorio, se obtienen las curvas de consolidación, que muestran la evolución de esta última a lo largo del tiempo.

La aplicación más útil de la teoría de la consolidación es el cálculo del asentamiento total que un estrato arcilloso experimenta por la acción de las cargas y su evolución en el tiempo.

El fenómeno de consolidación consta de dos procesos superpuestos y mezclados. El primero de ellos, que es al que ya se ha hecho referencia y que corresponde a la "consolidación primaria" y se refiere a la transmisión de las cargas aplicadas, que en un principio son resistidas por el agua contenida en los poros del suelo a la estructura sólida de este último. Esta transmisión de la carga va simultáneamente acompañada de una disminución de volumen y de la correspondiente pérdida del agua intersticial, que drena a través de las superficies del estrato de suelo. El segundo proceso se llama "consolidación secundaria", y en este adquiere importancia la componente de deformación, por el reacomodo relativo de las partículas de suelo. Este proceso se hace más importante a medida que avanza el proceso primario.

ART. 12.8 ESFUERZO DE CORTE EN LOS SUELOS

Para el análisis de los esfuerzos aplicados se emplean las teorías de falla, siendo útiles para estos efectos la universalmente aceptada Teoría de Coulomb, complementada por la Teoría de Mohr. Según estas, un material puede fallar por esfuerzo cortante cuando alcanza alguno de los siguientes valores:

$t = c$: En suelos puramente cohesivos.
$t = c + s\phi$: En suelos con cohesión y fricción.
$t = s \cdot tg\phi$: En suelos puramente friccionantes.

Siendo:
t = esfuerzo cortante en el suelo.
c = cohesión o resistencia del suelo sin presión normal exterior.
s = esfuerzo normal (compresión) en el plano de falla.
ϕ = ángulo de fricción interna.

Se agrega que la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos es el parámetro fundamental para establecer la falla frente a cualquier solicitación, la cual incluye siempre esfuerzos de compresión y de corte.

Según la Teoría de la Consolidación, los parámetros anteriormente indicados dependen de la consolidación previa y de la velocidad de aplicación de las cargas, pero además, influye el contenido de agua del suelo, siendo de especial importancia las condiciones de drenaje observadas.

Lo anterior ha permitido diseñar pruebas de laboratorio para determinar la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos. En estas pruebas se aplica un determinado esfuerzo normal "S", cuyo valor se obtiene dividiendo la carga aplicada P por el área A sobre la cual actúa, o sea: "S = P/A". A este valor se le llama "esfuerzo total" y es el que actúa sobre la muestra de suelo, a condición que esta no se encuentre saturada. Si ocurre lo contrario, es decir, si los huecos entre las partículas se encuentran llenos de agua, la carga aplicada puede ser resistida en parte por las partículas de suelo y en parte por el agua y, por consiguiente, el esfuerzo total "s" es igual a "S + u", siendo "S" el "esfuerzo efectivo" y "u" la presión del agua o presión de poro.

Las pruebas en referencia aplican presiones ortogonales en tres direcciones a una muestra cilíndrica, siendo dos de estas presiones iguales (pruebas triaxiales), y se distinguen tres tipos:

- Pruebas con drenaje (lentas)
- Pruebas con consolidación sin drenaje (rápida - consolidada)
- Pruebas sin drenaje (rápidas)

Cada prueba consta de dos etapas: la primera, en que se aplica la presión hidrostática, y la segunda, en que actúa una fuerza exterior axial, llamada "esfuerzo desviador".

En estas pruebas se establecen dos condiciones extremas en que pueden estar los suelos: a) la condición drenada, en que la carga se aplica lentamente, para que no se eleve la presión del agua permitiendo que esta fluya hacia el exterior, y b) la condición no drenada, en que la carga se aplica rápidamente, sin permitir la salida del agua, aumentando por consiguiente la presión de poros.

Según estas diferentes condiciones, en la prueba lenta se alcanza una completa consolidación de la muestra, mientras que en la prueba rápida no se alcanza la consolidación; la prueba rápida-consolidada permite consolidación en la primera etapa, pero no en la segunda.

ART. 12.9 PRUEBAS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS PARA SUBRASANTE, SUBBASES Y BASES

De manera de poder caracterizar los suelos que participarán en el proyecto de pavimentación y verificar que cumplan con la aptitud necesaria y los parámetros de especificación para ser colocados, construidos y utilizados, se han desarrollado diferentes ensayos que permiten determinar la capacidad de soporte de la subrasante, subbases y bases, como también del pavimento en su totalidad.

Esta información es usada por los diversos métodos de diseño de pavimentos caracterizando la subrasante, para el caso de los pavimentos rígidos, a través del módulo de reacción (k) y para el caso de los pavimentos flexibles, a través del módulo resiliente (Mr).

Para la determinación de "k" se utiliza el método de Prueba de Placa o bien correlaciones con el CBR.

La determinación de "Mr" se puede realizar directamente a través del ensayo Triaxial o deflectometría de impacto; o bien, es posible utilizar correlaciones existentes entre Mr y CBR.

A continuación se entrega una descripción de cada uno de los ensayos mencionados.

12.9.1 PRUEBAS DE PLACA

El módulo de reacción sirve para establecer un parámetro de soporte del suelo que será usado como subrasante, subbase o base de apoyo y cuyo valor es utilizado como parámetro de diseño.

Esta prueba determina la capacidad soportante mediante una carga aplicada sobre una placa circular, en contacto estrecho con el suelo, y se miden las deformaciones que se producen correspondientes a diferentes cargas. Es frecuente el uso de placas de 76,2 cm (30") de diámetro o de placas de área igual al contacto de un neumático vehicular. Para impedir la flexión del elemento, se pueden colocar encima otras placas de diámetros decrecientes, de manera de proporcionar la rigidez deseada para el ensayo. Las deformaciones de la placa se pueden medir por medio de extensómetros ligados a un puente, cuyo apoyo se coloca a suficiente distancia de la placa.

Por medio de esta prueba puede calcularse el módulo de reacción, denominado usualmente como valor "k" de un suelo, ya sea para subrasante, base o subbase.

Este concepto se define como la presión que transmite la placa para producir en el suelo una deformación fijada previamente.

$$k = \frac{P}{\Delta}$$

Donde:
P: presión
Δ: deformación

Su unidad de medida es el $kg/cm^2/cm$ (kg/cm^3).

El valor del Módulo de Reacción, se puede determinar mediante dos tipos de ensayos de placa de carga:

- Ensayos con cargas estáticas repetitivas (AASHTO T221, ASTM D1195).
- Ensayos con cargas estáticas no repetitivas (AASHTO T222, ASTM D1196).

Si bien ambos ensayos se realizan con el plato de carga de 762 mm (30”) de diámetro, en el ensayo repetitivo, el valor de k se determina como la razón entre la carga y la deformación elástica (la parte que se recupera de la deformación total); mientras que en el ensayo no repetitivo, se usa la razón entre carga y deformación para una deformación de 1,25 mm (0,05”).

El módulo de reacción k depende de la humedad presente en el suelo, por lo que es conveniente trabajar con la “humedad de equilibrio”, pero como no se conoce a priori, se acostumbra a usar una humedad que se considere crítica, como puede ser la de saturación.

La carga se aplica a las placas por incrementos sucesivos. Un nuevo incremento se coloca cuando la velocidad de deformación bajo el anterior es del orden de 0,001 cm/min.

El valor “k” no es un valor fundamental ya que varía de acuerdo a la geometría del plato de carga y por lo tanto, es necesario considerar esta particularidad para ensayos comparativos, cuidando utilizar los mismos parámetros de ensayo en suelos distintos.

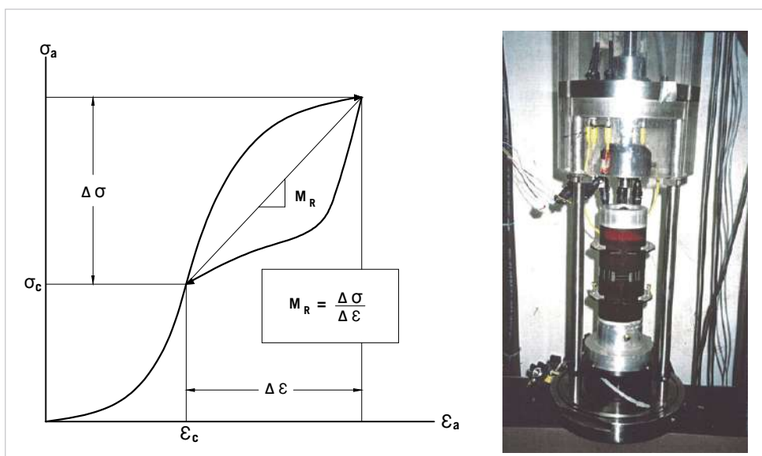
Los resultados de este método de ensayo se utilizan en el diseño de pavimentos rígidos, ya sea por el método AASHTO y por el método de diseño mecanicista, como se explica en la Sección 14, Art.14.3., Art.14.4 y Art.14.5.

12.9.2 ENSAYO TRIAXIAL

A través del ensayo Triaxial, se obtiene directamente el módulo resiliente de un suelo (Mr), que es una medida de las propiedades elásticas del suelo y se define como el cociente entre esfuerzo aplicado (pulso de carga) y deformación resiliente (recuperable) que, en general, muestran ciertas características no lineales. El valor del módulo resiliente se determina según el método de ensayo Norma AASHTO T-274. Este ensayo se efectúa en un equipo triaxial dinámico para cargas repetidas.

Una representación de los resultados del ensayo, de su método de cálculo y una vista del equipo para el ensayo, se muestran a continuación en la Figura 12.3.

FIGURA 12.3
EQUIPO UTILIZADO PARA REALIZAR ENSAYO TRIAXIAL



El equipo para medir las deformaciones cuenta con transformadores diferenciales regulables lineales Linear Variable Differential Transformer (LVDT). Se aplican impulsos de carga con período de reposo, simulando lo que sucede en terreno.

La presión de confinamiento y la tensión de desviación se aproximan al estado de tensiones que se espera en terreno.

El ensayo tiene procedimientos diferentes, según sea el suelo fino o granular, debido a que la respuesta del suelo es diferente.

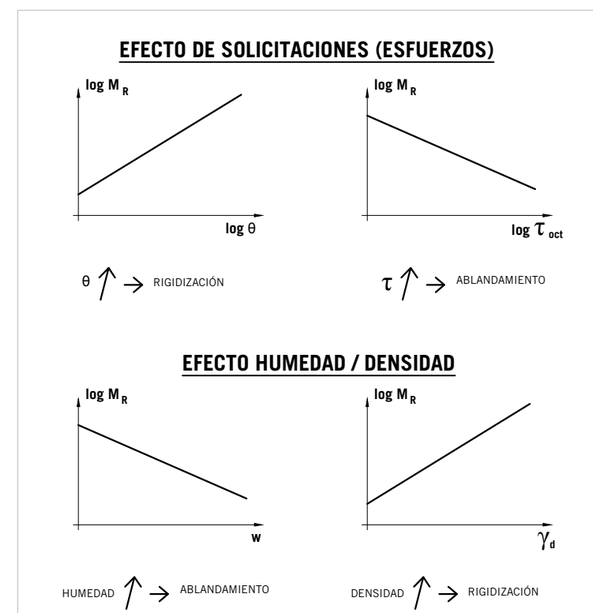
Un suelo fino al aplicársele una solicitación (esfuerzo) responde con una deformación con características de ablandamiento. En otras palabras, cuando se aplica una carga a un suelo fino, este se ablanda (“τ” =Tensión octaédrica en suelos finos).

Un suelo granular al aplicársele una solicitación (esfuerzo) responde con una deformación con características de endurecimiento. Dicho de otra manera, al cargar un suelo granular, este se rigidiza. (“θ” = tensión volumétrica en granulares).

En ambos casos el módulo resiliente es dependiente del contenido de humedad y de la densidad del suelo.

En la Figura 12.4 se presentan relaciones que describen el comportamiento del módulo resiliente del suelo, según la condición de rigidización o ablandamiento.

FIGURA 12.4
COMPORTAMIENTO DEL MÓDULO RESILIENTE



Los resultados del ensayo determinan el carácter elástico de la probeta de suelo, que queda sometida a una tensión de deformación axial reiterativa, de cierta magnitud, estando dicha probeta dentro de una cámara triaxial, sometida a una presión lateral estática.

En resumen, el módulo resiliente es una función que depende de las características propias del suelo, del estado de tensiones, de su grado de saturación y de su densidad.

Cuando en el diseño estructural se correlaciona con CBR, es preciso tener presente estos efectos.

AASHTO considera el estado de tensiones a 50 cm de profundidad para determinar los esfuerzos correspondientes al módulo resiliente de la subrasante.

Para la determinación del M_R a utilizar para el diseño de la estructura, se debe realizar un muestreo de la capacidad de la subrasante a lo largo de la vía.

En caso de que esté disponible la plataforma de la vía, lo ideal es realizar la caracterización de la subrasante mediante deflectometría de impacto que, a través de un método no destructivo y de alto rendimiento, permite obtener las características del suelo de subrasante a través de su módulo resiliente.

12.9.3 DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO (FWD)

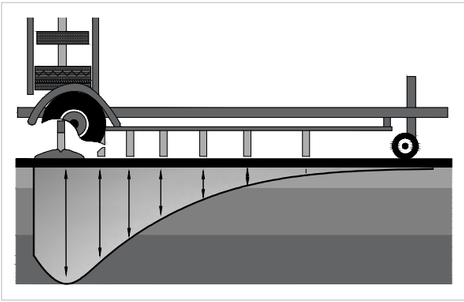
El deflectómetro de impacto, denominado como FWD, es un equipo de ensaye no destructivo que simula mediante un impacto vertical la carga de un vehículo pesado sobre un pavimento, midiendo la deformación vertical elástica a diferentes distancias del punto de impacto.

El ensayo consiste en la aplicación de una carga “P”, a través de un plato metálico de radio “a”, sobre la superficie del pavimento, el cual ejerce sobre este una presión “p”. La carga aplicada produce la deflexión del pavimento, que se mide a varias distancias “r”, con respecto al centro de aplicación de la carga.

Este ensayo es muy útil para conocer la capacidad de soporte de la estructura. Los resultados de este ensayo permiten determinar los módulos de reacción de cada una de las capas que conforman la estructura, a través de métodos directos o indirectos.

En la Figura 12.5 se presenta esquemáticamente la aplicación de un ensayo de deflectometría de impacto y de los resultados que se obtienen, tales como amplitud de respuesta en los distintos estratos y velocidad de respuesta, lo que permite determinar el módulo de reacción de las distintas capas que conforman el suelo y el pavimento.

FIGURA 12.5
OBTENCIÓN DEL MÓDULO DE REACCIÓN DE LA ESTRUCTURA CON DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO



12.9.4 PRUEBA DE RAZÓN DE SOPORTE CBR

Esta es una prueba de penetración del suelo, en la cual un vástago de 19,4 cm^2 de área se hace penetrar en un espécimen de suelo, a razón de 0,127 cm/min, midiendo la carga aplicada para penetraciones que varían en 0,25 cm.

El ensayo del CBR se define como la relación, expresada como porcentaje, entre la presión necesaria para penetrar los primeros 0,25 cm y la presión necesaria para obtener la misma penetración en un material adoptado como patrón, que es hecho en base a una piedra triturada, del cual se dispone de las presiones en el vástago para distintas penetraciones.

El espécimen de suelo en que se hace la prueba está confinado en un molde de 15,2 cm de diámetro y 20,3 cm de altura.

El valor obtenido con este ensayo es la medida más utilizada para establecer especificaciones para el suelo a ser usado en un proyecto de pavimentación. En base a este valor se especifican las bases y subbases.

Los factores que más afectan los valores obtenidos en la prueba del CBR son la textura del suelo, su contenido de agua y el peso específico seco.

Generalmente la curva presión-penetración obtenida en la prueba, es lineal para bajas penetraciones y tiende a hacerse ligeramente curva para penetraciones mayores. Este punto se rige según NCh 1852 “Mecánica de suelos - Determinación de la razón de soporte de suelos compactados en laboratorio”.

Como se mencionó antes, es posible determinar el módulo de reacción (k) o el módulo resiliente (Mr) de la subrasante, a través de correlaciones con el CBR. A continuación se presentan dichas relaciones:

- $M_r\,(MPa) = 17{,}6 * CBR^{0{,}64}$ CBR < 12%
- $M_r\,(MPa) = 22{,}1 * CBR^{0{,}55}$ 12% ≤ CBR < 80%
- $k\,(MPa/m) = 69{,}78 \log_{10} CBR - 10{,}16$

ART. 12.10 CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Existen diferentes sistemas de clasificación de los suelos, en relación a sus condiciones, como fundación, subrasante, subbase o base, de acuerdo al criterio empleado. Uno de ellos, es el sistema de clasificación AASHTO, que se basa en la granulometría del suelo y tiene una aplicación preferente en pavimentos.

Cabe mencionar también que el sistema de clasificación U.S.C.S. (Sistema Unificado) ha alcanzado una amplia difusión y ofrece particulares ventajas en fundaciones de estructuras.

El sistema AASHTO emplea siete grupos básicos de suelos, designados con los símbolos A-1 hasta A-7. En el apéndice III (Lámina Tipo Nº 12.1) se presenta el cuadro de clasificación de suelos según este sistema.

Como se observa en dicho cuadro, los parámetros usados para definir cada grupo de suelos, son la granulometría, el límite líquido, el índice de plasticidad y el índice de grupo. Con respecto a este último, simbolizado por “I.G.”, se determina de acuerdo a la siguiente expresión:

$$I.G. = 0{,}2 * a + 0{,}005 * a*c + 0{,}01 * b*d$$

Siendo:

a = Valor porcentual correspondiente a la diferencia entre el porcentaje del material que pasa la malla N°200 y 35%, expresado como número entero para porcentajes mayores de 75 se considera solamente el valor 40 y para porcentajes menores de 35, el valor de "a" se toma igual a cero.

b = Valor porcentual correspondiente a la diferencia entre el porcentaje del material que pasa la malla N°200 y 15%, expresado como número entero positivo para porcentajes mayores de 55 se toma b = 40. Para porcentajes menores de 15, el valor de "b" se toma igual a cero.

c = Valor obtenido restando la cantidad 40 del valor del límite líquido, expresado como número entero positivo; si este valor excede de 60, se adopta el valor 20. Para límites líquido menores de 40, el valor de "c" se toma igual a cero.

d = Valor resultante de restar 10 al valor del índice de plasticidad, expresado como número entero positivo; si el valor obtenido excede de 30, se adopta el valor 20. Para límites líquido menores de 10, el valor de "d" se torna igual a cero. Para límites líquido menores de 10, el valor de "d" se torna igual a cero.

Nótese que el rango de valores de "I.G." se encuentra entre 0 y 20. Además, entre el Índice de Grupo y el valor relativo de soporte "CBR" existe una correlación inversa, vale decir, que a mayor valor del primero, este último es menor.

ART. 12.11 COMPACTACIÓN DE SUELOS

Se denomina compactación de suelos al proceso mecánico mediante el cual se aumenta la densidad de un suelo con el fin de mejorar sus características de resistencia, compresibilidad y esfuerzo-deformación y, con ello, conseguir que el suelo mantenga un comportamiento adecuado durante la vida útil del pavimento.

La eficiencia del proceso de compactación depende de varios factores, cuya influencia se determina por medio de procedimientos normalizados, que reproducen en el laboratorio las condiciones de terreno.

Los factores aludidos son los siguientes:

i. La naturaleza del suelo
ii. El método de compactación
iii. La energía especifica por unidad de volumen
iv. El contenido de agua del suelo
v. El sentido en que varían los contenidos de humedad del suelo durante la compactación
vi. El contenido de agua original del suelo
vii. La temperatura
viii. Otras variables tales como: número y espesor de las capas por compactar, número de pasadas del equipo de compactación o número de golpes de pisón en cada capa

En el laboratorio se determinan las "curvas de compactación", que relacionan el contenido de humedad del suelo y su peso volumétrico seco. Tales curvas permiten determinar la humedad óptima, correspondiente al valor máximo del peso específico.

ART. 12.12 COMPACTACIÓN DEL TERRENO

12.12.1 MÉTODOS DE COMPACTACIÓN

Los métodos utilizados para la compactación de suelos, dependen del material con el que se trabaje en cada caso, pero en forma general se tiene:

i. Por presión estática
ii. Por impacto
iii. Por vibración
iv. Por amasado

Es posible establecer, por ejemplo, que en materiales friccionantes, como la arena, funciona mejor un método vibratorio, mientras que en suelos plásticos, el método de carga estática resulta ser más ventajoso. En la Tabla 12.1 se realiza una clasificación del tipo de compactación resultante, según el método de compactación y el tipo de material disponible.

TABLA 12.1
MÉTODO DE COMPACTACIÓN SEGÚN EL TIPO DE SUELO.

MATERIAL	IMPACTO	PRESIÓN	VIBRACIÓN	AMASADO
Grava	Pobre	No	Bueno	Muy bueno
Arena	Pobre	No	Excelente	Bueno
Limo	Bueno	Bueno	Pobre	Excelente
Arcilla	Excelente	Muy bueno	No	Bueno

12.12.2 EQUIPOS

Los equipos comúnmente usados en la compactación de suelos son:

i. Rodillo liso
ii. Rodillo neumático
iii. Rodillo pata de cabra
iv. Rodillos y placas vibratorias
v. Pisones

Sus aplicaciones y principales características se señalan a continuación:

12.12.2.1 RODILLOS LISOS

Comúnmente usado en gravas y arenas mecánicamente estables, siempre y cuando funcionen junto a un sistema de vibración. De lo contrario, son principalmente usados en trabajos de terminación superficial o de compactación ligeros. Este tipo de equipos aplica una carga estática al material que radica principalmente en su peso.

12.12.2.2 RODILLOS NEUMÁTICOS

Se utilizan generalmente en arenas uniformes y suelos cohesivos, con humedad cercana al límite plástico.

Se caracterizan por aplicar a la superficie de la capa, la misma presión desde la primera pasada,

siendo sus llantas flexibles las que proporcionan un área de transmisión de presión lo suficientemente grande como para lograr que el efecto de la densificación se transmita a profundidades considerables, permitiendo utilizar espesores de capa económicos, sin perder homogeneidad en los resultados.

La superficie de contacto de la llanta con el suelo es función de peso del rodillo y de la presión de inflado, por lo que se utilizan equipos muy pesados cuando se deseen aplicar presiones muy grandes en áreas importantes.

12.12.2.3 RODILLOS PATA DE CABRA

Se utilizan por lo general en suelos finos, con humedad entre 7 y 20% por debajo del límite plástico. Estos equipos pueden compactar, concentrando grandes presiones en los puntos de apoyo relativamente pequeños que poseen en los tambores, penetrando en la capa de material suelto, especialmente en las primeras pasadas, lo que luego va disminuyendo a medida que la capa se densifica. De esta forma el rodillo va compactando la capa desde abajo hacia arriba.

12.12.2.4 RODILLOS Y PLACAS VIBRATORIAS

Se utilizan generalmente en la compactación de suelos granulares, debido a que estos se compactan mejor a través de la vibración, la que reduce la fricción entre las partículas, dejando que estas se acomoden por su propio peso.

Su funcionamiento se basa en la combinación del peso del equipo más fuerza dinámica proporcionada por el vibrador, lo cual puede actuar a una amplitud y frecuencia adecuada como para permitir el movimiento de las partículas o granos de suelo. Las placas por su parte, si bien poseen un mismo funcionamiento, se utilizan para trabajos de menor envergadura.

Se recomienda emplear rodillos vibratorios cuyos pesos varíen de 11 a 6 toneladas, dependiendo del fabricante. Sus frecuencias van de 30 a 40 Hz y sus amplitudes van de 1,78 a 0,75 mm en los rodillos para 11 toneladas y para rodillos de 6,6 toneladas, frecuencias de 30 a 42 Hz y amplitudes de 1,55 a 0,69 Hz. Estos valores son solo referenciales ya que dependen del fabricante. El tamaño del rodillo a emplear depende del tipo de suelo y espesor de la capa. La amplitud y frecuencia debe verificarse en terreno, antes de proceder a fijarla.

12.12.2.5 PISONES

Su efecto de compactación por impacto les permite un amplio uso en zonas donde un rodillo compactador tradicional no cabe o bien existe peligro de deteriorar elementos cercanos a la zona de trabajo. Se sugiere emplear este equipo, solo cuando los estándares de compactación exigidos, sean inferiores a los usados en capas estructurales y subrasante de pavimentos.

12.12.3 SELECCIÓN DEL EQUIPO

Por lo general, para la selección de equipo a través del tipo de suelo es posible guiarse por la clasificación AASHTO, como se muestra a continuación:

TABLA 12.2
SELECCIÓN DE EQUIPO SEGÚN CLASIFICACION AAHSTO.

TIPO DE EQUIPO	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7
Rodillo liso	1	2	2	1	1	1	2	2	3	3	4
Rodillo neumático	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	3
Rodillo pata de cabra	5	5	5	4	4	3	2	2	1	1	1
Pisión de impacto	2	2	1	2	2	4	4	4	4	4	4
Rodillo vibratorio	1	1	1	1	1	3	4	3	3	5	5

Considerando como comportamiento del equipo:

1= Excelente
2= Bueno
3= Regular
4= Deficiente
5= Inadecuado

En forma general, para la compactación de las capas de subestructura de un pavimento flexible, se recomienda el uso de rodillos del tipo vibratorio para terminar con rodillos lisos o neumáticos. En lugares donde el ancho sea inaccesible a los equipos usuales se puede compactar con pisones mecánicos manuales u otros equipos hasta alcanzar la mínima densidad establecida.

La superficie final deberá ser uniforme y sin variaciones de cota mayores de 0,0 y -1,0 (cm) respecto a las cotas de proyecto.

ART. 12.13 PRUEBAS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO

En el laboratorio se efectúan pruebas de compactación que tratan de representar lo más fielmente posible las condiciones del terreno. Existen las siguientes pruebas que permiten obtener información acerca del tipo de suelo.

12.13.1 PRUEBAS DINÁMICAS

Presentan las siguientes características:

El suelo se puede compactar por capas en el interior de un molde metálico cilíndrico.

i. La compactación se puede obtener aplicando a cada capa un cierto número de golpes, uniformemente distribuidos, mediante un pisón.
ii. Existen expresiones que permiten calcular la energía específica en base a: número de golpes por capa, número de capas, peso del pisón, altura de caída y volumen del molde.
iii. En todos los casos se especifica un tamaño máximo de partícula, eliminándose las mayores por tamizado.
iv. Las pruebas dinámicas más usadas son: la prueba Proctor Standard y la prueba Proctor Modificado.

12.13.2 PRUEBAS ESTÁTICAS

Entre estas puede mencionarse la prueba introducida por O. J. Porter, en la cual se compacta el suelo, colocándolo dentro de un molde cilíndrico de 15,2 cm de diámetro, en tres capas, aplicando 25 golpes de una varilla con punta de bala. La compactación se logra al aplicar al conjunto de las tres capas una presión de 140,6 kg/cm^2 durante un minuto.

12.13.3 PRUEBAS POR AMASADO

En estas pruebas se presiona un émbolo de área especificada, contra la superficie de las diversas capas de la muestra colocada dentro de un molde; la presión aplicada es constante.

12.13.4 PRUEBAS POR VIBRACIÓN

Generalmente estas pruebas utilizan un molde Proctor montado en una mesa vibratoria. Se estudia el efecto de la frecuencia, de la amplitud y de la aceleración de la mesa vibratoria, así como la influencia de las sobrecargas, de la granulometría del suelo y del contenido de agua.

ART. 12.14 NORMATIVA DE ENSAYOS PARA LA MECÁNICA DE SUELOS

Los ensayos que deben realizarse para establecer los parámetros de caracterización de suelos, están referenciados en base a la normativa nacional o extranjera aplicable, la que determine la autoridad respectiva o la que se especifique para el proyecto particular y cuyas metodologías de medición y ensayo deben ser realizadas por un Laboratorio de Control Técnico de Calidad de Construcción del Minvu, según Decreto Supremo Nº 10 año 2002.

Para cada una de las normas mencionadas, deberá utilizarse la versión oficial vigente. Estas exigencias no excluyen ensayos adicionales que pudieran ser requeridos, según el proyecto.

a. Para obras de pavimentación:

1. NCh 1516 - Determinación de la densidad en terreno - Método del cono de arena.
2. MC 8.102.1 Of. 03 (LNV 105), Determinación de la Granulometría de suelos.
3. NCh 1517/1 - Límites de consistencia - Parte 1: Determinación del límite líquido.
4. NCh 1517/2 - Límites de consistencia - Parte 2: Determinación del límite plástico.
5. NCh 1852 - Determinación de la razón de soporte de suelos compactados en laboratorio.
6. NCh 1534/2 - Relaciones humedad/densidad - Parte 2: Métodos de compactación con pisón de 4,5 kg y 460 mm de caída.
7. NCh 1515 - Determinación de la humedad.
8. NCh 1532 - Determinación de la densidad de partículas sólidas.
9. NCh 1726 - Determinación de las densidades máxima y mínima y cálculo de la densidad relativa en suelos no cohesivos.

b. Para estructuras:

1. NCh 1516 - Determinación de la densidad en el terreno - Método del cono de arena.
2. MC 8.102.1 Of. 03, (LNV 105). Determinación de la Granulometría de suelos.
3. NCh 1517/1 - Límites de consistencia - Parte 1: Determinación del límite líquido.
4. NCh 1517/2 - Límites de consistencia - Parte 2: Determinación del límite plástico.
5. ASTM 2166-06. Ensayo de compresión no confinada.
6. NCh 1534/2 - Relaciones humedad/densidad - Parte 2: Métodos de compactación con pisón de 4,5 kg y 460 mm de caída.
7. ASTM D3080-04. Corte directo de suelos bajo condiciones consolidadas drenadas.
8. ASTM 2850-03 - Método de prueba estándar para compresión triaxial sobre suelos cohesivos sin consolidación y sin drenar.
9. NCh 1515 - Determinación de la humedad.

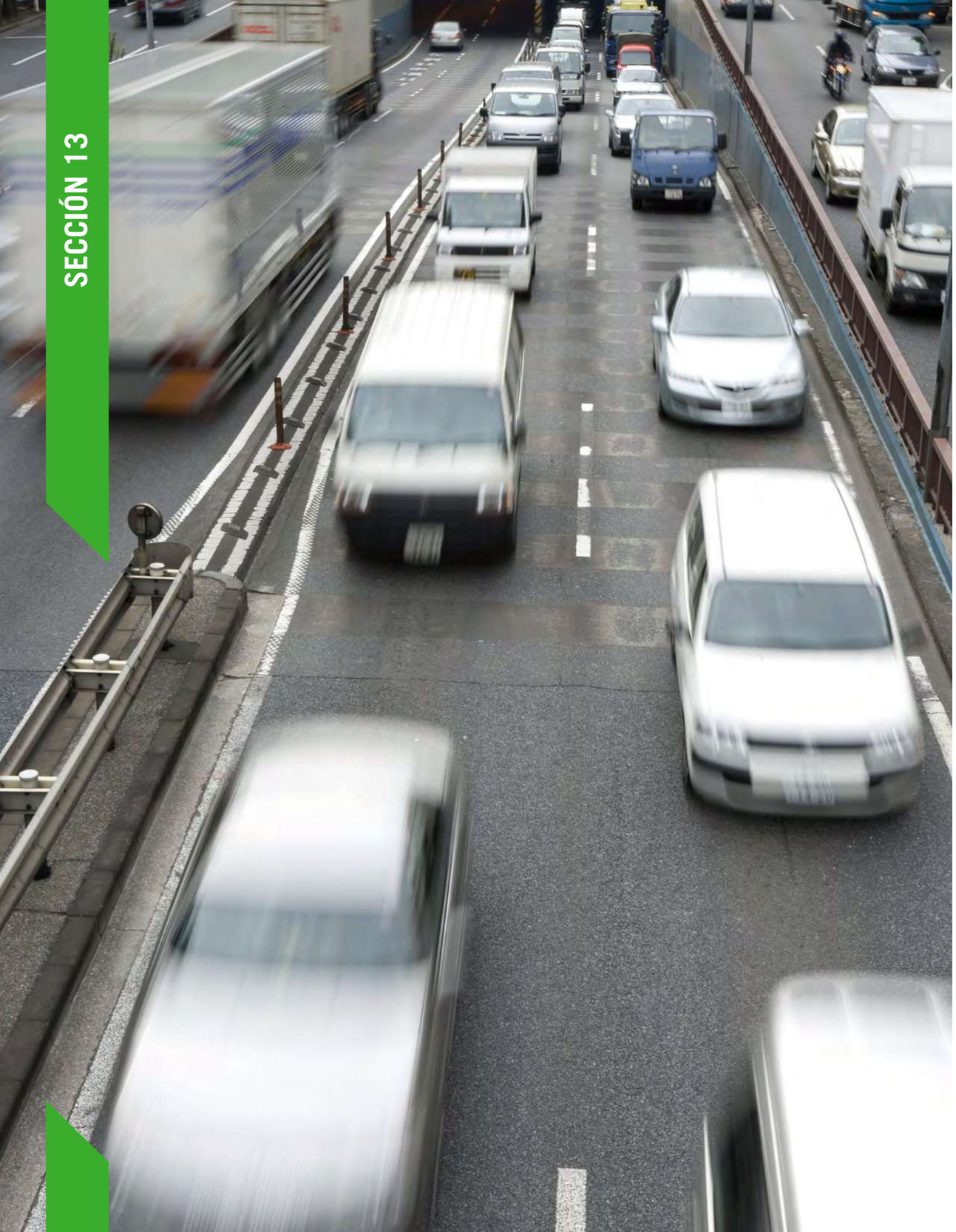
c. Áridos para suelos:

1. MC 8.202.6 Of.03 (LNV 3). Determinación de la cubicidad de partículas.
2. NCh 1223 - Determinación del material fino menor a 0,080 mm.
3. NCh 1369 - Determinación de la resistencia al desgaste por abrasión e impacto - Método de la máquina de Los Ángeles .

d. Ensayos especiales:

1. ASTM D2435-04. Ensayo de consolidación unidimensional utilizando incrementos de carga.

SECCIÓN 13
ESTUDIOS DE TRÁNSITO



SECCIÓN 13
ESTUDIOS DE TRÁNSITO

13.1 INTRODUCCIÓN

Los estudios de tránsito proporcionan información relevante para la formulación de iniciativas de inversión en infraestructura vial, ya que a través de ellos se pueden estimar los flujos de beneficios que origina una inversión pública en ese contexto. Adicionalmente, este tipo de estudios se desarrolla en situaciones especiales, cuando se requiere estimar las solicitaciones que provocará el tránsito vehicular sobre los pavimentos.

En el caso normal, la estimación de las solicitaciones de tránsito para el diseño estructural de pavimentos urbanos, surge de la aplicación de estudios realizados por este ministerio, tomando en consideración que el tránsito que circula por las vías urbanas depende fundamentalmente de la categoría de la vía a diseñar. En este contexto, hay que tener presente que las vías urbanas responden a la necesidad de la ciudad de generar elementos conectores de tránsito vehicular y peatonal entre los distintos centros de actividad. Es así que, conforme con la planificación de cada centro urbano reconocida formalmente a través de los Instrumentos de Planificación Territorial, las vías deben diseñarse en correcta armonía con las necesidades de comunicación entre los distintos polos de actividad de cada uno de esos centros de desarrollo, es decir, su diseño debe estar en total armonía con los usos de suelo aceptados por dichos instrumentos, en el entorno inmediato de las vías.

Para responder adecuadamente a este requerimiento, la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) clasifica las vías en: vías de tránsito vehicular y vías de tránsito peatonal. Dentro de las primeras, a su vez, genera la siguiente sub clasificación de vías de tránsito vehicular, ordenadas de mayor a menor importancia en términos del rol articulador de las distintas actividades que se generan en dichos centros urbanos, según el siguiente detalle:

- Vías Expresas
- Vías Troncales
- Vías Colectoras
- Vías de Servicio
- Vías Locales

En consecuencia, cada Plan Regulador, ya sea de carácter comunal o metropolitano, conjuntamente con definir los usos de suelo del territorio urbano, define la red de vías de tránsito vehicular que permitirán hacer funcionar armónicamente los distintos centros de desarrollo de cada ciudad, estableciendo además de la red, la categoría de cada una de esas vías.

Por su parte, respecto de las vías de tránsito peatonal, la OGUC clasifica estas vías en:

- Pasajes en general
- Pasajes en pendiente elevada

En consecuencia, para efectos de fijar el tránsito de diseño de las vías, y reconociendo que este depende fundamentalmente de la categoría de las vías –independientemente de la localidad en la que se encuentren dentro del territorio nacional–, estos fueron evaluados con un horizonte de 20 años, tras medir y pesar una gran cantidad de vehículos en diversas vías. El resultado de este análisis se establece en las cartillas de diseño de este Código.

En el caso que, excepcionalmente no se cuente con instrumentos de planificación territorial que informen

respecto de la clasificación de las vías, o bien, no sea posible asimilar la vía a diseñar con alguna categoría establecida en la OGUC, se pueden estimar las solicitaciones de tránsito conforme se indica en el siguiente artículo, no pudiendo ser inferiores a los considerados en las cartillas de diseño contenidas en este Código.

13.2 SOLICITACIONES DE TRÁNSITO (DISEÑO EMPÍRICO MECANICISTA)

Los datos de tránsito se encuentran dentro de los elementos clave requeridos para el diseño y análisis de la estructura de los pavimentos, pues son necesarios para estimar la magnitud y la frecuencia de las cargas que serán aplicadas durante su vida útil.

Los datos del tránsito requeridos en un diseño mecanicista son independientes del tipo de pavimento (rígido o flexible) o del diseño (nuevo o rehabilitado). Los valores típicos necesarios para la aplicación de la metodología de diseño se enumeran a continuación:

- Volumen del tránsito pesado (camiones y buses) para el año base.
- Velocidad operacional de los vehículos (camiones y buses).
- Factores direccionales y de distribución por pista.
- Espectro normalizado de cargas por eje, por tipo de vehículo y por tipo de eje.
- Factor de distribución por tipo de vehículo.
- Configuraciones base de ejes y ruedas (simples, dobles, triples).
- Características de los neumáticos y de la presión de inflado.
- Factor de distribución lateral de vehículos pesados (camiones y buses).
- Factor de crecimiento del tránsito de vehículos pesados (camiones y buses).

La determinación de estas variables se obtiene a partir de tres fuentes distintas: pesaje en movimiento, clasificación automática de vehículos y conteo de vehículos. Estos datos pueden aumentarse por estimaciones calculadas a partir de proyecciones de tránsito y modelos de generación de tránsito.

A continuación se describen los datos de tránsito requeridos para el diseño empírico mecanicista de pavimentos nuevos y rehabilitados.

13.2.1 INFORMACIÓN DEL VOLUMEN DE TRÁNSITO PARA EL AÑO BASE

Para los efectos de los datos de entrada de tránsito, el año base se define como el primer año calendario en que el segmento de vía a diseñar es abierto al tráfico. Para ello, se requiere de la siguiente información para el año base:

13.2.1.1 TRÁNSITO MEDIO DIARIO ANUAL DE CAMIONES, CONSIDERANDO AMBOS SENTIDOS (TMDAC)

Es el volumen total del tráfico de camiones (vehículos pesados), considerando ambos sentidos, que pasa por un segmento o tramo de una ruta a diseñar, durante 24 horas. Comúnmente, se obtiene de la información proveniente de pesajes en movimiento, de la clasificación automática de vehículos, de conteos de vehículos y de modelos de generación de viajes, además de las proyecciones de tránsito, durante un período de tiempo dado (se contabiliza un número de días mayor que uno y menor que 365).

El TMDAC es simplemente el cociente entre el número total de vehículos pesados contabilizados en ambos sentidos, para un período de tiempo dado y el número de días de dicho período.

13.2.1.2 NÚMERO DE PISTAS O CARRILES EN LA DIRECCIÓN DE DISEÑO

El número de pistas en la dirección de diseño se determina a partir de especificaciones de diseño y representa el número total de carriles en una dirección.

13.2.1.3 PORCENTAJE DE CAMIONES EN LA DIRECCIÓN DE DISEÑO (FACTOR DIRECCIONAL)

El porcentaje de camiones en la dirección de diseño, o factor de distribución direccional (FDD), se utiliza para contabilizar las diferencias o la proporción del volumen de camiones entre ambas direcciones. Usualmente se asume que el TMDAC o el TMDA se distribuyen en partes iguales entre ambas direcciones, sin embargo, eso no siempre es así. La proporción puede variar de vía en vía y depende de varios factores, como por ejemplo: las mercaderías transportadas entre otros patrones de tráfico locales o regionales.

13.2.1.4 PORCENTAJE DE CAMIONES EN LA PISTA O CARRIL DE DISEÑO (FACTOR DE PISTA)

El porcentaje de camiones en la pista o carril de diseño, o factor de distribución por pistas (FDP), define la fracción de camiones que circulan por cada una de las pistas de una ruta, en una dirección. Para vías de dos pistas y dos direcciones (es decir, una pista por cada dirección), este factor es 1.0, pues todo el tránsito de vehículos pesados, en cualquiera de las direcciones, circula por la misma pista. Para más de una pista por dirección, el FDP depende de factores tales como el TMDAC, otros factores de tipo geométrico y del sitio específico del proyecto.

13.2.1.5 VELOCIDAD OPERACIONAL VEHICULAR (CAMIONES)

La velocidad operacional de los vehículos, o la velocidad promedio de viaje, depende de varios factores, incluyendo el tipo de calle, la calidad del pavimento y el porcentaje de camiones en el flujo vehicular.

13.2.1.6 FACTORES DE AJUSTE DE VOLUMEN DE TRÁNSITO

Los siguientes factores de ajuste para el volumen de tránsito de camiones, son requeridos para la caracterización del tráfico:

- Factores de ajuste mensual
- Factores de distribución por clase de vehículo
- Factores de distribución horaria de camiones
- Factores de crecimiento del tránsito

13.2.1.7 ESPECTROS NORMALIZADOS DE CARGAS POR EJE (FACTORES DE DISTRIBUCIÓN DE CARGAS POR EJE)

Un espectro normalizado de cargas por eje es la distribución del porcentaje de ejes que pasan por una vía o sección de ruta, por rango de carga por eje. Este espectro normalizado se determina por tipo de eje y por tipo de vehículo. De este modo, los factores de distribución de cargas por eje son los porcentajes del total de ejes aplicados, para cada rango de carga por eje (es decir, son cada uno de los componentes del espectro normalizado de cargas por eje).

En la guía AASHTO 93 se ha definido el deterioro global en el pavimento a lo largo de su vida útil, en función de los Ejes Equivalentes. Este parámetro se evalúa a partir del Factor de Eje Equivalente (FEE), el cual es un factor o índice del daño en el pavimento, asignado a cada carga por eje específica. Dicho factor se determina a partir de la siguiente expresión:

$$\textbf{Factor } EE_x = \frac{\text{Nº de ejes de x peso (kN) que causan una determinada pérdida de servicialidad}}{\text{Nº de ejes de 80 kN que causan una misma pérdida de servicialidad}}$$

Los Ejes Equivalentes, para cada grupo de carga, se obtienen del producto entre el Factor de Eje Equivalente y el número de ejes que pasan. Por ejemplo, si a un eje simple que pesa entre 8,5 y 9,5 toneladas se le agrupa en un rango de pesos por eje que tiene como valor representativo de 9 toneladas, y su FEE (para un eje de 9 toneladas) es de 1,5, se obtiene entonces que el paso de 10 ejes simples da como resultado 15 Ejes Equivalentes.

Repitiendo el procedimiento anterior para los demás rangos de cargas por eje y sumando todos los resultados obtenidos, es posible convertir millones de diferentes cargas por eje, en una cantidad: el número de Ejes Equivalentes.

A lo largo del tiempo, se han propuesto variadas expresiones para el FEE. Aun cuando la definición del Factor Eje Equivalente difiere, la gran mayoría de ellos se basa en análisis racionales. Los FEE más ampliamente usados son los propuestos por la guía AASHTO, los cuales dependen de las siguientes variables:

- Tipo de pavimento (flexible o rígido).
- Espesor del pavimento (número estructural en los pavimentos flexibles y espesor de losa en pavimentos rígidos).
- Serviciabilidad del pavimento (serviciabilidad inicial y serviciabilidad al final de su vida útil, en términos de los índices de serviciabilidad presentes).

La evaluación del deterioro en el pavimento a través del uso de la metodología de Ejes Equivalentes, presenta una serie de limitaciones. Por ejemplo, al realizar la comparación de las cargas generadas por tránsito en diferentes tramos de la vía, solo se pueden obtener resultados generales aproximados, lo que puede inducir a errores, debido a que este parámetro, además del tráfico, depende del tipo de pavimento, del espesor y de los niveles de serviciabilidad, y una variación en ellos no puede ser directamente atribuible a cambios en el flujo y cantidad de vehículos.

Por ejemplo, los Ejes Equivalentes pueden variar de una sección a otra, aun cuando el flujo de tránsito permanezca constante, debido a cambios en el tipo de pavimento o a modificaciones por rehabilitación. Sin embargo, el procedimiento general de convertir un tráfico variado en aplicaciones de Ejes Equivalentes de 80 kN (18.000 lbf u 8,16 t) nunca ha sido verificado en terreno. Por otro lado, los factores de equivalencia de carga (FEE) están asociados específicamente a los materiales y a las condiciones de la prueba AASHTO de deterioro, haciendo incierta la exactitud en la extrapolación de estos factores para otras regiones, materiales y tipos de deterioro en el pavimento. Por lo tanto, todas estas incertidumbres del método deben ser revisadas y calibradas adecuadamente para mejorar las estimaciones en los diseños de pavimentos.

Por otra parte, el tradicional método de diseño AASHTO y los nuevos procedimientos empírico-mecanicistas aplican diferentes criterios para evaluar el daño que puede presentar una vía. El criterio de deterioro utilizado en AASHTO guarda relación con la serviciabilidad, es decir, la evaluación subjetiva de un panel de usuarios que califican la capacidad funcional de una vía (actualmente existen ecuaciones que permiten correlacionar la serviciabilidad con el IRI).

En los procedimientos de diseño empírico-mecanicistas, se tiene en cuenta que el Factor de Ejes Equivalentes se calcula de acuerdo al tipo de deterioro considerado. Por ejemplo, si dicho tipo de deterioro es la deformación en la subrasante en un pavimento asfáltico, el FEE se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$\textbf{Factor EE}_x = \frac{\text{Nº de ejes de x peso (kN) que causan una determinada deformación de la subrasante}}{\text{Nº de ejes de 80 kN que causan una misma deformación de la subrasante}}$$

Como se puede apreciar, los procedimientos empírico-mecanicistas verifican deterioros específicos que se pueden presentar en el pavimento (agrietamiento por fatiga, deformación, ahuellamiento, agrietamiento térmico y de tipo longitudinal en pavimentos flexibles, y escalonamientos y agrietamientos, en el caso de los pavimentos rígidos). Estos deterioros se modelan a través de ecuaciones calibradas, que requieren, dentro de sus parámetros constitutivos, del número de ejes que pasan durante el período de vida útil del pavimento. Estos modelos forman parte de un análisis de daño de tipo incremental a lo largo del período de diseño del pavimento, los cuales requieren cuantificar el número de ejes circulantes (por rango de pesos por eje, tipo de vehículo, tipo de eje e intervalo temporal).

De este modo, la estimación del daño por medio de Ejes Equivalentes queda obsoleta en los nuevos métodos, dando paso a la aplicación de los llamados “espectros normalizados de carga por eje”.

Reforzando la idea anteriormente expuesta, es necesario señalar que la cuantificación del daño expresado en Ejes Equivalentes es inapropiada para evaluar o diseñar pavimentos en función de deterioros específicos, a través de la aplicación de modelos de desempeño del pavimento. A pesar de que los Ejes Equivalentes se han aplicado en las distintas ediciones de la guía AASHTO, las metodologías empírico-mecanicistas basadas en procedimientos sustentados en modelos de fatiga y funciones de transferencia, requieren datos asociados al número de pasadas de ejes y a la clasificación de vehículos. De esta forma, los datos que en la actualidad se miden en las calles pueden ser directamente utilizados, y no es necesario transformarlos en un parámetro que dependa del deterioro, del tipo de pavimento y de su espesor.

En síntesis, de acuerdo con el enfoque presentado tradicionalmente por la guía AASHTO, el colapso del pavimento o sección de una vía guarda relación con un criterio de serviciabilidad última, mientras que con el enfoque empírico-mecanicista, este criterio guarda relación con uno o varios tipos de deterioro asociados a modelos teóricos calibrados en laboratorio y en terreno. Es por ello, que se necesita la contabilización total de la cantidad de ejes que pasan durante el período de vida útil del pavimento, en vez de contabilizar un parámetro que evalúe un deterioro global en base a una evaluación funcional subjetiva del terreno.

El espectro normalizado de cargas por eje se determina a partir de datos de pesaje en movimiento. Por lo tanto, el nivel de datos de entrada depende de la fuente utilizada para ello (sitio específico, regional o nacional). Para el procedimiento de diseño propuesto en la guía AASHTO, denominado MEPDG (Guía Empírico Mecanicista para el Diseño de Pavimentos), los espectros se normalizan de acuerdo a una base anual, debido a que los miembros del comité elaborador de esta nueva guía han concluido que no existen diferencias significativas de año a año y de mes a mes, en los datos de pesaje en movimiento obtenidos del Programa de Desempeños de Pavimentos a Largo Plazo (LTPP) de los Estados Unidos.

13.3 DATOS DE ENTRADA GENERALES DE TRÁNSITO

La mayor parte de los datos de entrada que se encuentran bajo esta categoría, definen la configuración de cargas en los ejes y los detalles relacionados con las cargas utilizadas para calcular las respuestas en el pavimento, a excepción del número de ejes por camión y la distancia entre ejes.

13.3.1 UBICACIÓN MEDIA DE LA RUEDA

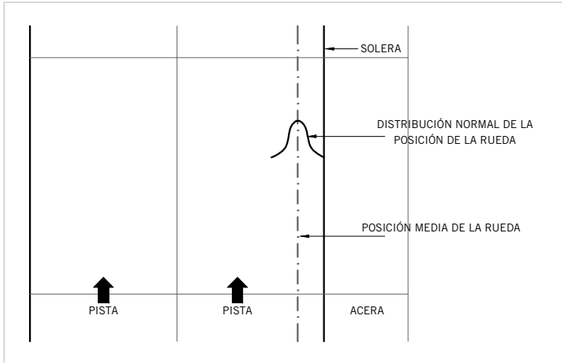
Es la distancia medida entre el borde exterior de la rueda hasta la línea demarcatoria del pavimento (frontera pista de circulación-solera).

13.3.2 DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL DESPLAZAMIENTO LATERAL DEL TRÁNSITO

Este parámetro se utiliza para determinar el número de aplicaciones de cargas por eje sobre un punto, a

fin de predecir el deterioro y el desempeño de un pavimento. De acuerdo al nivel de entrada de datos, este parámetro se puede determinar de la siguiente forma:

FIGURA 13.1
POSICIÓN DE LA RUEDA EN LA PISTA



13.3.3 ANCHO DE LA PISTA O CARRIL DE DISEÑO

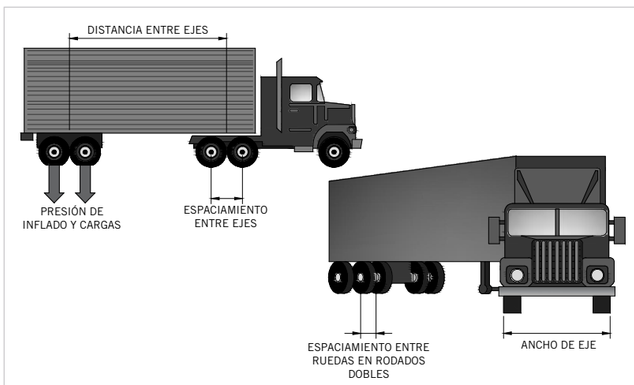
Este parámetro guarda relación con el ancho actual de la pista, definido como la distancia medida entre las líneas demarcatorias, para cada uno de los lados de la pista de diseño.

13.3.4 CONFIGURACIÓN DE EJES

Una serie de datos son necesarios para describir las configuraciones de cargas por eje y de rueda típica que se aplican en la vía, debido a que las respuestas calculadas en los pavimentos son generalmente sensibles, tanto a la ubicación de ambas ruedas como a la interacción entre varias ruedas en un eje dado. Esta información se puede obtener desde bancos de datos que posean los fabricantes de camiones o medidos directamente en el lugar.

En la Figura 13.2 se presentan gráficamente las definiciones que serán indicadas a continuación:

FIGURA 13.2
PRINCIPALES DIMENSIONES EN LOS CAMIONES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO



13.3.4.1 ANCHO PROMEDIO DEL EJE

Consiste en la distancia medida entre los dos bordes exteriores de un eje. Para camiones típicos, se puede asumir un valor de 2,6 metros.

13.3.4.2 ESPACIAMIENTO ENTRE RUEDAS EN RODADOS DOBLES

Se mide entre los centros de las ruedas componentes de la configuración doble. Un valor típico es de 30,5 cm.

13.3.4.3 ESPACIAMIENTO ENTRE EJES.

Es la distancia entre dos ejes consecutivos en un eje doble, triple o cuádruple. El valor promedio del espaciamiento entre ejes es de 1,31 metros para ejes dobles y de 1,25 metros para ejes triples y cuádruples.

En el caso del diseño de pavimentos rígidos por medio del método mecanicista, esta información es de mayor relevancia, ya que la distancia en la ubicación de los ejes en camiones pesados, permite verificar que no ocurra la ubicación crítica de los ejes en la losa y definir la separación de las juntas de construcción a la distancia apropiada para mejorar el desempeño del pavimento.

13.3.4.4 NÚMERO DE EJES POR CAMIÓN

Este parámetro indica el número promedio de ejes existentes en cada camión, por tipo de vehículo pesado y por tipo de eje (simple, doble, triple o cuádruple).

13.3.4.5 DISTANCIA ENTRE EJES

Se necesita una serie de datos para determinar los parámetros asociados a la distancia entre ejes, a fin de calcular las respuestas en el pavimento. Esta información puede ser obtenida directamente de bancos de datos de los fabricantes de camiones o a través de mediciones efectuadas directamente en terreno.

13.3.4.6 DIMENSIONES DEL NEUMÁTICO Y PRESIONES DE INFLADO

Estos parámetros son datos de entrada en los programas de diseño mecanicista.

13.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS VEHÍCULOS

13.4.1 DIMENSIONES DE LOS VEHÍCULOS PESADOS

Las dimensiones que se citan a continuación corresponden a las establecidas en la legislación nacional vigente a la fecha de publicación de este documento, dispuestas en la resolución N°1 del 21.01.1995 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT).

13.4.1.1 ANCHO Y ALTO MÁXIMOS

- Ancho máximo exterior: 2,60 m (con o sin carga).
- Alto máximo sobre el nivel de suelo: 4,20 m (con o sin carga) y 4,30 m para camiones, remolques y semiremolques especiales para transporte de vehículos..

No obstante la altura máxima indicada, la luz libre o gálibo vertical mínimo que se considera para el diseño de estructuras es de 4,50 m.

13.4.1.2 LONGITUDES MÁXIMAS

Las longitudes máximas de los vehículos pesados y de los elementos remolcables que los componen, son:

a. Bus: 13,20 m

b. Bus articulado: 18,00 m.

c. Camión 11,00 m.

d. Semirremolque, exceptuado el semirremolque especial para el transporte de automóviles: 14,40 m

e. Remolque: 11,00 m.

f. Tracto-camión con semirremolque: 18,60 m.

g. Tracto-camión con semirremolque para el caso que se transporten exclusivamente vehículos: 22,40 m.

h. Camión con remolque o cualquier otra combinación: 20,50 m.

i. Tracto-camión con semirremolque especial para el transporte de automóviles: 22,40 m.

j. Camión con remolque especial para el transporte de automóviles: 22,40 m.

TABLA 13.1
PESOS MÁXIMOS PERMITIDOS DE VEHÍCULOS

TIPO DE EJE	TIPO DE RODADO	[t]	TOLERANCIA [t]
Simple	Simple	7	0,35
Simple	Doble	11	0,60
Doble	Simple	14	0,70
Doble	Uno doble + uno simple	16	0,75
Doble	Doble	18	0,90
Triple	Simple	19	0,95
Triple	Dos doble + uno simple	23	1,10
Triple	Doble	25	1,20

13.4.2 PESOS MÁXIMOS

13.4.2.1 PESOS MÁXIMOS POR EJE

Los pesos máximos de los vehículos pesados y sus tolerancias se presentan en la Tabla 13.1 a continuación:

- Eje doble es un conjunto de dos ejes, cuya distancia entre centros de ruedas es superior a 1,2 metros e inferior a 2,4 metros.
- Eje triple es un conjunto de tres ejes, cuya distancia entre centros de ruedas extremas es superior a 2,4 metros e inferior a 3,6 metros.
- Rodado simple es aquel que consta de dos ruedas por eje.
- Rodado doble es aquel que consta de cuatro ruedas por eje.

No obstante el límite señalado para cada conjunto de ejes, cualquiera subcombinación de ejes del conjunto, respeta los límites máximos asignados a ella en forma individual.

13.4.2.2 PESO BRUTO TOTAL

El Peso Bruto Total queda limitado a los siguientes valores, según el tipo de vehículo:

a. Camión semirremolque
Los pesos brutos de camiones con semirremolque se indican en la Tabla 13.2.

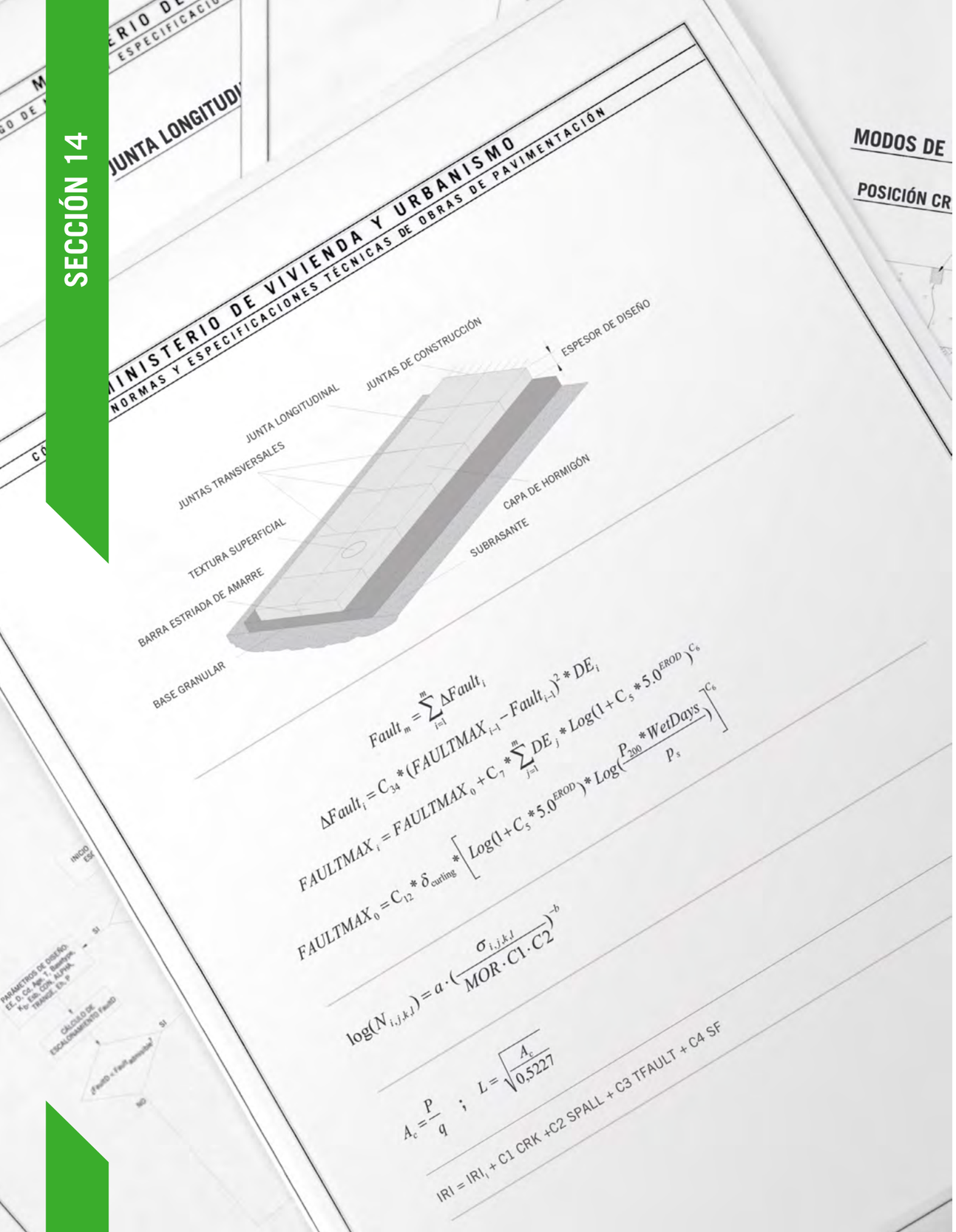
TABLA 13.2
PESO BRUTO TOTAL

CONFIGURACIÓN	Peso bruto total del conjunto [t]
- Eje posterior Simple o Doble:	
• Distancia entre Ruedas Extremas [m]	
L < 13	39
13 < L < 15	42
L > 15	45
- Eje posterior Triple Independiente de L	45

b. Camión más remolque
Uno o más remolques, cualquiera sea la distancia entre ejes extremos, posee un Peso Bruto Total del Conjunto de 45 t.

SECCIÓN 14

DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN



SECCIÓN 14

DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

ART. 14.1 INTRODUCCIÓN

Los pavimentos de hormigón, también denominados como pavimentos rígidos, consisten en losas de hormigón (simple o armadas), apoyadas sobre una base granular y que sirven como superficie de rodado para la circulación vehicular.

Debido a que la rigidez del hormigón es mayor a la de la base granular de apoyo, la capacidad para resistir las cargas generadas por el tránsito vehicular depende, principalmente, de las características de la losa.

Las losas tienen un gran efecto repartidor de cargas, las cuales provienen de su peso propio y de las cargas de tránsito, por lo que la presión de contacto entre la losa y la base es solo una pequeña fracción de la carga superficial, efecto que se denomina usualmente como "acción de viga" de los pavimentos rígidos y que le permiten no exigir tanta capacidad a la base de apoyo, en comparación con otros tipos de pavimentos.

Una vez en servicio, las losas del pavimento quedan sometidas a diferenciales térmicos entre su cara superior e inferior; cuando la cara superior se encuentra más fría que la cara inferior, normalmente en la madrugada, las aristas de la losa se levantan; por el contrario, cuando la cara superior se encuentra a una temperatura superior que la cara inferior, se levanta el centro de la losa. A este fenómeno de levantamiento de algunas zonas de la losa, producto de los diferenciales térmicos señalados, se le denomina "alabeo de losas". Este efecto tiene como consecuencia, una disminución de la superficie de contacto entre la losa y su base de apoyo.

El peso de la zona levantada producto del alabeo le induce tensiones permanentes de tracción en la cara superior al hormigón, las que aumentan significativamente al ser cargada por el tránsito. El control de este estado de tensiones dentro de valores aceptables, constituye el principal criterio que busca verificar el diseño del pavimento de hormigón.

El hormigón experimenta disminución de volumen hasta meses después de terminado en obra, normalmente se inducen en él, planos de debilitamiento vertical, que en definitiva producen secciones más débiles que terminan interrumpiendo la continuidad del hormigón. A estas discontinuidades se les denomina "juntas".

El diseño estructural de un pavimento de hormigón está condicionado por una serie de factores que determinan su buen desempeño durante su vida útil; dentro de ellos se encuentran los siguientes:

- Tránsito solicitante, expresado en Ejes Equivalentes (EE)
- Longitud y ancho de las losas
- Diseño y tipo de juntas (forma y espaciamiento)
- Características climáticas y de drenaje
- Módulo de reacción de la subrasante K
- Propiedades del hormigón expresadas en términos de su resistencia a flexotracción, módulo elástico y coeficiente de Poisson
- Tipo de confinamiento
- Expectativas de construcción y conservación

Para realizar el diseño de un pavimento de hormigón, se pueden utilizar métodos de diseño mecanicista puro o métodos empírico-mecanicistas, los que permiten calcular el espesor requerido de las losas para cumplir con las expectativas de servicio del pavimento.

Los métodos mecanicistas permiten conocer la magnitud de las tensiones generadas en distintos puntos de las losas para distintas combinaciones de carga originadas por el tránsito, efectos del alabeo y otras que sea pertinente considerar. Estas cargas solicitantes deben ser inferiores a la resistencia del hormigón.

Los métodos empírico-mecanicistas adicionan verificaciones de falla por fatiga del hormigón ante la acción de cargas repetidas; normalmente las ecuaciones que dan respuesta al efecto de la fatiga del hormigón de losas de pavimento, resultan de la calibración de modelos empíricos.

Por su parte, una de las metodologías empírico-mecanicistas más conocidas es la considerada en la Guía de Diseño AASHTO 98[i], que determina el espesor mediante ecuaciones determinadas de manera mecanicista, pero ajustadas y calibradas al comportamiento de tramos de prueba de pavimentos de ensayo y tramos en uso, cuya información existe en múltiples bases de datos con resultados obtenidos en varios países, lo que permite finalmente, establecer un espesor que cumpla criterios de resistencia y serviciabilidad durante la vida útil del proyecto.

Cualquiera sea el método de diseño, se considera que el deterioro del pavimento ocurre cuando las losas presentan agrietamiento, subdividiéndose en partes menores. A nivel de la evaluación del pavimento en su conjunto (todas las losas que lo componen), el deterioro de una losa no implica que el pavimento en su totalidad se encuentre inadecuado para su empleo; sin embargo, una vez que comienzan a replicarse los agrietamientos en otras losas, el tiempo que demora en producirse una falla generalizada y el colapso de la vía, sin existir medidas correctivas de por medio, podría llegar a ocurrir en un plazo muy reducido.

Otros criterios de comportamiento del pavimento buscan mantener un estado de servicio adecuado durante la vida útil de este, evaluando parámetros tales como los índices de serviciabilidad o IRI y el escalonamiento, los que se espera, se mantengan bajo un umbral máximo para el espesor adoptado del pavimento; por lo tanto, estos parámetros requieren una verificación en el proceso de diseño.

En esta sección se describen estos métodos y sus criterios, los que pueden ser utilizados para realizar diseños en proyectos de pavimentos rígidos.

Cabe hacer presente que estas metodologías permiten realizar un análisis de sensibilidad respecto del desempeño del pavimento; por ejemplo, se observa que para una misma vida útil expresada en términos de pasadas de ejes equivalentes, al disminuir la distancia entre juntas, las tensiones actuantes en las losas, producto de las cargas provocadas por el tránsito y otros factores, disminuyen, lo cual posibilitaría construir un pavimento de menor espesor; o bien, manteniendo el espesor de la losa, emplear un hormigón de menor resistencia.

Otro ejemplo sería aumentar la resistencia del hormigón empleado para la construcción del pavimento, lo cual también posibilitaría la disminución del espesor de las losas, debido a que el nivel de tensiones generadas por el tránsito, más los efectos del clima, no sufriría variaciones por el solo hecho de cambiar la resistencia del hormigón. Ambos ejemplos podrían combinarse para un análisis más profundo.

En cualquiera de los ejemplos, o en otros análisis de sensibilidad que pudieran realizarse, se deben tener presentes los posibles efectos que pudieran generase debido a los cambios en las variables de diseño. Por ejemplo, al disminuir la distancia entre juntas, y consecuentemente disminuir el espesor de las losas, se requerirían algunos ajustes en las características de la base estabilizada donde se apoya el pavimento, como por ejemplo la limitación del contenido de finos y/o el cambio en la práctica de generación de juntas, ya que debido a que se aumenta sustancialmente el número de estas, resulta conveniente realizar los cortes del pavimento con sierras de espesor no superior a 2 mm, para evitar el uso de sello de juntas, la adición de un geotextil entre esta última y la subrasante, además de la verificación de la resistencia al corte de las losas en las zonas de transferencia de carga de las juntas de construcción que se detallan en el artículo 14.2. de este código, conjuntamente con el análisis del efecto blow-up producido en las losas (alzado del pavimento producto de inestabilidad horizontal por compresión ante la dilatación del hormigón). En la sección 14.6.1. se incorporan algunos aspectos adicionales a tener presente en el diseño con esta opción de pavimentos.

Para el segundo ejemplo, es decir, pavimento construido con hormigón de resistencia mayor a la normal, es conveniente tener presente que el aumento de resistencia del hormigón normalmente se consigue mediante el incremento de la dosis de cemento, lo que generaría mayores retracciones en este, lo que en definitiva, podría traducirse en el agrietamiento de las losas.

i En los últimos años, AASHTO ha estado desarrollando la Guía de Diseño Empírico Mecanicista (MEPDG), la que es una amplia mejora a la actual metodología AASHTO en versión 1998.

ART. 14.2 TIPOS DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

Existen diversas formas de usar el hormigón como pavimentos, las cuales se pueden clasificar en:

a. Pavimentos de hormigón simple con juntas espaciadas:

a.1) Sin elementos de traspaso de carga.
a.2) Con elementos de traspaso de carga.

b. Pavimentos de hormigón con malla de refuerzo, elementos de traspaso de carga y juntas espaciadas.

c. Pavimentos de hormigón con juntas espaciadas a menor distancia de lo tradicional.

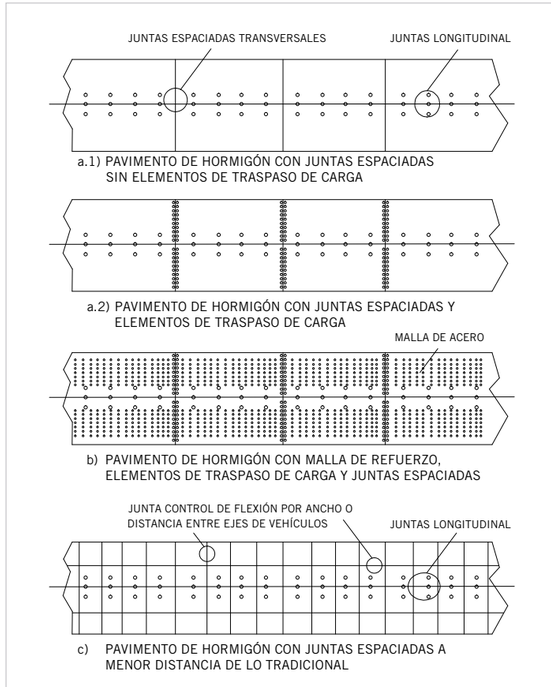
d. Pavimentos de hormigón armado en una o dos direcciones.

e. Pavimentos de hormigón armado postensado.

Sin embargo, los pavimentos de hormigón de uso común en Chile y, especialmente, en proyectos urbanos, corresponden al tipo pavimento de hormigón con juntas espaciadas, sin elementos de traspaso de carga. Por esta razón, será el pavimento rígido el que será descrito en extenso en las siguientes partes de esta sección.

A continuación, en la Figura 14.1 se presentan gráficamente los diferentes tipos de pavimentos de hormigón con juntas espaciadas que se utilizan en proyectos urbanos.

FIGURA 14.1
TIPOS DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN



ART. 14.3 ANTECEDENTES PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

Para realizar el diseño de un pavimento rígido, se debe contar con conocimiento de los métodos disponibles y del comportamiento del hormigón, de manera de poder manejar información mínima confiable, que permita realizar la mejor aproximación de variables de entrada que lleven a un diseño de calidad que asegure la vida útil del pavimento.

En este artículo se indican los parámetros que se deben considerar para la realización del diseño de un pavimento de hormigón.

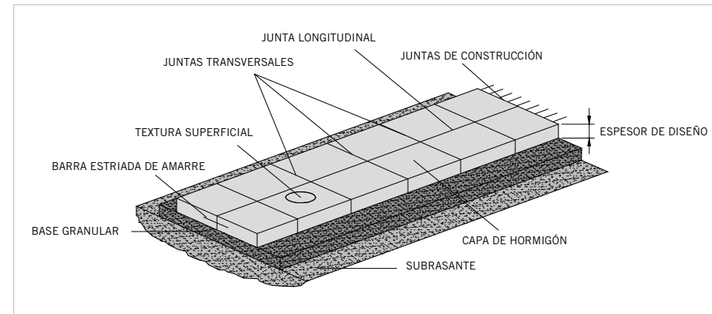
14.3.1 ESPACIAMIENTO Y TIPO DE JUNTAS

El diseño de las juntas, que deben realizarse en el hormigón, forma parte integrante del sistema estructural de los pavimentos de hormigón, ya que sus características (espaciamiento, tipo, dimensiones, barras, sellos, etc.) son un factor importante a considerar en relación con las tensiones de la losa y la durabilidad del pavimento y, por lo tanto, condicionan importantemente su diseño y comportamiento en servicio. Se distinguen los siguientes tipos de juntas:

- Juntas transversales
- Juntas longitudinales
- Juntas transversales de construcción

En la Figura 14.2 se presentan los elementos principales que componen un pavimento de hormigón, de manera de identificar en ella las juntas y barras, las que serán descritas en los acápites siguientes.

FIGURA 14.2
ELEMENTOS PRINCIPALES DE UN PAVIMENTO DE HORMIGÓN (ADAPTADO DE ACPA PAVEMENT CONSTRUCTION)



14.3.1.1 JUNTAS TRANSVERSALES

De contracción

Las juntas transversales de contracción tienen como función básica principal controlar el agrietamiento, producto de la retracción del hormigón que se genera en su proceso de endurecimiento y, además, controlar el efecto del alabeo de las losas en el sentido longitudinal, el que depende de la distancia entre juntas.

Cuando una losa se contrae uniformemente por una disminución de su temperatura media o de su contenido de humedad, aparecen, debido al roce que se genera con la base, tensiones de tracción en la losa, las que podrían reducirse a límites admisibles de operación si las juntas se emplazaran a distancias apropiadas. Cabe destacar que mientras menor sea el espaciamiento de juntas, menor será el efecto de la retracción del hormigón sobre la losa y el alabeo, y por lo tanto, las tensiones de tracción generadas pueden ser controladas con un menor espesor de losa.

Al realizar un corte en la capa de hormigón, de manera de materializar la junta, el hormigón genera una grieta controlada bajo la profundidad de dicho corte, lo que produce una discontinuidad en la capa de hormigón. Debido a que el pavimento requiere continuidad para hacer frente al paso de los vehículos, es que esta discontinuidad puede ser revertida mediante la adición de elementos de traspaso de carga (pasadores), generando así lo que se denomina “transferencia de carga”, evitando que queden bordes libres, que pudieran deteriorar el pavimento.

Sin embargo, en los pavimentos de hormigón con juntas espaciadas sin elementos de traspaso de carga, este efecto es absorbido solamente por la grieta, por lo que el control de la abertura de las juntas es muy importante. En el caso de que no exista este efecto de transferencia de carga o, de existir, sea insuficiente para transferir las cargas de tránsito de una losa a otra, el pavimento debe contar con elementos de traspaso de carga, como en el caso de las juntas transversales de construcción, pasando a ser pavimentos con Juntas Espaciadas con Elementos de Traspaso de Carga.

En general, el distanciamiento recomendado para estas juntas de contracción, sin barras de traspaso de cargas, es de 3,5 a 4 m, que corresponde al ancho de la calzada, con el fin de formar losas cuadradas de mejor y más uniforme comportamiento frente al alabeo.

En el caso de las juntas con sello, se deberá considerar en su utilización las deformaciones del hormigón del pavimento por temperatura, por lo que se recomienda que el sello quede por lo menos 4 mm bajo la superficie de rodado, de manera de evitar que su rebase de dicha altura, por deformaciones de las losas, deteriore el sello por el paso de los vehículos. Un corte esquemático de las juntas con sello se presenta en la Figura 14.3, y en la Tabla 14.1 se dan recomendaciones de especificación para la abertura de juntas y su sello.

FIGURA 14.3
JUNTAS TRANSVERSALES DE CONTRACCIÓN CON SELLO

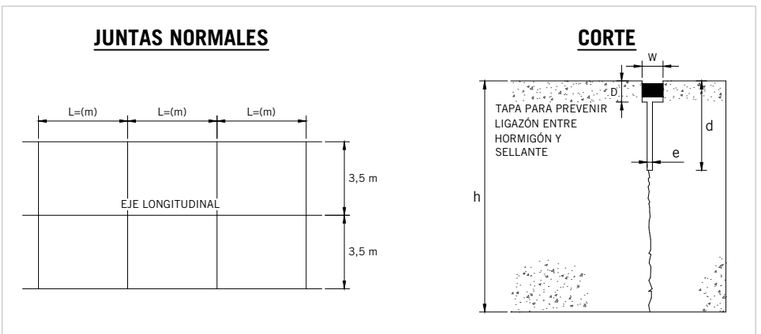


TABLA 14.1
DIMENSIONES DE JUNTA TRANSVERSAL DE CONTRACCIÓN CON SELLO

ESPESOR PAV. H (CM)	15 - 16	17 - 18	19 - 20	21 - 22	23 - 24
Factor de forma W/D	0,8 a 1,1	0,8 a 1,1	0,8 a 1,1	0,8 a 1,1	0,8 a 1,1
Ancho superior W (cm)	0,9 a 1,1	0,9 a 1,1	0,9 a 1,1	0,9 a 1,1	0,9 a 1,1
Profund. sellado D (cm)	1,0 a 1,2	1,0 a 1,2	1,0 a 1,2	1,0 a 1,2	1,0 a 1,2
Profund. junta d (cm)	4 a 5	4,5 a 5,5	5 a 6	5,5 a 6,5	6,0 a 7,0
Abertura junta e (cm)	0,4 a 0,6	0,4 a 0,6	0,4 a 0,6	0,4 a 0,6	0,4 a 0,6

En el caso de considerar juntas de contracción a menor distancia de lo tradicional (3,5 a 4 m) y poder así disminuir el espesor de losa, estas se efectuarán entre 1,4 y 2,3 metros, siendo una dimensión normal recomendada de 1,75 m de largo, lo cual permite controlar el efecto de las tensiones por flexión.

El dimensionamiento de las losas debe ser tal que solo permita que exista un set de ruedas a la vez por losa. En zonas de tráfico bidireccional y de curvas, la distancia entre juntas quedará restringida hasta un máximo de 1,80 m. Para este tipo de configuración, las juntas se deben materializar mediante corte con disco de máximo 2,5 mm de espesor, lo que evitaría su posterior sello, según lo dispuesto en el capítulo 4.6.4.1. de este Código.

14.3.1.2 JUNTAS LONGITUDINALES

Las juntas longitudinales tienen como principal objetivo limitar el ancho de la franja hormigonada, de manera de evitar la formación de grietas en el sentido longitudinal.

Estas juntas se producen principalmente en la unión de dos calzadas de pavimento, las que pueden tener bombeo en direcciones distintas. Dicho bombeo es normalmente materializado mediante una pendiente en la subrasante y base granular para mantener el espesor del hormigón constante, por lo que las franjas de hormigonado son amarradas entre sí para evitar su separación, mediante la utilización de barras circulares de acero estriado, denominadas “barras de amarre”.

Cabe destacar que para el control de este efecto de separación, en los pavimentos urbanos colabora adicionalmente el confinamiento que producen los elementos de urbanización, tales como las soleras, zarpas y aceras, que restringen la eventual separación de las calzadas en la junta longitudinal.

En el caso que la pavimentación se realice en un ancho superior al de la pista de circulación vehicular, evitando la grieta longitudinal, dicha junta debe ser materializada mediante el aserrado longitudinal.

Los tipos de juntas longitudinales que se pueden especificar para un proyecto se describen a continuación:

Juntas longitudinales amarradas:
En este tipo de juntas, se realiza el hormigonado de tope de hormigón entre fajas de hormigonado de la calzada, generando una unión vertical en el hormigón y solo contando con la barra de amarre, en la sección media del espesor del pavimento. En caso de usar métodos de colocación del hormigón que consideren la construcción de fajas de pavimento de más de una calzada a la vez, se pueden introducir las barras en el hormigón fresco en su posición a mitad del espesor. Luego, realizar la terminación superficial y cortar el hormigón al ancho de la calzada cuando el hormigón ya se encuentre endurecido, de manera de generar la junta en dicha posición e inducir la separación del hormigón mediante la grieta que se forma en la junta. En la Figura 14.4 se presenta un corte esquemático de una junta longitudinal amarrada.

FIGURA 14.4
JUNTAS LONGITUDINALES AMARRADAS

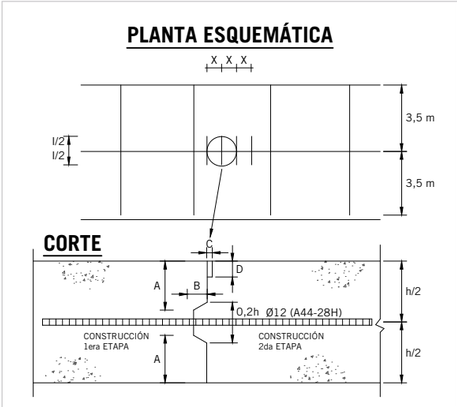
Juntas longitudinales articuladas con llave:
En este caso, las juntas son conformadas mediante la inclusión de un elemento de articulación, materializado como una llave en la sección media del espesor del pavimento a la cual se le colocan las barras de amarre, cuya forma y dimensiones se muestran en la Figura 14.5. En este caso, se debe disponer de la forma de la llave de la junta longitudinal en el molde para que sea materializada junto con el hormigonado.

En la Tabla 14.2 se presentan las dimensiones propuestas y su ubicación de los elementos que componen una junta longitudinal articulada con llave.

TABLA 14.2
DIMENSIONES JUNTA LONGITUDINAL

ESPESOR	DIMENSIONES (CM)					
PAV. H (CM)	A	B	C	D	I	X
15 a 20	6 - 8	2 - 3	0,5 - 1,0	2,0 - 3,0	63	120
20 a 24	8 -10	2 - 3	0,5 - 1,0	2,0 - 3,0	63	100
24 a 28	10 - 12	2 - 3	0,5 - 1,0	2,0 - 3,0	63	90

FIGURA 14.5
JUNTAS LONGITUDINALES ARTICULADAS CON LLAVE



En caso de considerar juntas longitudinales a menor distancia de lo tradicional (media calzada) con miras a disminuir el espesor de la losa, estas se deberán ejecutar a un medio del ancho de la pista, hasta un máximo de 2 metros. Además, en las juntas de construcción se deberán colocar barras de amarre cuya configuración deberá ser calculada específicamente para cada proyecto, ya que depende del número de pistas y del espesor de la losa. En términos generales, se recomienda considerar lo siguiente:

- Las barras de amarre deberán ser de acero grado A63-42H o A44-28H, estriadas, de 12 mm de diámetro y 65 cm de longitud.
- Deberán colocarse espaciadas cada 75 cm, en forma perpendicular al eje longitudinal de la calzada y en el centro del espesor de la losa.
- En caso de que el pavimento se construya en el ancho total (dos pistas), estas barras no se deben colocar.
- No se podrá colocar llaves de corte.

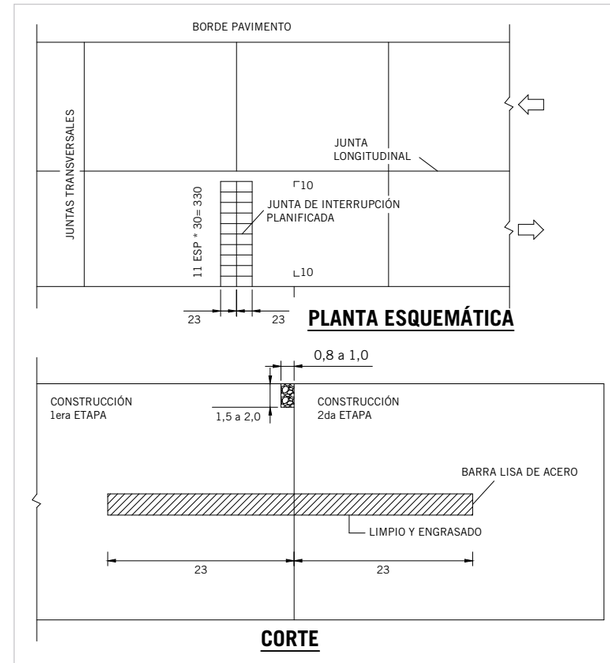
Para este tipo de configuración las juntas se deben materializar mediante corte con disco, de máximo 2 mm de espesor, lo que evitaría su posterior sello, según lo dispuesto en el capítulo 4.6.4.1. de este Código.

14.3.1.3 JUNTAS TRANSVERSALES DE CONSTRUCCIÓN

Cuando se ejecuta una interrupción planificada de la pavimentación en el sentido de avance longitudinal de la pavimentación, se produce una junta fría de hormigón denominada Junta Transversal de Construcción. Esta junta se hace normalmente en un lugar de coincidencia con una junta transversal y por simplicidad la terminación del hormigonado en esa junta es vertical.

Como no se puede crear una grieta para la transferencia de carga en esa junta, y al quedar la unión de hormigón antiguo y nuevo como una superficie lisa, en todo el espesor se colocan barras para reponer la capacidad de traspaso de carga en esa junta y poder absorber el efecto de la falta de transferencia de carga que deterioran las losas. La colocación de barras de traspaso de carga en juntas transversales de construcción se muestra esquemáticamente en la Figura 14.6.

FIGURA 14.6
JUNTAS TRANSVERSALES DE CONSTRUCCIÓN



La ubicación de estas juntas es normalmente definida en terreno, ya que su posición depende de las jornadas de avance, de los rendimientos de los equipos, de factores climáticos, entre otros, lo que lleva a que la posición de la junta de contracción se ubique aleatoriamente, sin que el diseño pueda definir con anterioridad su posición.

Para los efectos del diseño de juntas, estas deben ser simplemente tratadas como una junta de contracción, por lo que aplican para ellas los mismos requerimientos indicados en 14.3.4., en cuanto a cortes y sellos.

En caso de considerar juntas a menor distancia de lo tradicional y con esto poder disminuir el espesor de la losa, se deben tener en consideración los siguientes aspectos para las juntas transversales de construcción:

- Para pavimentos de más de 15 cm de espesor, las barras de traspaso de carga deberán ser de acero lisas, de 25 mm de diámetro y de 35 cm de longitud. Deberán ser colocadas cada 30 cm en la mitad del espesor de la losa y perfectamente alineadas en el sentido longitudinal del camino.
- Para pavimentos de menos de 15 cm de espesor, las barras de transferencia de carga deberán ser planas (barras en forma de diamante). También pueden utilizarse barras de amarre estriadas de 10 mm de diámetro, de 65 cm de longitud y colocadas a una separación 50 cm.

14.3.2 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN

Las propiedades del hormigón que son de interés para el análisis de diseño de los pavimentos de hormigón son la resistencia a la flexotracción y el módulo de elasticidad. Ambas propiedades condicionan, junto al espesor de la capa de hormigón, la capacidad resistente del pavimento para absorber las tensiones que se producen en las losas, debidas a las deformaciones del hormigón y de las cargas de tránsito.

Por este motivo, es importante considerar en el diseño valores cercanos de las propiedades del hormigón que se utilizará en el proyecto.

14.3.2.1 RESISTENCIA MEDIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN (FLEXOTRACCIÓN)

La resistencia media del hormigón a la tracción por flexión, también denominada como flexotracción, debe ser usada por el diseñador y especificada en estas condiciones para el proyecto de pavimentación. La definición de los hormigones y su designación en base a grados se encuentra indicada en la NCh 170, para resistencia del hormigón en base a resistencia a la compresión cilíndrica y resistencia a la tracción por flexión.

Para consideraciones de especificación del hormigón en obra, deberá indicar la fracción defectuosa considerada en el diseño, la que no deberá ser mayor a un 20% y deberá obtener el valor de la resistencia a la flexotracción especificada, de manera que el contratista pueda considerar dicho hormigón en la obra para la solicitud al proveedor de hormigones, o su preparación en obra, de ser el caso.

14.3.2.2 MÓDULO DE ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad del hormigón controla la forma de falla por rotura que tendrá la losa y su capacidad para deformarse por carga antes de generar una grieta.

Generalmente, para esta estimación se utilizan relaciones que se basan en la resistencia a la compresión del hormigón.

Como regla general se recomienda en hormigones de características normales usar el valor 29.000 MPa.

14.3.3 SUBRASANTE Y BASE

La subrasante y la base granular son los elementos de soporte de la estructura de losas de hormigón, por lo que es importante poder conocer y/o cuantificar adecuadamente la calidad disponible de los suelos y sus propiedades, para ser utilizadas como parámetros del diseño y ser consideradas en las especificaciones técnicas del proyecto.

Por tales motivos, para el diseño de la estructura del pavimento es necesario poder incluir valores de ensayos de determinación de sus propiedades, para el control de calidad y para la verificación de los aspectos de construcción especificados para el proyecto, de manera que se pueda cumplir con los requisitos definidos para las cargas y cumplimiento de vida útil del pavimento.

En caso de usar la opción de generar juntas a través de cortes con sierra de 2 mm de espesor sin el sello posterior y para disminuir la posibilidad de bombeo de finos, se recomienda que la base granular se limite a un 8% de finos bajo la malla ASTM #200. Además, se recomienda el uso de un geotextil no tejido, con gramaje mayor a 150 g/m^2, que actúa como elemento separador entre la base y la subrasante para evitar la contaminación de esta.

Para estos efectos, en la Sección 12 se presentan los diferentes ensayos que es posible aplicar a los suelos para subrasante y base y, por lo tanto, esta sección solo se referirá a ellos.

En este punto, se dan las indicaciones necesarias para el diseño y especificaciones de proyectos de pavimentos de hormigón.

14.3.3.1 SUBRASANTE

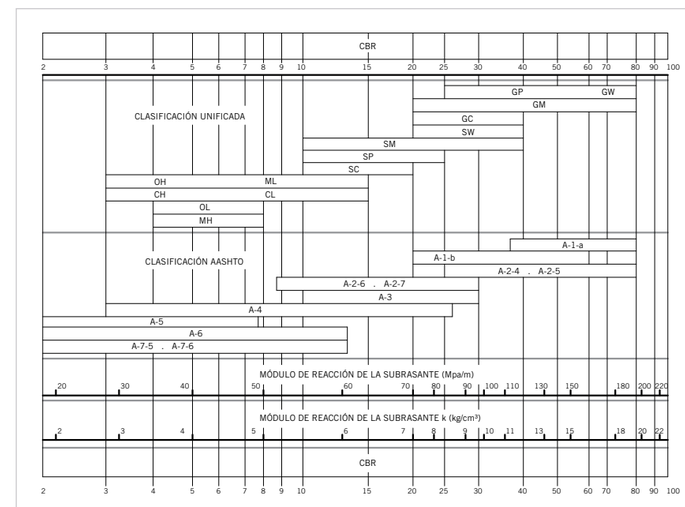
La subrasante es la primera capa de apoyo de la estructura del pavimento y generalmente se realiza preparándola con los suelos naturales existentes en la ubicación donde se emplazará el pavimento. En algunas ocasiones, debido a mala calidad del suelo natural disponible a nivel de subrasante se pueden especificar mejoramientos o reemplazos de materiales, según lo indicado en las secciones 2 y 12.

La calidad del suelo que conforma la subrasante es un factor de importancia relativamente baja en la definición de espesores de un pavimento de hormigón, pero tiene una gran importancia para evitar asentamientos locales, erosión, pérdida de soporte, punzonamiento, entre otros, por lo que debe ser bien especificada. Esta calidad usualmente se expresa respecto del módulo de reacción de la subrasante “k”.

Debido a que el ensayo (Norma AASHTO T222-78) para la determinación de este parámetro es lento y de un alto costo, lo que deriva en que normalmente no está disponible como un valor medido con pruebas de campo, habitualmente se estima el valor de “k” correlacionándolo con otro tipo de ensayos más simples y rápidos de ejecutar, tales como la clasificación de suelos, correlaciones según tipo de suelos o según el valor del CBR.

La relación más usada es la correspondencia entre el CBR del suelo y el valor de “k”, la que se presenta gráficamente en la Figura 14.7 y en la Lámina tipo Nº 14.1 del Apéndice III.

FIGURA 14.7
RELACIONES APROXIMADAS ENTRE SOPORTE DE SUELOS Y SU CLASIFICACIÓN



Sin embargo, cabe hacer notar que esta relación puede conducir a errores importantes en la determinación de “k”, particularmente en los suelos finos de bajo poder de soporte.

El ensayo CBR opera en la fase plástica del suelo, llegando a su rotura, en circunstancias que la medición del módulo “k” opera en su fase elástica. Por otra parte, aun cuando se ejecute el ensayo CBR sobre muestras de suelo relativamente inalteradas, no se detectan plenamente los efectos tixotrópicos propios de los suelos finos.

De forma alternativa, la determinación del valor de "k" se puede obtener de acuerdo con el tipo de suelo, según la siguiente Tabla 14.3.

TABLA 14.3
MÓDULO DE REACCIÓN K DE ACUERDO AL TIPO DE SUELO (AASHTO, 1998)

CLASIFICACIÓN AASHTO	CLASIFICACIÓN UNIFICADA (U.S.C.S.)	DENSIDAD SECA (Kg/m³)	CBR (%)	VALOR K (MPa/M)
Suelos Granulares				
A-1-a bien graduado	GW	2002.3 - 2242.5	60 - 80	81.3 - 121.9
A-1-a pobremente graduado	GP	1922.2 - 2082.3	35 - 60	81.3 - 108.4
A-1-b	SW	1761.9 - 2082.3	20 - 40	54.2 - 108.4
A-3	SP	1681.9 - 2082.3	15 - 25	40.7 - 81.3
Suelos A-2				
A-2-4	GM	2082.3 - 2322.6	40 -80	81.3 - 135.5
A-2-5				
A-2-4	SM	1922.2 - 2162.4	20 - 40	81.3 - 108.4
A-2-5				
A-2-6	GC	1922.2 - 2242.5	20 -40	54.2 - 121.9
A-2-7				
A-2-6	SC	1681.9 - 2082.3	10 - 20	40.7 - 94.9
A-2-7				
Suelos Finos				
A-4	ML, OL	1441.6 - 1681.9	4 - 8	6.8 - 44.7 *
		1601.8 - 2002.3	5 - 15	10.8 - 59.6 *
A-5	MH	1281.4 - 1601.8	4 - 8	6.8 -51.5*
A-6	CL	1601.8 - 2002.3	5 - 15	6.8 - 69.1*
A-7-5	CL, OL	1441.6 - 2002.3	4 - 15	6.8 - 58.3 *
A-7-6	CH, OH	1281.4 - 1761.9	3-5	10.8 - 59.6*

*El valor k de los suelos es altamente dependiente del grado de su saturación

Correlaciones para suelos finos
Como se ilustra en la tabla anterior, la capacidad de soporte de los suelos finos está muy influenciada por el grado de saturación (S_r) en que se encuentran. Se sugiere la siguiente expresión para la determinación del S_r :

$$S_r = \frac{w\,(\%)}{\dfrac{\gamma_w}{\gamma_d} - \dfrac{1}{G}}$$

Donde:

γ_w: Densidad del agua $\gamma_w = 1000\left[{}^{kg}\!/_{m^3}\right]$

w: Contenido de humedad [%].

G: Peso unitario seco o densidad seca $G = {}^{\gamma_s}\!/_{\gamma_w}$

γ_d: peso específico del suelo [kg/m³].

Utilizando la relación anterior, la AASHTO ha determinado una función lineal que relaciona el valor de "k" (MPa/m) con S_r:

$$k\,[{}^{MPa}\!/_{m}] = A \cdot S_r + B$$

Donde A y B toman los valores de la Tabla 14.4, según la Clasificación del Suelo, con los cuales será posible determinar el valor de k que corresponda en cada caso.

TABLA 14.4
VALORES DE A Y B PARA SUELOS FINOS (AASHTO, 1998)

CLASIFICACIÓN SUELO	A	B
A-4	-0,44	55,73
A-5	-0,59	70,07
A-6 (Para Sr < 80 %)	-1,11	116
A-6 (Para Sr ≥ 80 %)	$K = 1{,}76 \cdot 10^{8} \cdot S_r^{-3{,}578}$	
A-7-5	-0,77	86,14
A-7-6	-0,56	76,56

Nota: Para clasificar el tipo de suelo, ver Tabla 14.3.

Debe tenerse en consideración que la relación presentada para obtener el Módulo de Reacción de la Subrasante, fue desarrollada para humedades iguales y superiores al 50%, por lo que extrapolaciones para grados de humedad inferiores pueden conducir a errores. Además, para los suelos tipo A-6, la función lineal es válida solo hasta un 85% de humedad, dado que a mayor grado de saturación, el valor de "k" disminuye menos que la función lineal.

Por otra parte, es posible realizar un estudio de los suelos disponibles por medio de ensayos de impacto, tal como el deflectómetro de impacto (Falling Weight Deflectometer, FWD), que permite caracterizar la capacidad de soporte del suelo. Este ensayo se describe en la Sección 12.

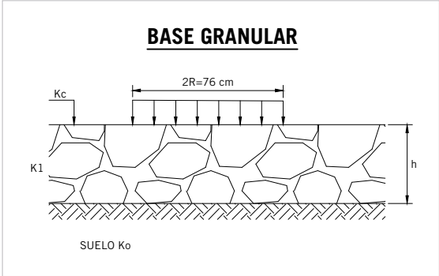
14.3.3.2 BASE GRANULAR

La presencia de una base de calidad superior a la subrasante, sobre la cual se construirá el pavimento, permite aumentar el módulo K a utilizar de diseño, mediante el criterio denominado "Módulo de Reacción Combinado, Kc", que se obtiene a partir del módulo de la subrasante K_0 y del módulo de la base, K_1.

Se sugiere al diseño basar las estimaciones en espesores constantes para la base granular, de 15 cm, que es el valor ampliamente aceptado como el mínimo útil para una serie de condiciones de suelos de subrasante de apoyo. Con este valor y considerando acciones de reemplazo, mejoramiento o estabilización de los suelos naturales, estimar el valor de coeficiente de reacción combinado, que cumpla los criterios mínimos que se requiere para el diseño.

En la Figura 14.8 y en la Tabla 14.5 se indican los criterios de modificación para una base granular y en el ábaco contenido en la Figura 14.9 se da la solución gráfica a la fórmula propuesta, para la determinación de Kc de una manera más simple.

FIGURA 14.8
AUMENTO DE K DEBIDO A LA PRESENCIA DE UNA BASE GRANULAR



Los valores de K_1 que se determinan con ecuaciones de relación con el CBR son los siguientes:

TABLA 14.5
VALORES DE K1

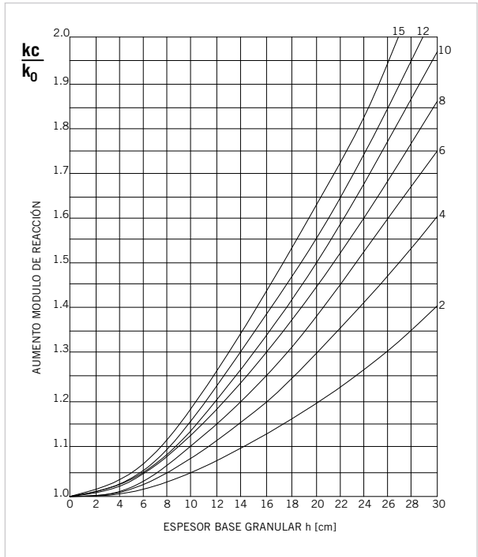
K1	CBR1 (APROX) %
10	35
15	60
20	80

El módulo de reacción combinado se calcula con la siguiente expresión:

$$K_c = K_0 \cdot \left[1 + \left(\frac{h}{38} \right)^2 \cdot \left(\frac{K_1}{K_0} \right)^{2/3} \right]^{1/2}$$

Donde:
K_1: Módulo de reacción de la base [MPa/m]
K_c: Módulo de reacción combinado [MPa/m]
K_0: Módulo efectivo de reacción de la subrasante [MPa/m]
h : Espesor de la base [cm]

FIGURA 14.9
AUMENTO DEL MÓDULO DE REACCIÓN DEL SUELO DE SOPORTE CON UNA BASE GRANULAR



Por otra parte, la Guía AASHTO 1998 considera 3 pasos para su determinación:

A. Seleccionar el valor “k” adecuado para cada estación:

Para determinar este valor puede recurrirse a tres métodos:

1. **Correlaciones:** Hay diversos estudios que permiten correlacionar el valor de “k” con la clasificación del suelo, nivel de humedad, densidad, Razón de Soporte de California (CBR) o Cono Dinámico de Penetración (DCP). Para ver los rangos recomendados para el valor “k”, para distintos tipos de suelos y CBR, ver Tabla 14.3.
2. **Deflexiones y Retroanálisis:** Estos métodos son adecuados para la determinación de “k” en el diseño de recapados, reconstrucciones o diseños de pavimentos en suelos similares a los de estudio.
3. **Plato de Carga:** El valor “k” se puede determinar mediante dos tipos de pruebas: con cargas estáticas repetitivas (AASHTO T221, ASTM D1195) o con cargas estáticas no repetitivas (AASHTO T222, ASTM D1196). Estos ensayos tienen una variedad de propósitos y por lo mismo, no proporcionan directamente el valor necesario para el diseño de pavimentos rígidos.

B. Determinar el valor k “efectivo”, ajustado estacionalmente.

El k “efectivo” ajustado estacionalmente, corresponde a un valor “medio” que pondera los k estacionales, en función del daño por fatiga permitido por cada uno de estos. Este proceso consta de siete pasos:

1. Seleccionar valores tentativos para realizar el diseño: espesor de la losa, resistencia a la flexotracción del hormigón, módulo elástico de la base, coeficiente de fricción de la base, espesor de la base, diferencial de temperatura, espaciamiento de las juntas transversales y serviciabilidad inicial y final.

2. Seleccionar k para cada estación.
3. Para cada estación calcular EE (repeticiones admisibles de ejes de 80 kN).
4. Calcular el daño relativo para cada estación como el inverso de EE.
5. Calcular el daño total anual, como el promedio de los daños relativos de cada estación.
6. Determinar EE correspondiente al daño total anual.
7. Con el modelo AASHTO 1998, buscar un valor de k que permita obtener el valor EE asociado al daño total anual determinado en el paso anterior. Este es el K efectivo, ajustado estacionalmente.

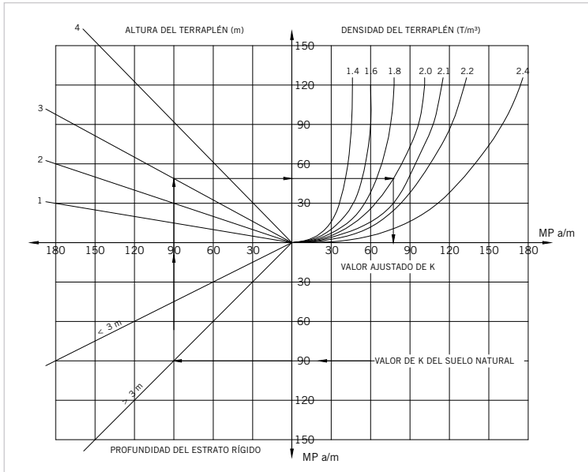
C. Ajustar el valor de k "efectivo" debido a la existencia de capas rígidas, rellenos o terraplenes.

El valor de k se corrige cuando se presentan una o ambas de las siguientes situaciones:

- Presencia de un estrato rígido bajo la subrasante hasta la profundidad de 3 m. Como estrato rígido puede considerarse roca o suelo firmemente cementado.
- Relleno o Terraplén construido sobre el suelo natural.
- Esta corrección no se aplica para el caso de un estrato rígido, si el valor de k ha sido obtenido con ensayos no destructivos (deflexión y retrocálculo) o con plato de carga en terreno, debido a que estas pruebas ya consideran esta situación.

Para realizar el ajuste se emplea el ábaco dado por la Figura 14.10.

FIGURA 14.10
AJUSTE DE K DEBIDO A PRESENCIA DE TERRAPLÉN Y/O ESTRATO RÍGIDO



14.3.3.3 CLIMA Y PLUVIOMETRÍA

Las condiciones ambientales tienen un significativo efecto en el comportamiento de los pavimentos rígidos. La interacción de las condiciones climáticas con los materiales del pavimento y su forma de carga es algo compleja y, por lo tanto, para el diseño se debería contar con información confiable de las variables de clima día-noche, estacionales, y de la pluviometría del lugar.

La combinación de factores de precipitación, temperatura, ciclos de hielo y deshielo, profundidad de la napa freática, temperatura de la subrasante y contenido de humedad, en conjunto, afecta directamente la capacidad de soporte de carga de la estructura del pavimento y, finalmente, del comportamiento que tendrá en servicio.

Para cada método de diseño se indicarán las maneras de considerar estos parámetros.

ART. 14.4 METODOLOGÍA DE DISEÑO MECANICISTA PARA PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

14.4.1 INTRODUCCIÓN

El diseño mecanicista para pavimentos de hormigón, consiste en modelar losas de hormigón con ciertas características dimensionales y parámetros de resistencia y comportamiento, e inducirle cargas teóricas en zonas críticas para verificar las tensiones que se producen y poder estimar un espesor de diseño que sea capaz de soportar las cargas máximas a la rotura, según la resistencia del material. Con estas condiciones de carga y suponiendo cargas repetitivas, se verifica la falla por fatiga ocasionada por cargas provenientes del tránsito.

Con el fin de conseguir un diseño adecuado, de acuerdo a las solicitaciones a las que se encontrará sometido el pavimento en su vida de servicio, se evalúan los esfuerzos y deformaciones en las losas de los pavimentos de hormigón. Esto es posible hoy en día con la ayuda de los programas computacionales de elementos finitos, que permiten extender las ecuaciones de Westergaard, ubicando las cargas en cualquier punto de la losa. Para tal efecto, se puede considerar el uso de programas de elementos finitos tales como Everfe, Illislab, Islab, entre otros.

A continuación, se entregan criterios generales para el diseño de pavimentos de hormigón por métodos mecanicistas y se entregan recomendaciones para considerar parámetros de análisis generales, de manera de entender los conceptos asociados, pero teniendo en consideración que un análisis simplificado de este método no es sencillo y que se debe contar con herramientas de análisis apropiadas para el manejo de esta información. Se podrá establecer un análisis de diseño mecanicista distinto, para lo cual se deberán verificar y validar los supuestos de diseño y los resultados, para que pueda ser aceptado.

14.4.2. ANTECEDENTES

Para efectos del análisis de las cargas de trabajo del pavimento, los esfuerzos presentes en una losa de hormigón durante su vida de servicio dependen de factores tales como: tamaño de losas (espesor, largo y ancho), tipo de carga (rodados simples, dobles o triples), ubicación de las cargas en la losa respecto del borde, tipo y capacidad de soporte del suelo de subrasante, clima, propiedades mecánicas del hormigón, temperatura ambiente predominante, entre otros, los cuales varían durante la vida del pavimento. Es importante mencionar que el cálculo de los esfuerzos de diseño se debe realizar para el mayor número de combinaciones posibles de condiciones, esto con el fin de que el diseño sea realizado para la condición más crítica durante la vida útil del pavimento.

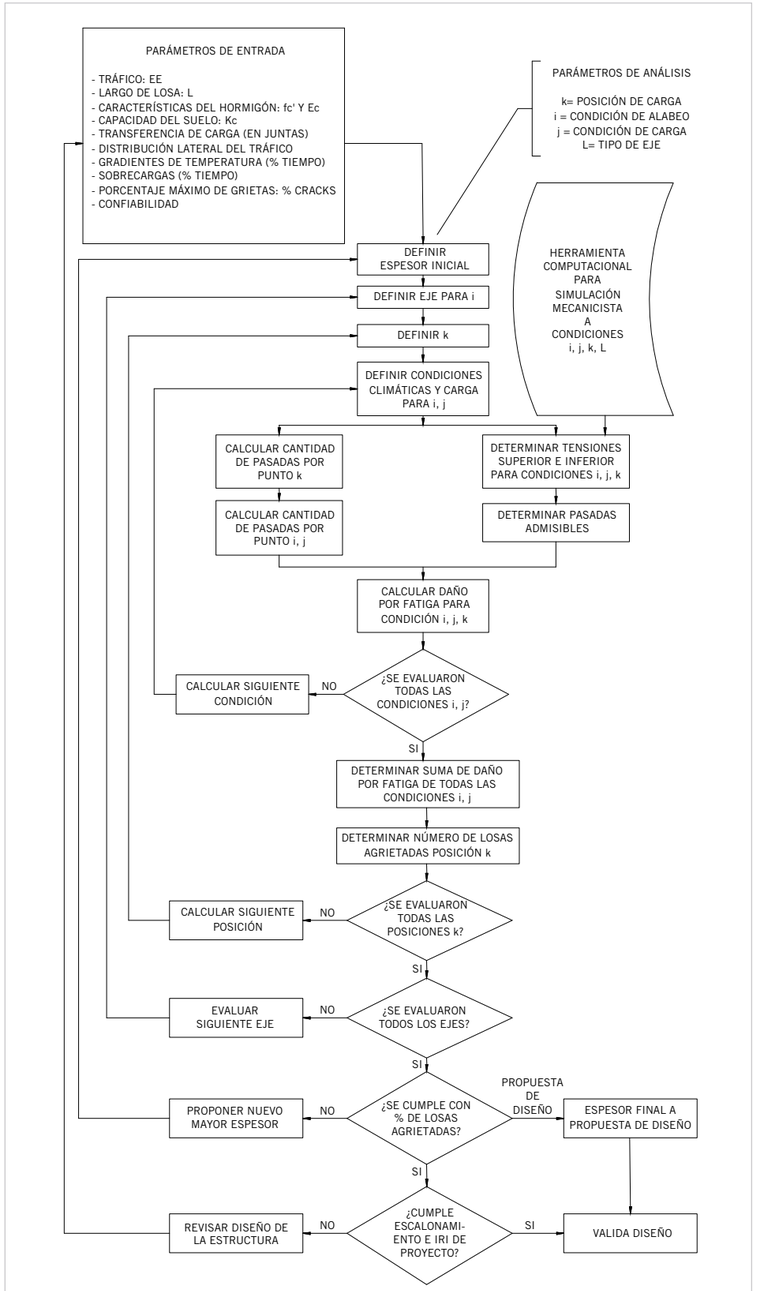
La condición de alabeo de la losa genera que los esfuerzos producidos en ella debido a las cargas de tránsito sean más críticos, ya que dicha condición deja sin apoyo los bordes de losa. Lo anterior se explica en virtud de que estas cargas al ser simétricas (ejes de los vehículos) la someten a efectos de flexión.

Dichas cargas generan un gradiente de tensiones a través del espesor de la losa, que puede llegar a causar tracciones críticas en algunos puntos, dependiendo del tipo de carga. Considerando que el hormigón es mucho más resistente ante esfuerzos de compresión que de tracción, son las tensiones de tracción sobre la losa las que controlan el diseño.

14.4.3 METODOLOGÍA DE DISEÑO

A continuación, en la Figura 14.11 se describe una propuesta de metodología de diseño que se aplica para poder determinar espesores de capas de hormigón, con criterios mecanicistas.

FIGURA 14.11
METODOLOGÍA DE DISEÑO MECANICISTA



14.4.4 MODOS DE FALLA

Se debe evaluar el mecanismo de falla y las condiciones más desfavorables para una propuesta de pavimento.

Para este análisis general se propone la revisión de cuatro posiciones de carga, que son las de principal interés para el análisis y diseño de los pavimentos de hormigón y en las cuales se generan las tensiones que pueden producir las fallas principales. Dichas posiciones son:

a. Carga en la mitad del borde longitudinal de la losa

b. Carga en los extremos de la losa que produce flexión en la fibra superior de la losa

c. Carga en la esquina (en las cercanías de la junta transversal de la losa)

d. Carga en la junta longitudinal de la losa

En el caso de la metodología general analizada, las Figuras desde la 14.12 hasta la 14.15 presentan gráficamente las posiciones de cargas más críticas que deben ser consideradas en el análisis del comportamiento de las losas de hormigón.

FIGURA 14.12
POSICIÓN CRÍTICA DE APOYO DE CARGAS SIMÉTRICAS QUE GENERAN MAYOR TENSIÓN EN ZONA INFERIOR DE LA LOSA, EN SENTIDO TRANSVERSAL

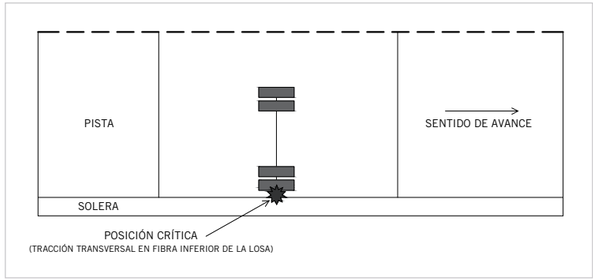


FIGURA 14.13
POSICIÓN CRÍTICA DE APOYO DE CARGAS SIMÉTRICAS QUE GENERAN MAYOR TENSIÓN EN ZONA SUPERIOR DE LA LOSA, EN SENTIDO TRANSVERSAL

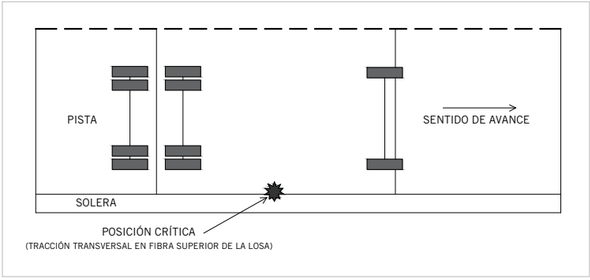


FIGURA 14.14
POSICIÓN CRÍTICA DE APOYO DE CARGAS SIMÉTRICAS QUE GENERAN MAYOR TENSIÓN, EN FIBRA SUPERIOR DE LA ESQUINA DE LA LOSA

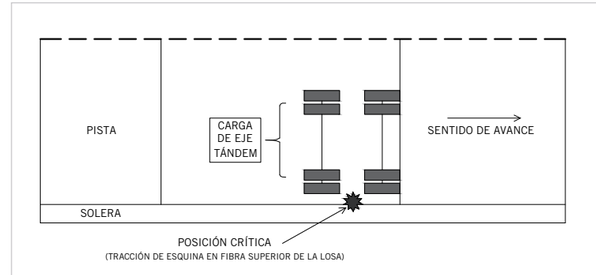
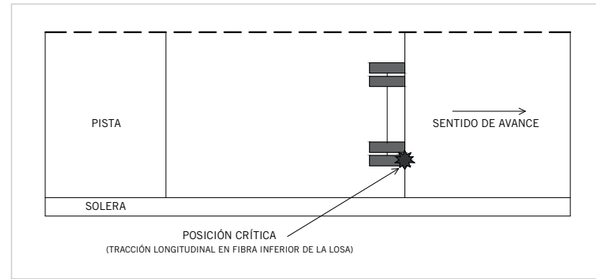


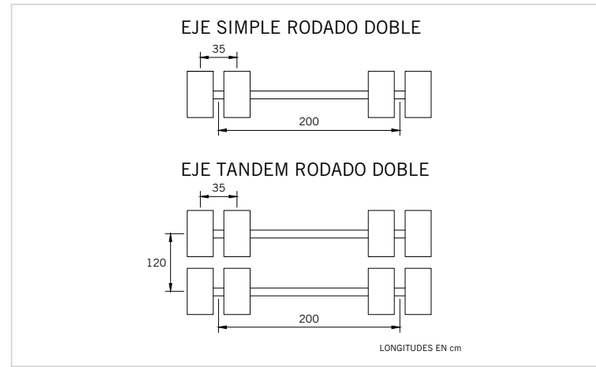
FIGURA 14.15
POSICIÓN CRÍTICA DE APOYO DE CARGAS SIMÉTRICAS QUE GENERAN MAYOR TENSIÓN, EN FIBRA INFERIOR DE LA LOSA, EN SENTIDO LONGITUDINAL



Se recomienda que las cargas se evalúen en incrementos de 500 kg para ejes simples y 1.000 kg para ejes dobles, usando la siguiente configuración de ejes:

En la Figura 14.16 se presentan las configuraciones típicas de ejes de vehículos pesados que deben ser consideradas para evaluar pavimentos de hormigón. Sin embargo, se podrán utilizar otras configuraciones a establecer para el caso particular analizado en el proyecto.

FIGURA 14.16
CONFIGURACIONES DE EJES RECOMENDADOS PARA ANÁLISIS



La superficie de aplicación de la carga de la rueda sobre la losa Ac, se puede determinar de las siguientes relaciones:

$$A_c = \frac{P}{q} \quad ; \quad L = \sqrt{\frac{A_c}{0{,}5227}}$$

Donde:
A_c: Área de contacto entre neumático y pavimento [m^2].
P: Carga vertical transmitida al pavimento por el neumático [N].
q: Presión de inflado de neumáticos [N/m^2].
L: Variable para determinar los lados de un rectángulo de superficie equivalente a Ac [m].

14.4.5 PROPIEDADES DEL SUELO DE FUNDACIÓN

El módulo de reacción de la subrasante, Kc (MPa/m), es el parámetro que se puede utilizar para caracterizar la capacidad de soporte de la subrasante. Generalmente, a la denominación se le agrega la palabra "efectivo" para indicar que se está utilizando un valor medio compensado, que toma en consideración las eventuales variaciones estacionales que, en ciertas circunstancias, experimenta este parámetro a lo largo del año. En todo caso, se recomienda incluir esa consideración solo cuando se prevea una penetración de la helada importante en suelos que se encuentran en climas fríos.

El suelo se modela como un resorte con constante K. Para determinar este valor se utiliza normalmente la recomendación entregada en el punto 14.3.3.2.

14.4.6 CLIMA Y CONDICIÓN DE ALABEO

El alabeo se produce por las deformaciones inherentes del material al secarse desde su condición húmeda del hormigón fresco, hasta una condición seca de equilibrio con el medioambiente, efecto de secado que puede durar varios meses y que le produce un acortamiento a la losa desde sus dimensiones originales, delimitada por los cortes de las juntas de contracción y longitudinales.

Adicionalmente, las deformaciones subsecuentes de expansión y acortamiento se producen por gradientes de temperatura estacionales y diarias, que condicionan la deformación a través del espesor de la losa, produciendo movimientos al alabeo, disminuyéndolo o aumentándolo, según sea el caso frío o calor, respectivamente.

Esta condición, en general, es inherente a los pavimentos con losas de dimensiones definidas y debe ser evaluada en el caso de análisis de pavimentos con otras configuraciones o condiciones, tales como los continuamente reforzados.

Para el caso del diseño general en losas de dimensiones definidas, debido a que los pavimentos cambian su condición de alabeo continuamente, en el método de diseño se sugiere considerar este cambio como un porcentaje del tiempo en el año para condiciones de alabeo cada 5 °C.

Estas condiciones de alabeo o deformaciones por alabeo se ingresan como el gradiente térmico equivalente para una determinada deformación. Es decir, el número ingresado es un gradiente térmico, que equivale a la suma de alabeos generados en la losa, térmicos, hidráulicos y de construcción. Los alabeos equivalentes que ocurren en las losas, se pueden simplificar y se calculan según la ecuación siguiente:

$$\triangle T^o = \triangle T^oc + \triangle T^od$$

Donde:
$\triangle T^o$ = Gradiente térmico equivalente
$\triangle T^oc$ = Gradiente térmico equivalente de construcción
$\triangle T^od$ = Gradiente térmico por variaciones de temperaturas

El gradiente térmico por variaciones de temperaturas se obtiene realizando mediciones durante un año en una losa de prueba para registrar la diferencia de temperatura entre la parte superior e inferior de ella. Los resultados obtenidos permiten obtener una base de datos que indica el porcentaje de tiempo en el año en que la losa se mantiene a cierto diferencial de temperatura. Este diferencial de temperatura debe estar dividido por el espesor de la losa de hormigón y se expresa en (°C/cm).

Con este objetivo, para evaluar el porcentaje de tiempo en los cuales las losas están alabeadas durante el año, la Dirección de Vialidad del MOP realizó una estimación utilizando el programa computacional EICM (Enhanced Integrated Climatic Model), que contrastó los datos del "Estudio de la distribución de temperatura en una estructura de pavimento", con la finalidad de obtener valores de gradientes térmicos de temperaturas, que oscilaban entre los -11 °C a -19 °C.

El resultado de este estudio se presenta en la Tabla 14.6, la cual agrupa en 12 zonas los diferentes tipos de clima que se presentan en nuestro territorio. Esta tabla sirve para determinar las posiciones de alabeo de las losas en determinados períodos de tiempo e ilustra los gradientes por variaciones de temperaturas recomendados para el diseño por análisis mecanicistas. En casos especiales, se podrá calcular la distribución de temperaturas específicas del proyecto.

TABLA 14.6
PORCENTAJES DE TIEMPO DEL AÑO CON CADA GRADIENTE TÉRMICO PARA DETERMINACIÓN DE ALABEO, SEGÚN ZONA CLIMÁTICA Y LOCALIDAD

	zona 1	zona 2	zona 3	zona 4	zona 5	zona 6	zona 7	zona 8	zona 9	zona 10	zona 11	zona 12
Tipo de clima	Desértico con nublados abundantes	Desértico marginal de altura (+1000 mts)	Desértico (150 - 700 mts)	Desértico bajo	Templado cálido con estación seca prolongada de 7 a 8 meses	Templado cálido con lluvias invernales y gran humedad atmosférica	Templado cálido con lluvias invernales	Polar por efecto de altura	Templado cálido lluvioso con influencia mediterránea (interior)	Templado cálido lluvioso con influencia mediterránea (costero)	Templado frío lluvioso con influencia mediterránea (costero)	Templado frío con lluvias invernales
CIUDADES	ARICA	PUTRE	COPIAPÓ	CHAÑARAL	OVALLE	VALPARAÍSO	SANTIAGO	PORTILLO	ANGOL	VALDIVIA	CHAITÉN	COYHAIQUE
	IQUIQUE	CALAMA	TALTAL		ILLAPEL	PICHILEMU	RANCAGUA		TEMUCO	PTO.MONTT	PTO. AYSÉN	PTA. ARENAS
	TOCOPILLA				LA LIGUA	CONCEPCIÓN	TALCA		OSORNO	CASTRO		
	ANTOFAGASTA				LAMPA		CHILLÁN			ANCUD		
	LA SERENA						LOS ÁNGELES					
°C/cm	Porcentaje del tiempo anual con cada gradiente											
-0,9	0%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
-0,8	0%	0%	0%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
-0,7	0%	0%	0%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
-0,6	0%	0%	0%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
-0,5	1%	2%	3%	8%	3%	4%	5%	2%	0%	3%	4%	1%
-0,4	12%	9%	15%	11%	13%	13%	18%	11%	4%	11%	7%	6%
-0,3	14%	17%	10%	13%	14%	13%	15%	15%	15%	10%	8%	10%
-0,2	15%	18%	10%	11%	16%	17%	12%	14%	19%	10%	11%	14%
-0,1	14%	13%	12%	9%	12%	10%	8%	12%	18%	20%	22%	21%
0	6%	6%	14%	8%	5%	5%	4%	7%	8%	10%	12%	13%
0,1	5%	5%	5%	6%	6%	6%	5%	6%	8%	8%	9%	11%
0,2	6%	4%	5%	5%	5%	6%	5%	5%	7%	7%	7%	7%
0,3	6%	5%	5%	4%	4%	4%	4%	5%	7%	5%	5%	4%
0,4	6%	5%	4%	3%	4%	4%	4%	5%	6%	3%	3%	3%
0,5	6%	5%	4%	2%	5%	4%	4%	4%	3%	3%	3%	3%
0,6	5%	5%	4%	1%	6%	5%	4%	4%	3%	3%	3%	3%
0,7	2%	4%	3%	1%	5%	5%	5%	3%	1%	3%	3%	2%
0,8	1%	2%	3%	0%	2%	4%	4%	2%	1%	2%	2%	1%
0,9	0%	1%	1%	0%	0%	1%	2%	1%	1%	1%	0%	0%
1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%
1,1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%

14.4.7 TRANSFERENCIA DE CARGA

La transferencia de carga en la junta es de vital importancia para el caso de los pavimentos de hormigón sin barras de traspaso de carga, ya que a mayor capacidad de transferencia, la carga en una losa se distribuye en una mayor área con el apoyo de las losas vecinas. La transferencia de carga del pavimento proviene de la trabazón mecánica entre los agregados bajo la junta aserrada y, en caso de que el pavimento tenga barras de transferencia de carga, estas aportan adicionalmente a generar traspaso de carga. A menor espaciamiento entre los cortes de juntas, se produce un menor ancho de las grietas inducidas y, por ende, una mayor transferencia de carga. Para considerar estos efectos en el análisis mecanicista de losas de geometría definida, se sugiere modelar las siguientes condiciones para la transferencia de carga:

En el borde:
Considerar una transferencia de carga de 0% (borde libre, vereda).

En la junta transversal:
La transferencia de carga en la junta transversal se analiza por medio del modelo de transferencia de carga adoptado. Debido a que la transferencia de carga varía según las condiciones climáticas en que se encuentre la losa, en caso de no tener suficiente información se recomienda usar un valor de 50%. Sin embargo, en la zona sur del país y en suelos de mayor calidad, este valor puede aumentarse hasta un 65%, según se establezcan las condiciones de soporte del suelo en que se emplazará el proyecto. En caso de usar barras de transferencia de carga en las juntas se recomienda usar un valor de 85%.

En la junta longitudinal:
Considerar una transferencia de carga de 50% en la junta longitudinal, ya que su efecto en la transferencia de carga es bajo en la magnitud de las tensiones que son generadas a las losas.

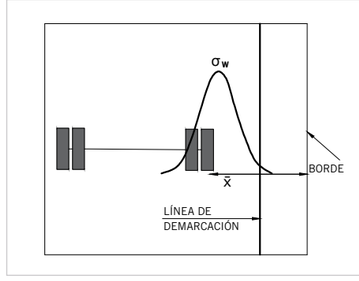
Se podrán evaluar otras condiciones o posiciones de cargas distintas a las sugeridas, en caso de realizar análisis de pavimentos con otras configuraciones.

14.4.8 POSICIÓN DE LA CARGA

La distancia o posición en la que circula un vehículo por el pavimento respecto del borde, es otro parámetro importante a considerar en el análisis del desempeño del pavimento. Se asume que la posición por la que pasan los vehículos, sigue una distribución normal con media x, y una desviación estándar σ_w.

En la Figura 14.17 se presenta esquemáticamente la ubicación de una carga desde el borde del pavimento, donde la variable x representa la posición media del eje respecto del borde (igual a la distancia del borde con la línea de demarcación y la distancia entre la línea de demarcación con el eje), y la variable σ_w representa la desviación estándar de la posición del eje.

FIGURA 14.17
ESQUEMA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA POSICIÓN DE CARGA EN EL PAVIMENTO (CON EXISTENCIA DE BERMA)



Es importante estimar la posición donde ocurren las situaciones más desfavorables de carga, de manera que sean analizadas.

Para el caso del análisis general de pavimentos con losas sin barras de transferencia de carga, se sugiere realizar una verificación de cada una de estas posiciones, de acuerdo con la cantidad de pasadas reales en cada una de ellas.

Como una aproximación simple a la solución de la distribución de ubicación de la carga desde el eje, se propone en la Tabla 14.7 usar un factor de aproximación para la situación más desfavorable, sobre el eje, como una medida de la cantidad de pasadas del tránsito total en esa ubicación.

TABLA 14.7
APROXIMACIÓN DE PASADAS MEDIAS SIMPLIFICADAS PARA EL ANÁLISIS DE CARGAS EN LAS JUNTAS (VALORES RECOMENDADOS POR PCA e ICH) PARA CARRETERAS

POSICIÓN	PASADAS (%) (F_u)
Borde	6%
Huella (60 cm borde)	50%

Los valores mostrados en la tabla anterior ponderan la cantidad de pasadas totales (EE de diseño) para encontrar la cantidad de pasadas reales en cada posición indicada y serán los valores adoptados para la confección del ábaco que se ilustra más adelante. El diseñador puede modificar estos valores, considerando otras ponderaciones que representen de mejor manera la situación de diseño. Asimismo, puede, para pavimentos urbanos (sin berma) y con soleras de borde, disminuir la distancia de borde (huella). Para efectos del cálculo realizado en las Cartillas de diseño que se presentan en el punto 14.6. de esta Sección, dicha distancia se considera de 30 cm.

En este mismo contexto, es recomendable, para el caso de pasajes, verificar el espesor adoptado para la condición de carga en el borde de las losas, ya que es la condición más crítica en este tipo de pavimentos (debido a que normalmente se construyen sin un elemento efectivo de borde, como son las soleras de plinto 15 cm), pero sin incluir el efecto de fatiga, ya que no es esperable que todo el tránsito de diseño circule por el borde, para ello se pueden usar las ecuaciones de Westergaard para una carga P=4,2 toneladas.

$$I = \sqrt[4]{\frac{E * h^3}{12(1-\mu^2)k}}$$

h = Espesor de la losa
k = Módulo de reacción del soporte

Borde $\sigma_b = \frac{0.572P}{h^2}\left[4\log(l/b) + 0.359\right]$ *Esfuerzo de tensión en el fondo de la losa*

14.4.9 MODELOS DE FATIGA

Para poder establecer la forma e instante de falla de la losa de hormigón evaluada, se debe contar con un modelo de fatiga que indique la carga y el momento cuando el hormigón podría fallar.

Esta información puede derivar de modelos aceptados o se pueden proponer relaciones distintas, las que deberán ser validadas y respaldadas.

Para este efecto, en el caso general, se recomienda utilizar el modelo de fatiga que propone la metodología AASHTO y que se basa en la suma de daño por fatiga (FD), a través de la siguiente relación para el 50% de confiabilidad:

$$CRK = \frac{1}{1 + C1xFD^{-C2}}$$

Donde:
CRK = Porcentaje de losas agrietadas con falla ocasionada por tráfico
FD = Daño por fatiga en cada posición
C1 = 1, C2 = 2,05 (para agrietamiento transversal, según calibración nacional USA para AASHTO 2008. Para otros tipos de agrietamiento se deberá determinar los valores de C1 y C2)

Esta ecuación debiera ser calibrada localmente según el tipo de pavimento de hormigón utilizado y posibles variables que puedan ser incluidas para definir los valores de C1 y C2, tal como uso de fibras, rigideces, variaciones de mezclas, entre otros, para definir los valores de los factores C1 y C2, que realizan correcciones para ajustar los valores estimados.

El daño por fatiga se obtiene por el cociente entre el número de pasadas reales de una cierta carga, dividido por el número de pasadas admisibles:

$$FD = \sum \frac{n_{i,j,k,l}}{N_{i,j,k,l}}$$

FD = Daño por fatiga total
$n_{i,j,k,l}$ = Número de repeticiones de carga aplicadas para la condición i,j,k,l,m,n
$N_{i,j,k,l}$ = Número de repeticiones admisibles para la condición i, j, k, l, m, n
i = Tipo de eje
j = Nivel de carga
k = Diferencial de Temperatura
l = Posición del eje

El número de repeticiones de cargas admisibles para cada condición se puede obtener usando la siguiente ecuación:

$$\log(N_{i,j,k,l}) = a \cdot \left(\frac{\sigma_{i,j,k,l}}{MOR \cdot C1 \cdot C2}\right)^{-b}$$

Donde:
a = 2 Factor de calibración para ecuación de fatiga
b = 1,22 Factor corrección para ecuación fatiga
$\sigma_{i,j,k,l}$ = Tensión aplicada, condición i, j, k, l
MOR = Resistencia a la flexotracción final
C1 y C2 = 1 para losas de más de 3 m de longitud

14.4.10 UMBRALES DE DAÑO PARA EL DISEÑO

El modelo utilizado para los análisis debe calcular los parámetros de diseño que se hayan definido como criterios de comportamiento del diseño propuesto.

En el caso general, se propone que esto sea analizado por medio del daño por fatiga, que entregue como comportamiento final el porcentaje de losas agrietadas con una grieta en cualquier dirección, al final de la vida de diseño, para una confiabilidad dada.

Debe tenerse en consideración que este parámetro solo determina un umbral de daño en un tiempo determinado y no necesariamente la vida útil del pavimento.

14.4.11 VERIFICACIÓN DE COMPORTAMIENTO

Para verificar el comportamiento del diseño obtenido, se utilizarán las variables de comportamiento del pavimento en servicio, correspondientes a escalonamiento e IRI.

Esta verificación es necesaria realizarla en pavimentos de vías troncales y expresas, por su importancia estructurante en la red de vías urbanas, de manera de comprobar su comportamiento en el tiempo y el cumplimiento de los parámetros máximos exigidos al proyecto, según el tipo de vía.

Los valores de IRI y escalonamiento deberán ser especificados para estas vías.

Para este propósito, se sugiere utilizar las siguientes ecuaciones de AASHTO que se presentan a continuación:

14.4.11.1 MODELO DE ESCALONAMIENTO

El escalonamiento en un semestre es la suma de los incrementos de cada semestre anterior en la vida del pavimento, desde la apertura al tráfico, usando el siguiente modelo (Khazanovich, et al. 2004):

$$Fault_m = \sum_{i=1}^{m} \Delta Fault_i$$

$$\Delta Fault_i = C_{34} * (FAULTMAX_{i-1} - Fault_{i-1})^2 * DE_i$$

$$FAULTMAX_i = FAULTMAX_0 + C_7 * \sum_{j=1}^{m} DE_j * Log(1 + C_5 * 5.0^{EROD})^{C_6}$$

$$FAULTMAX_0 = C_{12} * \delta_{curling} * \left[Log(1 + C_5 * 5.0^{EROD}) * Log\left(\frac{P_{200} * WetDays}{p_s}\right) \right]^{C_6}$$

Donde:
Faultm = Escalonamiento promedio en el semestre m, pulg.
$\Delta Fault_i$ = Incremento semestral en escalonamiento promedio durante el semestre i, pulg.
$FAULTMAX_i$ = Máximo escalonamiento promedio para semestre i, pulg.
$FAULTMAX_0$ = Máximo escalonamiento promedio inicial, pulg.
EROD = Factor de erosión de la base/subbase.
DE_i = Diferencial de energía acumulado durante el semestre i
Δcurling = Máxima deflexión mensual, debido a alabeo de temperatura y humedad de la losa.
PS = Sobrecarga de la subrasante, libras.
P200 = Porcentaje de material de la base que pasa la ASTM #200.
WetDays = Número de días promedio al año con precipitaciones.

C1 a C8 y C12, C34 son constantes de calibración:

$$C_{12} = C_1 + C_2 * FR^{0,25}$$
$$C_{34} = C_3 + C_4 * FR^{0,25}$$

C1 = 1.29
C2 = 1.1
C3 = 0.001725
C4 = 0.0008
C5 = 250
C6 = 0.4
C7 = 1.2
FR = Índice de congelamiento de la base (porcentaje del tiempo en el año en que la base se encuentra bajo los 0 °C.

14.4.11.2 MODELO DE IRI

El modelo de IRI sugerido es el propuesto por NCHRP 137-A (2002), según:

$$IRI = IRI_I + C1\ CRK + C2\ SPALL + C3\ TFAULT + C4\ SF$$

Donde:
IRI = IRI predicho, pulg/milla
IRI_I = Rugosidad inicial, medido en términos de IRI, pulg/milla
CRK = Porcentaje de losas agrietadas
SPALL = Porcentaje de losas con desconches
TFAULT = Escalonamiento promedio acumulado por milla, pulg.
SF = Factor de sitio
C1 = 0.0823
C2 = 0.4417
C3 = 1.4929
C4 = 25.24
SF = AGE (1+0.5556 FI) (1+P200)/1,000,000

Con:
AGE = Edad pavimento, años.
FI = Índice de congelamiento, °F-días.
P200 = Porcentaje de material fino (material que pasa malla N° 200).

Los pavimentos de juntas espaciadas a menor distancia de lo tradicional deben ser diseñados exclusivamente por medio de las técnicas de diseño mecanicista-empírica, ya que el método AASHTO no considera pavimentos con juntas a menor distancia que el ancho de la calzada.

ART. 14.5 METODOLOGÍA DE DISEÑO EMPÍRICO-MECANICISTA BASADA EN AASHTO 98 PARA PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

El método tradicionalmente utilizado para diseñar pavimentos es el basado en la metodología AASHTO, la que ha sido actualizada en varias ocasiones, siendo la última versión la del año 1998.

En esta metodología, se utilizan relaciones entre los parámetros que por iteración permiten determinar un espesor de losa de hormigón como diseño.

En 1997, la Comisión de Diseño y Evaluación de Pavimentos de la Corporación de Investigación de la Construcción, perteneciente a la Cámara Chilena de la Construcción, preparó el documento "Recomendaciones para el Diseño de Pavimentos según AASHTO en Chile", el que propone una metodología calibrada a la realidad local, para los distintos parámetros que componen este método y que es la que hasta hoy se encuentra vigente y es usada por los distintos diseñadores.

14.5.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO AASHTO 1998

En el método de diseño AASHTO 98 las variables de diseño que se consideran como información necesaria para realizar una estimación son las siguientes:

- El tránsito (EE)
- La subrasante, representada por el valor K
- La serviciabilidad inicial (p_i) y la serviciabilidad final (p_f)
- La variabilidad, representada por la desviación normal (S_o)
- La confiabilidad (R), representada por el coeficiente de Student (Z_r)
- La resistencia a la flexotracción (Rmf)
- El coeficiente de drenaje (C_d)
- El módulo elástico del hormigón (E_h)
- El coeficiente de Poisson (μ)
- El módulo elástico de la base (E_b)
- El largo de la losa (L)
- El espesor de la base (H)
- El factor de ajuste por confinamiento (TB)
- El coeficiente de fricción losa base (f)
- Velocidad media anual del viento [nudos] (Wind)
- Temperatura media anual del ambiente, [ºC] (Temp)
- Precipitación media anual [mm] (Precip)
- Tipo de transferencia de carga (sin / con barras)

Utilizando los parámetros indicados y aplicándolos en las ecuaciones que propone el método, es posible determinar el espesor de la losa H de diseño del pavimento.

La ecuación general de relación de las variables para la determinación del espesor es la siguiente:

$$EE = \left[\frac{H+25{,}4}{25{,}882}\right]^{7{,}35} 10^{\alpha}\beta^{(4{,}22-0{,}32p_f)}$$

$$\alpha = \frac{\log\left[\frac{pi-pf}{4{,}5-1{,}5}\right]}{1+\left[\frac{180{,}779}{H+25{,}4}\right]^{8{,}46}} + Z_R S_0$$

$$\beta = \frac{R_m C_d}{1{,}487J}\left[\frac{H^{0{,}75}-12{,}808}{H^{0{,}75}-83{,}2\left(\frac{K_c}{E_h}\right)^{0{,}25}}\right]$$

El procedimiento de diseño empleado se resume a continuación en las Figuras 14.18. y 14.19., a través de los siguientes diagramas de flujo, tanto para el diseño del espesor de la losa, como para las correspondientes verificaciones de escalonamiento y tensión de esquina (esta verificación se hace exclusivamente para pavimentos sin barras de traspaso de cargas).

FIGURA 14.18
CONFIGURACIONES DE EJES RECOMENDADOS PARA ANÁLISIS

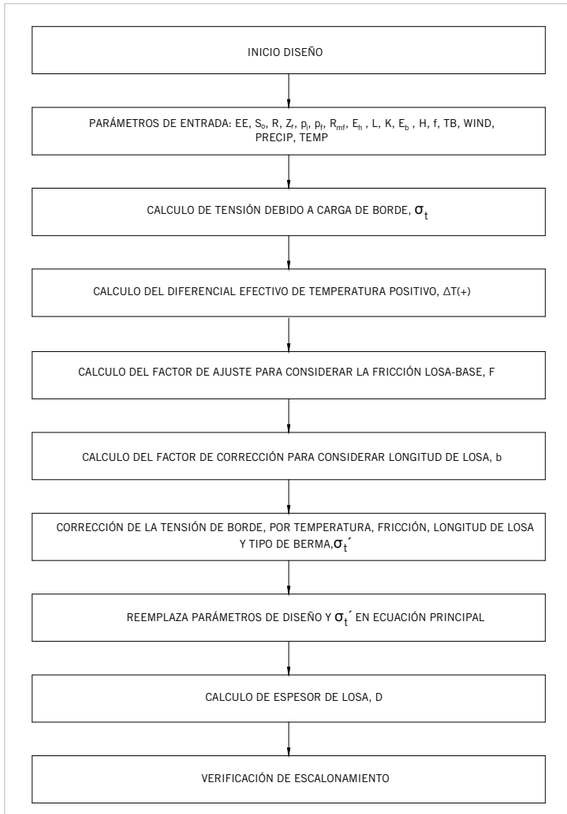
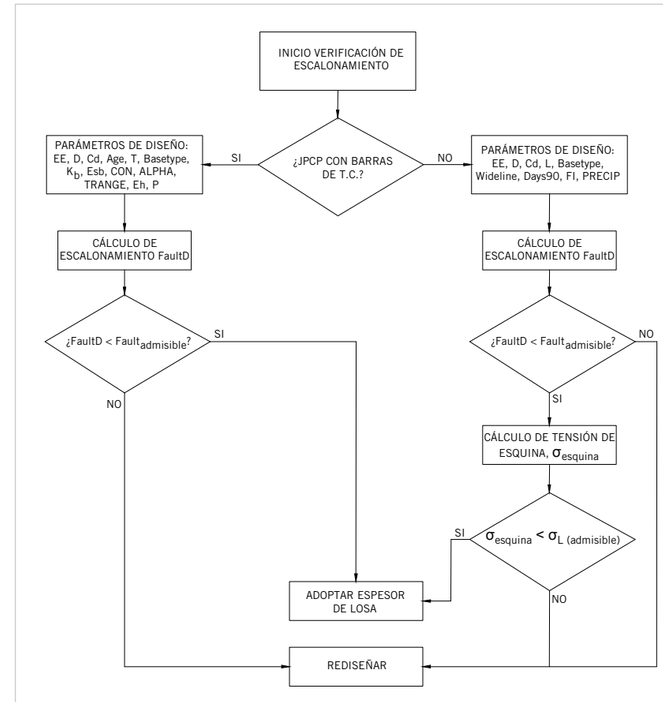


FIGURA 14.19
PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN DE ESCALONAMIENTO Y TENSIÓN DE ESQUINA



14.5.2 VARIABLES DE DISEÑO

14.5.2.1 TRÁNSITO - EJES EQUIVALENTES

El procedimiento consiste en convertir el tránsito mixto de diversos ejes y configuraciones de carga, a una configuración conocida de un eje simple de 18 Kips. Esto, a través de un factor equivalente y, finalmente, sumar los ejes resultantes de carga para el respectivo período de diseño.

El volumen de tránsito a considerar solo toma en cuenta vehículos pesados, debido a que son estos los que influyen de forma significativa en el comportamiento de un pavimento.

Al momento de diseñar un pavimento se proyecta el tránsito que circula anualmente (durante la vida de diseño) por la vía, con el fin de conocer el tránsito acumulado para el cual se diseña el pavimento. Con este fin se utiliza una tasa de crecimiento geométrico, la cual depende de proyecciones de variables macroeconómicas, de proyecciones de las tasas de motorización y de la evolución del sistema de actividades, asociadas a flujos de tránsito de la zona donde se va a emplazar el proyecto.

AASHTO transforma los diferentes ejes que circulan por una ruta a un eje simple de rueda doble (ESRD) de 80 kN (18 kips) de peso, considerado como eje patrón y denominado Eje Equivalente (EE). El factor de equivalencia es el cociente que resulta entre el número de ejes de una configuración y

peso necesarios para originar una determinada pérdida de serviciabilidad, respecto del número de ejes-patrón requeridos para producir la misma pérdida de serviciabilidad. El valor de este cociente es el Factor de Ejes Equivalentes y se resume en la siguiente fórmula:

$$\text{Factor } EE_x = \frac{\text{N° de ejes de x peso (kN) que causan una determinada pérdida de serviciabilidad}}{\text{N° de ejes de 80 kN que causan la misma pérdida de serviciabilidad}}$$

Cabe notar que el Factor Eje Equivalente (FEE) no es válido para otro criterio de falla que no sea serviciabilidad, ya que solo es función de ella. Además, este factor es distinto para diferentes espesores de losa, por lo que su valor es solo una aproximación.

El cálculo necesario para obtener el tránsito de diseño requiere de los siguientes pasos:

a. Determinar el volumen representativo de cada tipo de vehículo.

b. Indicar el crecimiento de volumen para cada tipo de vehículo y obtener el total de vehículos considerando la vida de diseño.

c. Multiplicar el factor de equivalencia, a cada tipo de vehículo. La suma de estos valores es el tránsito que se utiliza para el diseño estructural del pavimento.

14.5.2.2 CLIMA

Los parámetros directos del clima que afectan a un pavimento de hormigón son la temperatura y las precipitaciones. La temperatura se manifiesta principalmente en el comportamiento del pavimento por medio del alabeo que produce en las losas. Las precipitaciones se asocian al debilitamiento de la subrasante producto de la infiltración de agua a esta capa y, además, es parte de los procesos de bombeo de finos.

La Tabla 14.8 entrega valores para las diversas variables climáticas que se emplean en las ecuaciones de diseño de la Guía AASHTO 98:

TABLA 14.8
ESTADÍSTICAS CLIMÁTICAS

UBICACIÓN	ESTACIÓN SINÓPTICA	TEMPERATURA MEDIA ANUAL [°C]	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL [MM]	VEL. VIENTO MEDIA ANUAL [NUDOS]
La Serena	La Florida	13,6	83,6	5,9
Longotoma	Longotoma	13,5	247,2	1,3
Valparaíso	Lago Peñuelas	13,5	649,4	1,3
Santiago	Quinta Normal	14,5	320,4	2,8
Curicó	General Freire	13,3	658	4,4
Chillán	Bernardo O'Higgins	12,7	1163	5,6
Concepción	Carriel Sur	12,4	1087,2	9,1
Los Ángeles	María Dolores	12	1675	5,4
Temuco	Maquehue	11,2	1278,2	5,2
Valdivia	Pichoy	11	1874,1	5,0
Osorno	Cañal Bajo	10,4	1390,1	6,0
Coyhaique	Coyhaique	8,8	1485,4	6,6
Punta Arenas	Punta Arenas	6,3	413,3	14,3

De acuerdo con las recomendaciones del método AASHTO 1998, para considerar el efecto del alabeo por humedad y construcción, es recomendable utilizar la zonificación que se presenta en la Tabla 14.9.

TABLA 14.9
PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL

CLIMA	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL [mm]
Seco	< 762
Húmedo	≥ 762

14.5.2.3 MÓDULO DE REACCIÓN COMBINADO DE LA SUBRASANTE

Para obtener el módulo de reacción de los suelos de soporte, se utiliza la relación existente entre esta variable de diseño y el CBR respectivo, según las ecuaciones que se presentan a continuación:

$$K\left[MPa/m\right] = \begin{Bmatrix} 2{,}55 + 52{,}5 \cdot \log CBR & , \; CBR \leq 10\% \\ 46 + 9{,}08 \cdot (\log CBR)^{4{,}34} & , \; CBR > 10\% \end{Bmatrix}$$

Con las ecuaciones anteriores se determina el valor de reacción tanto de la subrasante como de la base, que se denominan como K_0 y K_1, respectivamente.

Para obtener el valor de reacción combinado (Kc) se utiliza la expresión propuesta en el apartado 14.3.3, la cual permite obtener un Módulo de Reacción Combinado (o Módulo de Reacción Equivalente), que considera, además de la calidad de soporte del suelo natural, el aporte de la base que será usada como apoyo.

En la Tabla 14.10 se presentan relaciones aproximadas entre el CBR de la subrasante y el K a usar para el diseño, sin necesidad de hacer cálculos, considerando un CBR de la base de 40%, lo cual otorga un factor de seguridad si en el proyecto se usarán bases de mayor capacidad de soporte. En la Tabla 14.11 se presentan valores para caracterizar la base granular, según el tipo de clima.

TABLA 14.10
MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE DE DISEÑO

TRANGO CBR [%]	CBR DISEÑO [%]	K_0 [MPa/m]	K_C EQUIVALENTE [MPa/m]
≤ 3	2	18,4	22,7
4 - 7	4	34,2	39,7
8 - 12	8	50,0	56,4
13 - 20	13	60,5	67,4
≥ 20	20	74,5	81,9

TABLA 14.11
VALORES A UTILIZAR PARA CARACTERIZAR LA BASE GRANULAR

TIPO DE CLIMA	MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]	COEFICIENTE DE FRICCIÓN
Seco (P < 762 mm)	150	1,4
Húmedo (P ≥ 762 mm)	105	0,7

14.5.2.4 SERVICIABILIDAD

La serviciabilidad inicial pi es la que tiene el pavimento en el momento de ser entregado al tránsito. En el diseño de pavimentos de hormigón, lo recomendable es usar el valor de pi=4,5.

La serviciabilidad final pf representa el mínimo de serviciabilidad deseado para el final de la vida de diseño proyectada de un camino. El valor recomendado es de pf=2,0.

14.5.2.5 DESVIACIÓN ESTÁNDAR COMBINADA DE PARÁMETROS Y COMPORTAMIENTO

Una desviación estándar es seleccionada de forma que represente las condiciones locales. Los valores de S_0 desarrollados en la prueba de camino AASHO no incluyeron error del tránsito. Sin embargo, el error de la predicción desarrollado en la prueba correspondió a una desviación estándar total para el tránsito de 0,35 para pavimentos rígidos.

14.5.2.6 CONFIABILIDAD

Los conceptos de confiabilidad consisten básicamente en incorporar un cierto grado de certeza en el proceso de diseño, con el fin de confirmar que las alternativas de diseño durarán el período de análisis. El factor de diseño de confiabilidad considera variaciones en la predicción del tránsito, proporcionando un nivel de seguridad al pavimento con respecto a su sobrevivencia al período para el cual fue diseñado.

Generalmente, debido al volumen y a la dificultad de desviar el tránsito y a la expectativa pública de la disponibilidad de vías, el riesgo debe ser reducido al mínimo. Esto es logrado seleccionando niveles más altos de confiabilidad para los distintos tipos de vía.

El uso del concepto de confiabilidad requiere los siguientes pasos:

a. Defina la clase de vía.

b. Seleccione un nivel de confiabilidad de la gama dada en la Tabla 14.12. Cuanto mayor es el valor de la confiabilidad, mayor la estructura del pavimento requerida.

c. Utilizar un valor de So de acuerdo con lo indicado en el apartado 14.5.2.5.

TABLA 14.12
NIVELES SUGERIDOS DE CONFIABILIDAD, SEGÚN CLASIFICACIÓN DE VÍAS

CLASIFICACIÓN DE VÍAS	NIVEL DE CONFIANZA RECOMENDADO	COEFICIENTE ESTADÍSTICO ZR
Expresas	80	-0,841
Troncales	75	-0,674
Colectoras	60	-0,253
Pasajes, Locales y Servicio	50	-0,000

Nota: Los valores recomendados pueden ser aumentados solo en situaciones particulares que así lo requieran, como sería el caso de los pavimentos de túneles, por ejemplo, en donde resulta oneroso realizar operaciones de conservación regulares y poco espaciadas en el tiempo.

14.5.2.7 VARIABILIDAD

La variabilidad se refiere, fundamentalmente, a las varianzas en las mediciones de los parámetros que se definen en el diseño, con respecto a los valores que se obtienen en terreno en forma real.

Cada una de estas variables puede variar en un rango muy amplio, por esta razón es necesario conocer sus parámetros estadísticos asociados, para poder manejarlas en forma correcta.

14.5.2.8 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN

A- Resistencia a la flexotracción

Para la metodología presentada se emplea la resistencia media a la flexotracción a 28 días (Rmf). El valor a asignar en el diseño depende de las posibilidades que existan en la zona de construcción del pavimento, para producir hormigones de cierta calidad. Ante esto se deberán considerar los valores de la Tabla 14.13.

TABLA 14.13
RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCIÓN [MPA]

TIPO DE VÍA	Rmf
Expresa, Troncal y Colectora	5,0
Servicio, Local y Pasajes *	5,0

(*) Para este tipo de vías se permitirá considerar una Resistencia Media a la Flexotracción de Diseño menor a la indicada en la Tabla 14.13, pero en ningún caso menor a 4,0 MPa. Se hace presente que los espesores de las Cartillas de diseño incluidos en esta Sección son válidos para los valores ilustrados en la Tabla 14.13, por lo tanto, el uso de resistencias menores implicará justificar los espesores adoptados usando metodologías mecanicistas.

B- Módulo de elasticidad

Como regla general, en el caso de no contar con valores de Módulo de elasticidad para el proyecto, se recomienda en hormigones de características normales, usar el valor 29.000 MPa.

C- Razón de Poisson

La razón de Poisson se define como la razón entre la deformación unitaria lateral y la unitaria axial, causada por una carga en el sentido axial. Su valor puede obtenerse mediante un ensayo estático o dinámico, determinando las deformaciones antes señaladas.

En la mayoría de los materiales tratados con cemento, su valor varía entre 0,10 y 0,25. Para el caso de hormigones de características normales se recomienda emplear un valor de 0,15.

14.5.2.9 MÓDULO DE ELASTICIDAD Y COEFICIENTE DE FRICCIÓN DE LA BASE

El tipo de base puede influir sobre el comportamiento de los pavimentos de hormigón, ya que afecta directamente en las condiciones de soporte de la losa. Por otra parte, el coeficiente de fricción es el parámetro que pretende cuantificar la resistencia que se presenta al deslizamiento entre la base y la losa.

El Módulo de elasticidad de la base (E_b) depende del tipo de base utilizada y su valor puede ser obtenido de la Tabla 14.14.

TABLA 14.14
MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y COEFICIENTES DE FRICCIÓN PARA DIFERENTES TIPOS DE BASE

TIPO DE MATERIAL DE BASE	MÓDULO ED ELASTICIDAD [MPA]	COEFICIENTE DE FRICCIÓN		
		BAJO	MEDIO	ALTO
Suelo fino	20,2 - 275,6	0,5	1,3	2,0
Arena	68,9 - 172,3	0,5	0,8	1,0
Granular	103,4 - 310,1	0,7	1,4	2,0

14.5.2.10 FACTOR DEL TIPO DE CONFINAMIENTO

La construcción de soleras de hormigón unidas al borde exterior del pavimento mediante barras de acero con resalte, contribuye sustancialmente a mejorar el comportamiento de este. Esto es debido a una reducción en las tensiones de borde y esquina, conjuntamente con una disminución de la infiltración de agua a lo largo de los bordes del pavimento.

Para las soleras de hormigón amarradas es recomendable utilizar un valor de 0,94 como factor de tipo de confinamiento.

14.5.2.11 DRENABILIDAD DE LA BASE

La infiltración de agua bajo el pavimento y su acumulación en la base, permite que se generen presiones importantes en la fase fluida, bajo la acción de cargas de tránsito. Esta presión produce arrastre de partículas finas del suelo con la consiguiente erosión por surgencia o "bombeo de finos".

Con dicho fenómeno la base de apoyo del pavimento se socava, produciendo huecos o creando diferencias de rigidices de apoyo, con la consiguiente formación de grietas en las losas.

Las características de Drenabilidad se expresan a través de un coeficiente de drenaje de la base "C_d", cuyo valor depende del tiempo en que esta se encuentra expuesta a niveles de humedad cercana a la saturación y del tiempo en que drena el agua. El primer factor indicado depende, a su vez, del nivel de precipitaciones de la zona, altura de la rasante, bombeo o inclinación transversal, sistema de saneamiento superficial, etc. El segundo factor depende de la calidad de los materiales de la base, existencia de drenaje y propiedades de permeabilidad de la subrasante.

La clasificación que se ha asignado a la calidad del drenaje se presenta en la Tabla 14.15.

TABLA 14.15
CALIDAD DEL DRENAJE

CALIDAD	AGUA REMOVIDA DEL INTERIOR*
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	El agua no es drenada

* Basado en el tiempo de drenaje, es decir, el 50% drenado (tiempo requerido para drenar el 50% del agua drenable).

Los valores de los coeficientes de drenaje que se propone utilizar son presentados a continuación en la Tabla 14.16:

TABLA 14.16
COEFICIENTES DE DRENAJE AASHTO MODIFICADO

DRENAJE	CLIMA	SUBRASANTE GRADACIÓN FINA		SUBRASANTE GRADACIÓN GRUESA	
		Base No-Permeable	Base Permeable	Base No-Permeable	Base Permeable
No	Húmedo	0,70 - 0,90	0,85 - 0,95	0,75 - 0,95	0,90 - 1,00
No	Seco	0,90 - 1,10	0,95 - 1,05	0,90 - 1,15	1,00 - 1,10
Sí	Húmedo	0,75 - 0,95	1,00 - 1,10	0,90 - 1,10	1,05 - 1,15
Sí	Seco	0,95 - 1,15	1,10 - 1,20	1,10 - 1,20	1,15 - 1,20

14.5.2.12 TRANSFERENCIA DE CARGA

La transferencia de carga representa la capacidad de un pavimento de hormigón de transferir parte de las cargas solicitantes a través de las juntas transversales. La eficiencia de carga depende de múltiples factores y tiende a disminuir durante la edad con las repeticiones de carga.

Dentro de los factores más importantes de eficiencia se pueden mencionar los siguientes:

A. Existencia de dispositivos especiales de transferencia de carga (barras de traspaso).
B. Interacción de las caras de la junta transversal. Para el caso de no existir dispositivos especiales, puede existir transferencia por roce entre las caras de la junta. Su eficiencia depende básicamente de la abertura de la junta y de la angulosidad de los agregados.

La abertura de la junta transversal depende principalmente del largo de los paños, la temperatura ambiente con la cual se ejecute el pavimento y las variaciones periódicas de la misma.

Para el tamaño y espaciamiento de las barras de transferencia de carga, AASHTO propone las siguientes recomendaciones:

- Diámetro de las barras de transferencia : D/8 (D: espesor de la losa).
- Espaciamiento entre barras : 30 cm.
- Largo barras : 40 cm.

Para el caso de pavimentos de hormigón con juntas espaciadas normales, se sugiere utilizar los siguientes valores:

- En zona central (entre Santiago y Chillán) : 3,5 - 3,7
- En zona sur (entre Chillán y Chiloé) : 3,2 - 3,5

Se deberá escoger el valor del rango, considerando que mientras más húmeda sea la zona, menor será el valor probable de aporte del suelo a la transferencia de carga.

ART. 14.6 EJEMPLO DE APLICACIÓN

En este acápite se muestra un ejemplo de aplicación de diseño con paquetes estructurales tipo, los que han sido diseñados con las metodologías y valores descritos en esta Sección. Los espesores para pavimentos se obtuvieron con la metodología empírico-mecanicista de AASHTO 2008, utilizando para este fin el programa Streetpave®. A modo de resumen, la Tabla 14.17 presenta los parámetros de entrada utilizados para el diseño.

Para el uso de la gráfica se debe considerar la coincidencia de los parámetros adoptados respecto de la situación en estudio, pues la desestimación de esto podría llevar a diseños no óptimos. Los resultados obtenidos de la gráfica deberán aproximarse al entero inmediatamente superior, a modo de aproximar los decimales. Por ejemplo, si en un caso se obtiene un espesor aproximado de 123 mm, el valor de diseño a utilizar deberá ser de 130 mm.

TABLA 14.17
PARÁMETROS ADOPTADOS EN EL EJEMPLO DE APLICACIÓN

PARÁMETROS DE DISEÑO			
Serviciabilidad	Índice de Servicialidad Inicial, Pi	4,5	*Pi*
	Índice de Serviciabilidad Final, Pf	*2,0*	*Pf*
Tránsito	Ejes Equivalentes de DIseño	0,05 0,2 0,5 1 2,5	*Millones*
	Vida útil de DIseño	20	*Años*
Confiabilidad de Diseño	Confiabilidad de Diseño	60%	*R*
	Desviación Estándar Total, So	0,37	*So*
	Coeficiente Estadístico, Z_R	-0,253	*Zr*
Propiedades del Hormigón	Resistencia a la Flexotracción, R_m	4,8	*MPa*
	Módulo de elasticidad del Hormigón, E_c	29.000	*MPa*
	Coeficiente de Poisson del Hormigón, μ	0,15	-
Propiedad de la Base	Módulo de elasticidad de la base, K1	156,4	*Mpa*
	Coeficiente de Fricción base/losa, f	1,4	-
	Espesor de DIseño de la base, H	150	*mm*
Porpiedad de la Subrasante	Módulo de Reacción de la Subrasante, K0	59,6	*MPa/m*
	Coeficiente de drenaje, Cd	0,95	-
Condiciones de borde	Tipo Berma	Berma Granular o Asfáltica (Borde Libre)	*1*
Dimensiones de la losa	Longitud de Losa	3,5	*m*
Localización	Clima	Costero central, valle central, costero sur	-

En la Tabla 14.18 se ilustran los umbrales de daño adoptados para el cálculo del ábaco, en pavimentos de hormigón con juntas. En situaciones especiales de pavimentos sometidos a mayores exigencias que las indicadas en la Tabla 14.18, el diseñador podrá usar valores de daño distintos, de manera de entregar una mayor confiabilidad al diseño, siempre que se justifiquen adecuadamente y cuenten con la conformidad del Serviu respectivo.

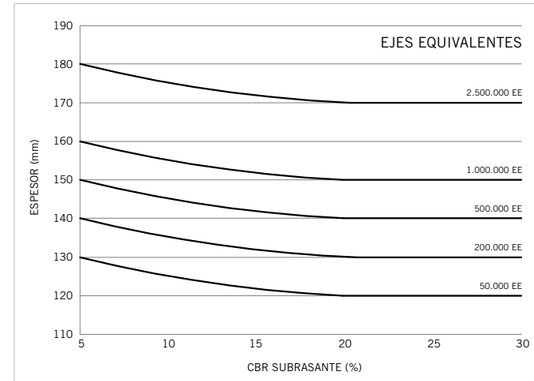
TABLA 14.18
VALORES DE DAÑO ADOPTADOS

CLASIFICACIÓN DE LA VÍA	% MÁXIMO DE LOSAS AGRIETADAS
Pasajes, Calles Locales y de Servicio	50%
Vías Colectoras y Troncales (EE < 15 MM)	30%
Vías Expresas, Transporte Público y Especiales (EE > 15 MM)	10%

Notar que el espesor de la base se ha fijado en 150 mm como criterio general para estos diseños, ya que este espesor permite un buen control del comportamiento de las losas de hormigón, con bases de CBR desde 50% y hasta 80%.

En caso de que la subrasante de suelo natural presente valores de CBR menores a 10%, se recomienda mejorar las condiciones del suelo de apoyo, de manera de contar con una subrasante adecuada para la estructura del pavimento, que lo lleven a un mínimo de CBR de 12,5%. Se sugiere considerar las indicaciones dadas en la Sección 12, para este fin.

GRÁFICA 14.1
EJEMPLO DE APLICACIÓN DE ESPESOR DE PAVIMENTO DE HORMIGÓN CON JUNTAS A 3,5 M X 3,5 M EN LAS CONDICIONES* QUE SE INDICAN EN TABLA 14.17 Y 14.8



* Localización considera ubicación en climas costero central, valle central y costera sur.

Para el caso general, en pavimentos urbanos, considerando que el tránsito de diseño, expresado en términos de ejes equivalentes para una vida de diseño de 20 años, fue medido y evaluado por estudios realizados por el Minvu en las vías categorizadas, según establece la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, y que los suelos de subrasante se pueden caracterizar a través de su capacidad de soporte y luego de aplicar la metodología empírico-mecanicista descrita en esta Sección, se llega a la Cartilla de Diseño que se presenta a continuación, la cual sintetiza los diseños estructurales en pavimentos urbanos en Chile.

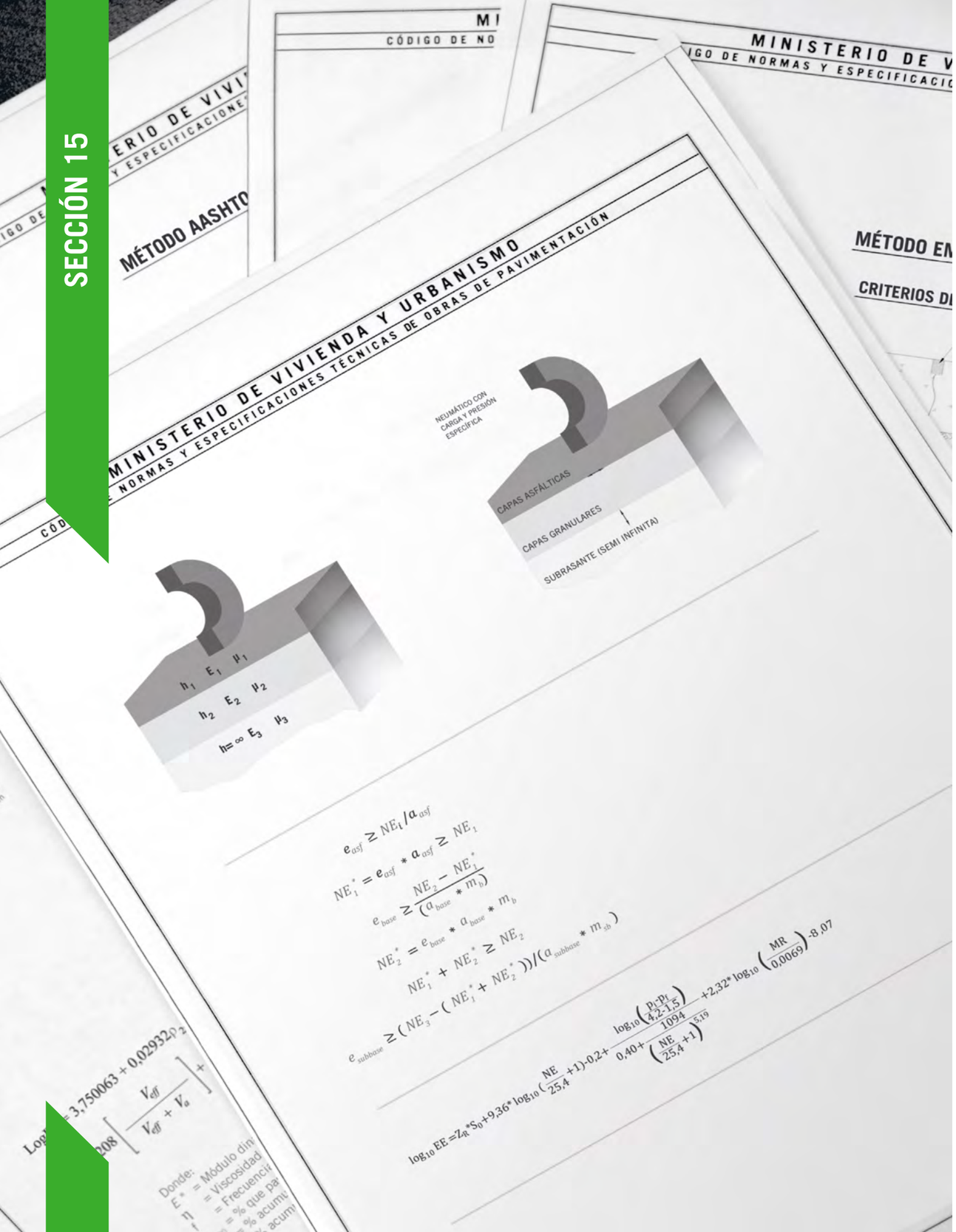
ESPESOR DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN [mm]								
Tipo de Vía	Tránsito	Capa	Resistencia	CBR Surasante (%)				
				≤ 3	4 - 7	8 - 12	13 - 20	> 20
PASAJE	≤ 50.000 EE	LOSA	Rmf= 5 [Mpa]	150	140	130	130	120
		BASE	CBR ≥ 60 %	300	150	150	150	150
LOCAL	≤ 200.000 EE	LOSA	Rmf= 5 [Mpa]	160	150	140	130	130
		BASE	CBR ≥ 60 %	300	150	150	150	150
SERVICIO	≤ 1.000.000 EE	LOSA	Rmf= 5 [Mpa]	170	160	150	140	140
		BASE	CBR ≤ 60 %	300	150	150	150	150
COLECTORA	≤ 3.000.000 EE	LOSA	Rmf= 5 [Mpa]	180	180	180	180	180
		BASE	CBR ≥ 60 %	300	200	200	200	150
TRONCAL	≤ 10.000.000 EE	LOSA	Rmf= 5 [Mpa]	220	220	220	220	210
		BASE	CBR ≤ 60 %	300	200	200	200	150
EXPRESA	≤ 20.000.000 EE	LOSA	Rmf= 5 [Mpa]	250	250	250	250	250
		BASE	CBR ≥ 60 %	300	200	200	200	150

Nota:
1. La Resistencia media a la flexotracción empleada para el cálculo de espesores fue de 50 kgf/cm^2 a los 28 días, lo cual equivale a una Resistencia característica a la flexotracción a 28 días de 46 kgf/cm^2.
2. Separación entre juntas transversales igual a 3,5 m.

14.6.1 DISMINUCIÓN DE ESPESORES

Los espesores de la Cartilla pueden ser disminuidos si se reduce la distancia entre juntas, cuya dimensión más recomendada es de 1,75 m de largo. Lo anterior se debe, como se explicó en el punto 14.1. de esta Sección, a que al construir losas de menor dimensión, se elimina el efecto de simetría de los ejes vehiculares que la cargan, dejando sobre la losa solo una rueda o un set de ellas, reduciendo las tensiones actuantes sobre esta. Sin embargo, esta disminución de espesor requiere algunas consideraciones especiales que deben introducirse tanto en las especificaciones técnicas del proyecto, como en sus etapas constructivas.

SECCIÓN 15
DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES



SECCIÓN 15

DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

ART. 15.1 GENERALIDADES

Históricamente, el diseño de pavimentos se ejecutó con métodos empíricos; sin embargo, durante las últimas décadas ha sido práctica cada vez más frecuente la utilización de métodos empírico-mecanicistas.

15.1.1 MÉTODO EMPÍRICO

Los métodos empíricos se basan en la observación del comportamiento de las estructuras de los pavimentos, bajo la acción de las solicitaciones inducidas por el tráfico, en un ambiente determinado.

La aplicación de los métodos empíricos de diseño para pavimentos flexibles data desde tiempos del Imperio Romano, aunque estos se desarrollaron como ciencia solo a fines del Siglo XIX. En sus comienzos, la aplicación de estas metodologías se limitaba a la experiencia propia de los profesionales, lo cual trajo como consecuencia la inexistencia de metodologías claras y discordancia en los parámetros considerados para el diseño. Como consecuencia de ello, se comienzan a realizar estudios con el objetivo de definir parámetros comunes para el diseño. En estos estudios se establecieron ecuaciones que relacionaban propiedades inherentes del pavimento con características geométricas y de carga. Así, se generó una serie de relaciones, tablas y ábacos, que permitían a los diseñadores determinar el espesor de las capas, a partir de unos pocos datos iniciales.

Unos de los primeros métodos desarrollados, corresponden a los utilizados por el Departamento de Carreteras del Estado de California en 1929. Esta metodología relaciona el espesor del pavimento con el valor del CBR de las distintas subcapas del suelo. Asimismo, destaca el método AASHTO, que fue desarrollado en la década de los cincuenta por la American Association of State Highway and Transportation Officials de Estados Unidos, cuya última versión para pavimentos flexibles es del año 1993.

15.1.2 MÉTODO EMPÍRICO-MECANICISTA

Las tendencias actuales en lo referente a métodos de diseño de pavimentos flexibles, indican una preferencia marcada por el desarrollo de métodos “racionales”. Los métodos empírico-mecanicistas relacionan los niveles de solicitaciones transmitidas al sistema estructural con la respuesta obtenida, en términos de esfuerzos y deformaciones, estos valores se introducen en ecuaciones de transferencia, las que son calibradas con pavimentos reales en funcionamiento. Estas respuestas, permiten al diseñador predecir el comportamiento de los pavimentos bajo diferentes condiciones, lo cual se ha visto favorecido, producto del desarrollo de modelos analíticos más representativos, (modelos de respuesta), los cuales no son solo aplicables a condiciones locales, sino también a aquellas condiciones y situaciones que el proyectista considere relevante.

En décadas pasadas, la aplicación y desarrollo de estas metodologías se encontraban limitadas solo a los grandes centros de investigación, quienes poseían las herramientas para la ejecución de los algoritmos, los cuales se basaban principalmente en la teoría de Boussinesq, para sistemas formados por una sola capa. Actualmente, los algoritmos de cálculo para la estimación de la respuesta estructural, se basan principalmente en modelos multicapa -teoría de Burmister- para modelos elásticos estratificados, donde los materiales se caracterizan en función de su módulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson. Dichos algoritmos pueden ser ejecutados en computadoras personales, obteniéndose resultados de alta exactitud, en tiempo limitado y a bajo costo.

En general, los modelos de respuesta pueden clasificarse en función de las ecuaciones constitutivas de los materiales que los gobiernan en: modelos elásticos, modelos visco-elásticos, visco-plástico, lineales y no lineales.

Las ventajas que presenta la metodología empírico-mecanicista radican en que permite relacionar y modelar parámetros físicos, basándose en la teoría de la resistencia de los materiales y ciencias de la ingeniería. Los modelos más sofisticados permiten al diseñador considerar modelos de comportamiento no lineales para suelos y materiales granulares; ello, sumado a la aplicación de modelos probabilísticos, ha dado como resultado modelos más representativos, que hacen posible extrapolar resultados de campo y laboratorio, lo cual se ha reflejado directamente en el desarrollo de pavimentos de mayor duración y menores costos de conservación y rehabilitación.

ART. 15.2 MÉTODO AASHTO 93

15.2.1 INTRODUCCIÓN

La metodología AASHTO 93 tiene su origen en la prueba de caminos AASHO (AASHO Road Test) realizada entre los años 1958-1960 en Ottawa, Illinois, EEUU. En dicha prueba se utilizaron dos tipos de pavimento (asfalto y hormigón), cuatro tipos de bases granulares y un tipo de subbase y subrasante. Durante la realización de la prueba se tomaron mediciones en el pavimento con los datos obtenidos se calibraron ecuaciones que dieron origen a la AASHO Interim Guide (1961). Posteriormente, se sometió a una Primera Revisión (1972) y luego, a revisiones y modificaciones realizadas en 1981, 1986 y 1993, incorporando conceptos tales como variabilidad, confiabilidad y rehabilitación a lo largo de las distintas versiones.

El método AASHTO da una gran importancia a la serviciabilidad, que es el parámetro que representa el grado de deterioro del pavimento. Este concepto nace en la prueba AASHO y corresponde a la opinión de un panel de usuarios, representado por medio de un parámetro denominado PSR (Present Serviceability Rating). Luego, en versiones posteriores, se introduce el concepto del PSI (Present Serviceability Index), que incorpora mediciones del comportamiento y estado del pavimento para cuantificar la pérdida de serviciabilidad.

El Método AASHTO 93 se ha utilizado en el diseño de pavimentos flexibles y rígidos sometidos a niveles de tráfico bajos, medios y altos. No obstante, cabe mencionar que es un método empírico, basado en una ecuación de regresión para pavimentos rígidos y otra para pavimentos flexibles.

Estas ecuaciones se calibraron con mediciones realizadas en Illinois, por lo cual representan condiciones climatológicas particulares.

El método de diseño relaciona la cantidad de ejes equivalentes solicitantes con el módulo resiliente, el nivel de confianza, variabilidad y número estructural, de manera que la estructura experimente una pérdida de serviciabilidad determinada. La ecuación presente en la guía de diseño AASHTO 93 es la siguiente:

$$\log_{10} EE = Z_R * S_0 + 9{,}36 * \log_{10}\left(\frac{NE}{25{,}4}+1\right) - 0{,}2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{p_i - p_f}{4{,}2-1{,}5}\right)}{0{,}40 + \frac{1094}{\left(\frac{NE}{25{,}4}+1\right)^{5{,}19}}} + 2{,}32 * \log_{10}\left(\frac{MR}{0{,}0069}\right) - 8{,}07$$

EE: Ejes equivalentes de 80 kN (8.16 t) de rueda doble
NE: Número estructural (mm)
p_f : Índice de serviciabilidad final del pavimento
p_i : Índice de serviciabilidad inicial del pavimento
Z_R : Coeficiente estadístico asociado a la confiabilidad
S_0 : Desviación estándar combinada en la estimación de parámetros
MR: Módulo resiliente del suelo (MPa)

15.2.2 TRÁNSITO O SOLICITACIONES

Las solicitaciones para el diseño son definidas mediante el concepto de número de ejes equivalentes (EE), el cual corresponde a la cantidad de ejes de 80 [kN], necesarios para llevar el pavimento desde un estado inicial (pi) hasta un estado de serviciabilidad final (pf).

Para determinar los ejes equivalentes totales se define un factor eje equivalente, correspondiente a una pérdida de serviciabilidad Δp, en una estructura con número estructural dado NE al cociente entre el número de repeticiones de ejes de peso X en relación con el número de pasadas de un eje simple rodado doble de peso 80 kN.

En resumen, el número de ejes equivalentes que admite la estructura es dependiente del modo de falla (serviciabilidad) y del tipo de estructura (delgada o gruesa).

15.2.3 SUELO

El suelo de fundación se caracterizará mediante el módulo resiliente, el cual puede ser obtenido a partir de deflectometría de impacto (FWD), de acuerdo con lo señalado en la Guía de Diseño AASHTO 93. Para el caso de suelos de mala calidad, tales como A-6 y A-7-6, el módulo debe ser corregido por un factor inferior a 1. La Guía de Diseño AASHTO 93 recomienda un valor 0,33.

En caso de no contar con el ensayo de deflectometría de impacto (FWD), es posible estimar el módulo resiliente a partir de correlaciones con el CBR, obtenidas a partir de la fórmula original de AASHTO, que se obtienen igualando el término correspondiente a confiabilidad y variabilidad de AASHTO 93 con el factor de seguridad (factor regional) de AASHTO 1972 y el término correspondiente al de la capacidad de soporte (S), igualándolo al término que correspondía al módulo resiliente M_R incorporado en la versión AASHTO 1993.

Base Granular:

$$M_R = -0{,}147\,(CBR)^2 + 29{,}9\,(CBR) + 592 \quad [Kg/cm^2]$$

$$(60\% \leq CBR \leq 80\%)$$

Subbase Granular:

$$M_R = -0{,}152\,(CBR)^2 + 22{,}44\,(CBR) + 512 \quad [Kg/cm^2]$$

$$(20\% \leq CBR \leq 40\%)$$

Subrasante:

$$M_R = 115{,}247\,(CBR)^{0{,}595} \quad [Kg/cm^2]$$

$$(2\% \leq CBR \leq 30\%)$$

Para el procesamiento de la información se deberán aplicar los criterios de sectorización, de acuerdo con lo señalado en la Guía de Diseño AASHTO del año 1993.

Cuando se hacen reemplazos o rellenos de suelos, el módulo resiliente de diseño puede obtenerse considerando que el módulo resiliente de una capa es dependiente del módulo de la capa subyacente, por lo cual se recomienda que cuando los suelos que conforman la subrasante tengan un CBR ≤ 7%, se incluya una capa superior de mejoramiento de un CBR >20% en el caso de vías tipo Pasajes, Locales y de Servicio, y un CBR > 15% en las vías tipo Colectoras, Troncales y Expresas.

Para establecer el módulo de una subrasante que incluye una capa de mejoramiento, se realiza con la siguiente relación, que se obtiene aplicando las relaciones bicapa desarrolladas por Odemark:

Módulo equivalente:

$$M_{Rd} = F * M_{RO}$$

Factor Módulo de Diseño:

$$\frac{1}{F} = \frac{0{,}125}{\left[0{,}0156 + h^2 * \left(\frac{M_{Ri}}{M_{RO}}\right)^{\frac{2}{3}}\right]^{1/2}} * \left(1 - \frac{M_{RO}}{M_{Ri}}\right) + \frac{M_{RO}}{M_{Ri}}$$

F : Factor Módulo de Diseño
M_{Rd} : Módulo resiliente de diseño (MPa)
M_{RO} : Módulo resiliente de la subrasante o capa de orden 0 (MPa)
M_{Ri} : Módulo resiliente de la capa de orden i (MPa)
h : Espesor de la capa de orden i (m)

15.2.4 CLIMA

El efecto de las aguas lluvias en el pavimento se representa por los coeficientes de drenaje (mi) con que se mayoran o minoran los coeficientes estructurales de base y subbase.

Este coeficiente permite ajustar el coeficiente estructural de las capas no tratadas, en función de las condiciones del drenaje del proyecto. Los valores recomendados se encuentran en Tabla 15.1.

TABLA 15.1
COEFICIENTES DE DRENAJE

mi	CASOS
1.0	Para zonas 1 y 2
0.9 – 0.8	En casos especiales de cualquier zona, como suelos muy finos y presencia de napa en la zona de influencia de transmisión de cargas (0 a 1[m]). Zona 3

15.2.5 SERVICIABILIDAD (P)

El pavimento se diseña para que preste servicio un determinado lapso de tiempo denominado “vida de diseño”, que corresponde al período durante el cual la serviciabilidad se mantiene dentro de ciertos límites, fijados por el diseñador.

El valor de serviciabilidad a considerar en vías urbanas para pavimentos flexibles es de 4,2 para la serviciabilidad inicial y para la serviciabilidad final, de 2,0 o 2,5, para vías de bajo y alto tránsito, respectivamente. Estos estados se miden con el índice de serviciabilidad presente (PSI); según se describe en tabla siguiente:

TABLA 15.2
ESCALA DE CALIFICACIÓN DE LA SERVICIABILIDAD, SEGÚN AASHTO

Calificación		DESCRIPCIÓN
Numérica	Verbal	
5.0 - 4.0	Muy buena	Solo los pavimentos nuevos (o casi nuevos) son lo suficientemente suaves y sin deterioro para clasificar en esta categoría. La mayor parte de los pavimentos construidos o recarpeteados durante el año de inspección normalmente se clasificarían como muy buenos.
4.0 - 3.0	Buena	Los pavimentos de esta categoría, si bien no son tan suaves como los "Muy buenos", entregan un manejo de primera clase y muestran muy poco o ningún signo de deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden estar comenzando a mostrar signos de ahuellamiento y fisuración aleatoria
3.0 - 2.0	Regular	En esta categoría la calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos, y puede presentar problemas para altas velocidades de tránsito. Los defectos superficiales en pavimentos flexibles pueden incluir ahuellamiento, parches y agrietamiento.
2.0 - 1.0	Mala	Los pavimentos en esta categoría se han deteriorado hasta un punto donde pueden afectar la velocidad de tránsito de flujo libre. los pavimentos flexibles pueden tener grandes baches y grietas profundas; el deterioro incluye pérdida de áridos, agrietamiento y ahuellamiento, y ocurre en un 50% o más de la superficie.
1.0 - 0.0	Muy Mala	Los pavimentos en esta categoría se encuentran en una situación de extremo deterioro. Solo se puede circular a velocidades reducidas y con considerables problemas de manejo. Existen grandes baches y grietas profundas. El deterioro ocurre en un 75% o más de la superficie.

15.2.6 CONFIABILIDAD (R)

El grado de confiabilidad en el diseño se asocia al valor que corresponde al nivel de confianza de la distribución normal (Zr). Las confiabilidades a considerar para cada vía son presentadas en la Tabla 15.3. Los Factores de Confiabilidad F_R se determinan a partir de la expresión:

$$F_R = 10^{-(Z_R * S_O)}$$

TABLA 15.3
CONFIABILIDADES DE DISEÑO

TIPO DE VÍA	CONFIABILIDAD R [%]	COEFICIENTE ESTADÍSTICO Z_R	FACTOR DE CONFIABILIDAD F_R
Expresas	80	-0,841	2,4
Troncales	75	-0,674	2,0
Colectoras	60	-0,253	1,3
Servicio, locales y Pasajes	50	0,000	1,0

Nota 1:
Valores de confiabilidad obtenidos directamente de Guía AASHTO 1993, Capítulo 2; Variables de Diseño, página II.9, Tabla 2.2, para el caso de vías urbanas de USA. Para el caso del diseño en vías de Servicio, Locales y Pasajes se recomienda que el encargado del diseño contraste los resultados obtenidos con otros métodos de diseño, debido a que la calibración de este método ha sido realizada para tránsitos mayores.

Nota 2:
Valores de confiabilidad indicados pueden ser aumentados por el proyectista en situaciones particulares que así lo requieran. Ej.: pavimentos de túneles o aquellos donde resulte costoso intervenir o realizar operaciones de conservación.

15.2.7 VARIABILIDAD (S_0)

Representada por la desviación normal de error combinado (S_0) de todos los parámetros que intervienen en el comportamiento del pavimento.

La guía de diseño AASHTO 93 recomienda utilizar S_0 = 0,45.

15.2.8 COEFICIENTES ESTRUCTURALES (ai)

Los coeficientes estructurales para cada capa dependen de las propiedades reales de los materiales que las constituyen. Para condiciones normales de diseño se deberán adoptar los valores indicados en la Tabla 15.4.

TABLA 15.4
COEFICIENTES ESTRUCTURALES

CAPAS ASFÁLTICAS		
Capa Estructural	Estabilidad [N]	Coeficiente ai
Carpeta de rodadura	14.000 - 12.000	0,44
	12.000 - 10.000	0,43 - 0,42
	10.000 - 8.000	0,41 - 0,40
Binder	9.000 - 7.000	0,39
Base Asfáltica	8.000 - 6.000	0,33
CAPAS GRANULARES		
Capa Estructural	CBR (%)	Coeficiente ai
Base Estabilizada	80 a 100	0,13
Sub-base granular	30 a 40	0,11

15.2.9 NÚMERO ESTRUCTURAL

Es el resultado que se obtiene al aplicar la fórmula, el cual entrega múltiples soluciones de espesor. El diseñador, de acuerdo con su experiencia, puede decidir cómo distribuye los espesores de las capas para superar o al menos igualar el número estructural entregado por la fórmula.

El número estructural se obtiene al resolver la ecuación y se distribuye asignando espesores a las distintas capas, efectuando la sumatoria de la multiplicación de este espesor (h) en mm por el coeficiente estructural (a_i) y el respectivo coeficiente de drenaje (m_i).

$$NE = \sum h_i * a_i * m_i$$

15.2.10 VERIFICACIÓN POR CAPAS

Se recomienda realizar este procedimiento a todos los diseños efectuados, según la Guía AASHTO 93, para una determinación idónea de los espesores de las capas de la estructura.

$$e_{asf} \geq NE_i / a_{asf}$$

$$NE_1^* = e_{asf} * a_{asf} \geq NE_1$$

$$e_{base} \geq \frac{NE_2 - NE_1^*}{(a_{base} * m_b)}$$

$$NE_2^* = e_{base} * a_{base} * m_b$$

$$NE_1^* + NE_2^* \geq NE_2$$

$$e_{subbase} \geq (NE_3 - (NE_1^* + NE_2^*))/(a_{subbase} * m_{sb})$$

NE_3 : Número estructural calculado a partir del módulo resiliente de la subrasante (cm)
NE_2 : Número estructural calculado a partir del módulo resiliente de la subbase (cm)
NE_1 : Número estructural calculado a partir del módulo resiliente de la base (cm)
NE_1* : Número estructural efectivo de mezcla asfáltica (cm)
NE_2* : Número estructural efectivo de base granular (cm)
e_{asf} : Espesor mezcla asfáltica
e_{base} : Espesor base granular
$e_{subbase}$: Espesor subbase granular
a_{asf} : Coeficiente estructural de mezcla asfáltica
a_{base} : Coeficiente estructural de base granular
$a_{subbase}$: Coeficiente estructural de subbase granular
m_b : Coeficiente de drenaje de base granular
m_{sb} : Coeficiente de drenaje de subbase granular

15.2.11 CONSIDERACIONES RELATIVAS AL MÉTODO DE DISEÑO AASHTO

En relación con el método AASHTO, se recomienda tener presente las siguientes consideraciones:

- Considerar que las ecuaciones AASHTO se obtienen en una prueba efectuada a fines de los años cincuenta en pistas de prueba ubicadas en Illinois, construidas muy cuidadosamente, pero con equipos y sistemas de medición de esa época.
- La pluviométrica y temperaturas a que estuvo sometido el pavimento fueron las del lugar.
- Los suelos que conformaron la subrasante fueron A-6 y A-7-6 (arcillas con pobre drenaje).
- Se emplearon cuatro tipos de bases: en experimento principal las bases fueron de origen calizo, en estudio especial, base silícea. Las otras bases en estudios especiales fueron tratadas con cemento y asfalto.
- Se usó solo un tipo de subbase granular, de grava arenosa.
- Solo empleó un tipo de mezcla asfáltica en carpeta de rodadura de tamaño ¾” y un tipo como binder de tamaño 1”.
- Al no incorporar propiedades fundamentales de los materiales se limitan las posibilidades de agregar nuevos materiales, es decir, se dificulta el desarrollo.

- Circularon, aproximadamente, 1.100.000 ejes equivalentes durante dos años (con cargas y presiones de neumáticos de la época, muy diferentes a las actuales). No es posible pensar que se pueda extrapolar a varios millones de ejes.
- El criterio de falla en AASHTO es Serviciabilidad, el cual tiene muy baja correlación con agrietamientos y deformaciones, que son las principales fallas en pavimentos flexibles.
- Recordando la prueba AASHTO, esta simula mejor un tránsito no interrumpido a velocidades uniformes y de características bastante diferentes al tránsito a que están sometidos los pavimentos urbanos.
- Para los pavimentos de vías de Servicio, Calles Locales y Pasajes, el problema no es serviciabilidad, sino deterioros a causa de cargas máximas. La prueba AASHTO no fue diseñada para ese tipo de tránsito y las estructuras a que se llega pueden ser más aptas para fallos por fatiga en capa asfáltica, al no tener ninguna consideración por eliminar los espesores intermedios, como se hace en España y otros países.
- El método de diseño AASHTO 93 se emplea en solo unos pocos estados americanos y en solo algunos países sudamericanos. No se emplea en Europa, Australia, Sudeste Asiático y en la mayoría de los países sudamericanos.

ART. 15.3 MÉTODO EMPÍRICO-MECANICISTA

15.3.1 GENERALIDADES

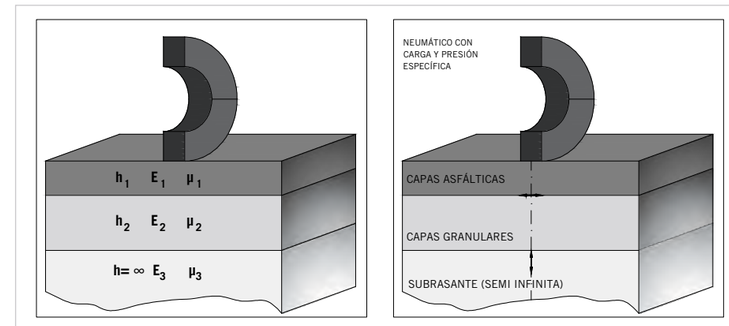
Los métodos empírico-mecanicistas se basan en propiedades mecánicas de los materiales relacionados con cargas, cuyo resultado es una respuesta del pavimento representada por esfuerzos y deformaciones unitarias; luego, a partir del valor máximo de la respuesta estructural en los puntos críticos de la estructura, se calcula el nivel de daño esperado en el período de diseño para los diferentes tipos de deterioros que se pudieran presentar. Los principales criterios para determinar los espesores necesarios para alcanzar la vida de diseño son:

- La deformación unitaria en compresión en la superficie de la subrasante. Esta controla la deformación permanente a nivel de la subrasante.
- Agrietamiento por fatiga en las capas asfálticas, el cual está controlado por la deformación unitaria en tensión horizontal, en la parte inferior de las capas asfálticas.
- La combinación de ambos criterios de fallas da origen a las cartillas de diseño presentes en el capítulo 15.5. del presente documento.
- Para condiciones normales de carga (cargas verticales en ruedas dobles), los valores máximos se encuentran en el eje vertical, bajo el centro del área de carga, o en el eje vertical de simetría, entre las dos áreas de carga. En algunos casos, cuando se tienen altas razones de módulos entre la base granular y la capa asfáltica, las deformaciones unitarias horizontales máximas en el asfalto no se encuentran en la parte inferior de las capas asfálticas, sino más arriba.

Los métodos empírico-mecanicistas utilizan las siguientes hipótesis de diseño:

- Sistema multicapa lineal elástico
- Material caracterizado por el Módulo de Elasticidad y relación de Poisson
- Materiales homogéneos isotrópicos
- Capas horizontalmente infinitas
- Subrasante verticalmente semi infinita
- Se considera que hay adherencia total entre capas

Los criterios de falla antes mencionados se aprecian en la siguiente figura:



Un método empírico-mecanicista puede utilizar como datos de entrada las características de los materiales que permitan diferenciar cuando se introducen materiales nuevos, además de representar los efectos del clima de la región donde se usen.

En adelante se desarrolla la metodología de diseño a partir del Método SHELL de diseño de pavimentos (SHELL Pavement Design Method, SPDM). El diseñador podrá ocupar directamente los softwares respectivos de dicho método o bien, las ecuaciones y gráficos que se presentan en los artículos siguientes.

15.3.2 CRITERIOS DE DISEÑO

Los pavimentos se diseñan para entregar una superficie resistente, suave, segura y confortable a los usuarios de ella.

El objetivo del diseño mecanicista es dar una estructura al pavimento, de manera que su desempeño sea el previsto, controlando los deterioros que afectan estructuralmente el desempeño de los pavimentos.

Los principales deterioros estructurales que tienen los pavimentos se relacionan con las dimensiones de la estructura de un pavimento flexible y son la deformación por compresión en la subrasante y el agrietamiento por fatiga en capas asfálticas.

Si un pavimento se encuentra con su estructura dimensionada en forma adecuada, con materiales apropiados, construido con técnicas correctas, tiene necesariamente una buena serviciabilidad. En consecuencia, el criterio de diseño es controlar los deterioros estructurales para dimensionar el pavimento, dando la posibilidad de modificar e incorporar nuevos materiales por medio de su caracterización, a través de sus propiedades mecánicas fundamentales (se incorporan módulos elásticos).

15.3.2.1 DEFORMACIÓN EN LA SUBRASANTE

El procedimiento de diseño se basa en un determinado criterio de deformación unitaria por compresión sobre la subrasante (ε_3) y su relación entre el número de repeticiones de carga (N), causada por una carga de diseño estándar. Dependiendo del grado de seguridad requerido para la vía, es su nivel de confiabilidad. Las relaciones para los distintos casos (Shell) son:

$N = 6{,}15 * 10^{-7} * \varepsilon_3^{-4}$	50% de confiabilidad
$N = 1{,}94 * 10^{-7} * \varepsilon_3^{-4}$	85% de confiabilidad
$N = 1{,}05 * 10^{-7} * \varepsilon_3^{-4}$	95% de confiabilidad

ε_3: Deformación unitaria por compresión de la parte superior de la subrasante
N: Número de repeticiones de carga

15.3.2.2 FATIGA EN CAPAS ASFÁLTICAS

El criterio por fatiga de las capas de asfalto, se basa en la determinación de la deformación unitaria permisible, en función del número de repeticiones de carga y el módulo del asfalto. El Método SHELL utiliza el concepto de energía disipada, que asume que la energía total disipada en el proceso de fatiga está en función del número de repeticiones de carga necesarias para alcanzar la vida de diseño. La expresión desarrollada por SHELL que determina el número de repeticiones permisibles bajo este criterio es:

$$N_f = 0{,}0685 * \varepsilon_t^{-5{,}671} * \left|E^*\right|^{-2{,}363}$$

N_f: Número de repeticiones de carga
E^*: Módulo dinámico de la mezcla asfáltica
ε_t: Deformación unitaria por tracción en la parte más baja de la mezcla asfáltica

En caso de incorporación o desarrollo de nuevas tecnologías o materiales, se podrán actualizar las antes mencionadas Leyes de Fatiga.

15.3.3 DATOS DE ENTRADA

15.3.3.1 DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO DE DISEÑO

El espectro de ejes de carga estimado a ser usado en el pavimento durante la vida de diseño, se convierte en un número de ejes simples de carga estándar de 80 kN, con una presión de contacto de 600 KPa, distribuida uniformemente en un área circular, que es función de la carga y la presión de inflado de los neumáticos, supuestamente igual a la presión de contacto.

15.3.3.2 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

15.3.3.2.1 SUBRASANTE

La subrasante se caracteriza por el módulo resiliente obtenido a partir de correlaciones con el CBR. En este caso se emplean las relaciones determinadas por el Transport and Road Research Laboratory (TRRL), ya que las ecuaciones originales de AASHTO corresponden a suelos muy malos y no representan los suelos nuestros.

$$M_R\,(\text{MPa}) = 17{,}6 * \text{CBR}^{0{,}64} \quad \text{Para CBR} < 12\%$$

$$M_R\,(\text{MPa}) = 22{,}1 * \text{CBR}^{0{,}55} \quad \text{Para } 12\% \leq \text{CBR} < 80\%$$

15.3.3.2.2 CAPAS GRANULARES

Es posible caracterizar las capas granulares utilizando la relación desarrollada por SHELL:

$$E_2 = k_2 * E_3$$

Donde:
$k_2 = 0{,}2 * h_2^{0{,}45}$, con h_2 en mm, con límites $2 < k_2 < 4$.
E_2: Módulo capas granulares
E_3: Módulo subrasante
h_2: Espesor capas granulares

15.3.3.2.3 MÓDULO DINÁMICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

El módulo dinámico de una mezcla asfáltica es un parámetro de gran importancia, que determina la capacidad de un material para resistir la deformación cuando este se encuentra sujeto a carga y descargas cíclicas en compresión. Este depende de las condiciones que presenta el pavimento en terreno, clima, frecuencia de carga y de las características específicas de la mezcla, tales como la rigidez del ligante, graduación del agregado, contenido de ligante y vacíos de aire.

El modelo de predicción utilizado corresponde a la ecuación de Witczak, el cual permite predecir un valor para el módulo dinámico a partir de las propiedades volumétricas de la mezcla, granulometría de esta, viscosidad del ligante y frecuencia de carga. Se emplea este modelo en vez del de SHELL, ya que, para llegar a este, se emplearon más de 2.700 muestras, similares a las muestras empleadas por SHELL.

La ecuación desarrollada por Witczak, Mirza y Andrei en 1999 es la siguiente:

$$\text{LogE}^* = 3{,}750063 + 0{,}02932\rho_{200} - 0{,}001767(\rho_{200})^2 - 0{,}002841\rho_4 - 0{,}058097V_a$$
$$- 0{,}802208\left[\frac{V_{eff}}{V_{eff} + V_a}\right] + \frac{3{,}871977 - 0{,}0021\rho_4 + 0{,}003958\rho_{38} - 0{,}000017(\rho_{38})^2 + 0{,}005470\rho_{34}}{1 + e^{(-0{,}603313 - 0{,}313351\log(f) - 0{,}393532\log(\eta))}}$$

Donde:
E^* = Módulo dinámico de la mezcla asfáltica [psi]
η = Viscosidad del asfalto [10^6 Poise]
f = Frecuencia de carga [Hz]
ρ_{200} = % que pasa por la malla #200 (0,075 mm)
ρ_4 = % acumulado retenido en la malla #4 (4,76 mm)
ρ_{38} = % acumulado retenido en la malla 3/8 in (9,5 mm)

ART. 15.4 ZONIFICACIÓN TERRITORIAL

Debido a la dependencia del diseño estructural de pavimentos asfálticos con la temperatura y a la gran gama de climas existentes en el territorio nacional, se incorpora la zonificación territorial según condiciones climáticas para el país, basado en el comportamiento de las mezclas asfálticas ante distintas temperaturas, considerando en el estudio solo vías urbanas.

La zonificación territorial del país considera la Temperatura Media del Aire para distintos sectores del territorio, de acuerdo con la metodología SHELL.

A través de un estudio de las localidades del país, se establece una subdivisión del territorio en tres zonas geográficas, denominadas Zona 1, Zona 2 y Zona 3.

La Tabla 15.5. muestra, para varias localidades a lo largo del país, la temperatura media ponderada del aire; de acuerdo a su respectiva zona.

TABLA 15.5
TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE Y ZONIFICACIÓN PARA ESTACIONES METEOROLÓGICAS DEL PAÍS.

ESTACIÓN METEREOLÓGICA	ZONA	T° MEDIA PONDERADA DEL AIRE[°C]
ARICA - CHACALLUTA	1	19.0
IQUIQUE - DIEGO ARACENA	1	18.2
ANTOFAGASTA - CERRO MORENO	1	16.8
ISLA DE PASCUA	1	20.8
COPIAPÓ - CHAMONATE	1	15.8
VALLENAR - AERÓDROMO	1	15.3
SANTIAGO - PUDAHUEL	1	14.9
SANTIAGO - QUINTA NORMAL	1	15.7
SANTIAGO - LOS CERRILLOS	1	15.4
ISLA JUAN FERNÁNDEZ	1	15.6
CALAMA - EL LOA	2	12.5
LA SERENA - LA FLORIDA	2	13.9
QUINTERO	2	13.5
VALPARAÍSO - PUNTA ÁNGELES	2	14.3
SEWELL	2	11.4
PARRÓN	2	13.8
CURICÓ - GRAL. FREIRE	2	14.4
CHILLÁN - GRAL. B. O'HIGGINS	2	13.8
CONCEPCIÓN - CARRIEL SUR	2	12.6
TEMUCO - MANQUEHUE	2	11.8
VALDIVIA - PICHOI	2	11.7
OSORNO - CAÑAL BAJO	2	11.1
PUERTO MONTT - EL TEPUAL	2	10.6
PUERTO AYSÉN - AERÓDROMO	3	9.7
COYHAIQUE - TTE. VIDAL	3	9.1
BALMACEDA - AEROPUERTO	3	7.4
CHILE CHICO - AERÓDROMO	3	10.4

TABLA 15.5 (continuación)
TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE Y ZONIFICACIÓN PARA ESTACIONES METEOROLÓGICAS DEL PAÍS.

ESTACIÓN METEREOLÓGICA	ZONA	T° MEDIA PONDERADA DEL AIRE[°C]
COCHRANE - AERÓDROMO	3	8.9
PUNTA ARENAS - CARLOS IBÁÑEZ	3	6.6
ISLA DIEGO RAMÍREZ	3	5.3
PROMEDIOS		T° Media Ponderada del Aire
ZONA 1		17
ZONA 2		13
ZONA 3		8

ART. 15.5 CARTILLAS DE DISEÑO

15.5.1 DISEÑO DE PASAJES, CALLES LOCALES Y DE SERVICIO

El diseño en el caso de vías de tránsitos menores a un millón de ejes equivalentes, se basa en la determinación racional de la deformación unitaria en compresión, en la superficie de la subrasante y la deformación unitaria en tensión horizontal, en la capa de asfalto, bajo una carga máxima admisible. Los criterios de falla son presentados en las Tablas 15.6 y 15.7, los cuales representan un número aceptable de repeticiones de un eje de 123 kN, para deformación máxima admisible en subrasante y bajo capa asfáltica.

TABLA 15.6
DEFORMACIONES MÁXIMAS A COMPRESIÓN ADMISIBLE

VÍA	DEF. VERTICAL ADMISIBLE [USTRAIN]
De Servicio	900
Local	1200
Pasaje	1500

TABLA 15.7
DEFORMACIÓN MÁXIMA A TRACCIÓN ADMISIBLE

VÍA	DEF. HORIZONTAL ADMISIBLE [USTRAIN]
De Servicio	400
Local	400
Pasaje	400

Esta metodología es incorporada en Cartillas de diseño para Pasajes, Calles Locales y de Servicio.

TABLA 15.8
CARTILLAS DE DISEÑO PARA VÍAS DE SERVICIO, LOCALES Y PASAJES, CON BASE Y SUBBASE NO ESTABILIZADAS

TIPO DE VÍA	TRÁNSITO	CAPA	MÓDULO DINÁMICO [MPA]	ESTABILIDAD MARSHALL [N]	CBR CAPA [%]	CBR SUBRASANTE [%]				
						= < 3	4 a 7	8 a 12	13 a 20	> 20
PASAJES	< 50.000 EE	Carpeta Asfáltica	4800 - 1200	Mínimo: 6000		40	40	40	40	40
		Base Granular			CBR ≥100	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			CBR >20	150	150	150	150	------
		Mejoramiento			CBR >20	350	200	----	----	----
CALLES LOCALES	< 20.000 EE	Carpeta Asfáltica	4800 - 1200	Mínimo: 6000		40	40	40	40	40
		Base Granular			CBR > 100	150	150	150	150	200
		Sub-base Granular			CBR > 20	150	150	200	150	---
		Mejoramiento			CBR > 20	350	200	---	---	---
CALLES DE SERVICIO	< 1.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	8700 - 3200	Mínimo: 9000		50	50	50	50	50
		Binder	8000 - 3200	Mínimo: 8000		50	50	50	50	50
		Base Granular			CBR > 80	150	150	150	150	200
		Sub-base Granular			CBR > 20	150	150	200	150	---
		Mejoramiento			CBR > 20	350	200	---	---	---

Notas:
- Espesores expresados en mm.
- El mejoramiento de suelos considera el uso de geotextiles para evitar la contaminación de las capas granulares. Como alternativa al uso de geotextiles, se puede aumentar el espesor del mejoramiento en 150 mm.
- En caso de existir napa de agua subterránea, el proyectista puede proponer los diseños constructivos adicionales que estime conveniente.
- En casos de suelos expansivos, en el mejoramiento del terreno el proyectista puede proponer los diseños constructivos adicionales que estime conveniente.
- El rango de valores del módulo dinámico de las mezclas asfálticas corresponde al máximo para la zona 1 y mínimo en la zona 3.

TABLA 15.9
CARTILLA DE DISEÑO PARA VÍAS LOCALES Y PASAJES, CON BASE Y SUBBASE ESTABILIZADAS (CON CEMENTO O QUÍMICAMENTE)

TIPO DE VÍA	TRÁNSITO	CAPA	CBR SUBRASANTE [%]					
			= < 3	4 a 7	8 a 12	13 a 16	17 a 20	> 20
PASAJES	< 50.000 EE	Carpeta Asfáltica	40	40	40	40	40	40
		Base Granular	450	350	300	300	150	150
CALLES LOCALES	< 20.000 EE	Carpeta Asfáltica	40	40	40	40	40	40
		Base Granular	550	350	300	300	150	150

Notas:
- Espesores expresados en mm.
- Base estabilizada: Corresponde a material compactado, al 95% de la densidad máxima compactada seca (D.M.C.S.) en estado natural, que al ser estabilizado se obtiene una resistencia a la compresión no confinada a los 7 días ≥ 25 kg/cm^2.
- Por cada 200 m^3 de base estabilizada se toman 6 muestras para ensayar a compresión no confinada, según la norma ASTM D4609-86 y D2166.

- En caso de existir napa de agua subterránea, el proyectista puede adoptar los diseños constructivos adicionales que estime convenientes.
- En casos de suelos expansivos, en el mejoramiento del terreno, el proyectista puede adoptar los diseños constructivos adicionales que estime convenientes.

15.5.2 DISEÑO DE VÍAS COLECTORAS, TRONCALES Y EXPRESAS

Con el fin de simplificar y estandarizar los diseños, se proponen Cartillas, las cuales indican los espesores de las capas según la capacidad de soporte del suelo, zona climática, clase de vía y volumen de tránsito.

Los diseños son realizados en base a la metodología empírico-mecanicista SHELL, con niveles de confianza de 85% para vías Colectoras y Troncales, y de un 95% para vías Expresas.

En base a lo descrito anteriormente, se presentan las Cartillas de diseño propuestas para vías Colectoras, Troncales y Expresas, dependientes de la zona climática.

Cartillas de diseño propuestas

A continuación, se presentan las Cartillas propuestas para las zonas climáticas definidas previamente:

VÍAS ALTO VOLUMEN TRÁNSITO ZONA 1										
TIPO DE VÍA	TRÁNSITO	CAPA	MÓDULO DINÁMICO [MPA]	ESTABILIDAD MARSHALL [N]	CBR CAPA [%]	CBR SUBRASANTE [%]				
						= < 3	4 a 7	8 a 12	13 a 20	> 20
Colectora	< 4.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	4700 - 4300	Mínimo: 12000		80	80	80	70	60
		Binder	4500 - 4200	Mínimo: 10000		80	80	80	80	70
		Base Granular			CBR > = 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<= CBR <=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>=15	450	250			
Troncal	< 11.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	5000 - 4300	Mínimo: 12000		90	90	90	80	80
		Binder	4800 -4200	Mínimo: 10000		100	100	100	90	80
		Base Granular			CBR > = 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<= CBR <=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>=15	450	250			
Expresa	< 20.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	5300 - 4700	Mínimo: 12000		100	100	100	100	90
		Binder	5100 - 4500	Mínimo: 10000		110	110	110	100	100
		Base Granular			CBR > = 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<= CBR <=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>=15	450	250			

VÍAS MEDIO VOLUMEN TRÁNSITO ZONA 1										
TIPO DE VÍA	TRÁNSITO	CAPA	MÓDULO DINÁMICO [MPA]	ESTABILIDAD MARSHALL [N]	CBR CAPA [%]	CBR SUBRASANTE [%]				
						= < 3	4 a 7	8 a 12	13 a 20	> 20
Colectora	< 3.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	4700 - 4300	Mínimo: 12000		70	70	70	70	60
		Binder		Mínimo: 10000		80	80	80	70	70
		Base Granular			CBR > = 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<= CBR <=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>=15	450	250			
Troncal	< 8.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	5000 - 4300	Mínimo: 12000		90	90	90	80	70
		Binder	4800 - 4200	Mínimo: 10000		90	90	90	80	80
		Base Granular			CBR > = 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<= CBR <=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>=15	450	250			
Expresa	< 15.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	5300 - 4700	Mínimo: 12000		100	100	100	90	90
		Binder	5100 - 4500	Mínimo: 10000		100	100	100	100	90
		Base Granular			CBR > = 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<= CBR <=50	150	150			
		Mejoramiento			CBR>=15	450	250			

VÍAS BAJO VOLUMEN TRÁNSITO ZONA 1										
TIPO DE VÍA	TRÁNSITO	CAPA	MÓDULO DINÁMICO [MPA]	ESTABILIDAD MARSHALL [N]	CBR CAPA [%]	CBR SUBRASANTE [%]				
						= < 3	4 a 7	8 a 12	13 a 20	> 20
Colectora	< 2.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	4700 - 4300	Mínimo: 12000		70	70	70	60	60
		Binder	4500 - 4200	Mínimo: 10000		70	70	70	70	60
		Base Granular			CBR > = 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<= CBR <=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>=15	450	250			
Troncal	< 8.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	5000 - 4300	Mínimo: 12000		80	80	80	80	70
		Binder	4800 - 4200	Mínimo: 10000		90	90	90	90	70
		Base Granular			CBR > = 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<= CBR <=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>=15	450	250			
Expresa	< 10.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	5300 - 4700	Mínimo: 12000		90	90	90	90	80
		Binder	5100 - 4500	Mínimo: 10000		100	100	100	90	90
		Base Granular			CBR > = 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<= CBR <=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>=15	450	250			

VÍAS ALTO VOLUMEN TRÁNSITO ZONA 2										
TIPO DE VÍA	TRÁNSITO	CAPA	MÓDULO DINÁMICO [MPA]	ESTABILIDAD MARSHALL [N]	CBR CAPA [%]	CBR SUBRASANTE [%]				
						= < 3	4 a 7	8 a 12	13 a 20	> 20
Colectora	< 4.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	6600 - 6200	Mínimo: 12000		70	70	70	70	60
		Binder	6300 - 5900	Mínimo: 10000		80	80	70	70	70
		Base Granular			CBR > = 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<= CBR <=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>=15	450	250			
Troncal	< 11.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	6900 - 6200	Mínimo: 12000		80	80	80	80	70
		Binder	6600 - 5900	Mínimo: 10000		90	90	90	80	80
		Base Granular			CBR > = 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<= CBR <=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>=15	450	250			
Expresa	< 20.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	7400 - 6600	Mínimo: 12000		90	90	90	90	80
		Binder	7000 - 6300	Mínimo: 10000		100	100	100	90	90
		Base Granular			CBR > = 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<= CBR <=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>=15	450	250			

VÍAS MEDIO VOLUMEN TRÁNSITO ZONA 2

TIPO DE VÍA	TRÁNSITO	CAPA	MÓDULO DINÁMICO [MPA]	ESTABILIDAD MARSHALL [N]	CBR CAPA [%]	CBR SUBRASANTE [%]				
						= < 3	4 a 7	8 a 12	13 a 20	> 20
Colectora	< 3.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	6600 - 6200	Mínimo: 12000		70	70	70	60	60
		Binder	6300 - 5900	Mínimo: 10000		70	70	70	70	60
		Base Granular			CBR > = 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<= CBR <=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>=15	450	250			
Troncal	< 8.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	6900 - 6200	Mínimo: 12000		80	80	80	70	70
		Binder	6600 - 5900	Mínimo: 10000		80	80	80	80	70
		Base Granular			CBR > = 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<= CBR <=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>=15	450	250			
Expresa	< 15.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	7400 - 6600	Mínimo: 12000		90	90	90	80	80
		Binder	7000 - 6300	Mínimo: 10000		90	90	90	90	80
		Base Granular			CBR > = 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<= CBR <=50	150	150			
		Mejoramiento			CBR>=15	450	250			

VÍAS BAJO VOLUMEN TRÁNSITO ZONA 2

TIPO DE VÍA	TRÁNSITO	CAPA	MÓDULO DINÁMICO [MPA]	ESTABILIDAD MARSHALL [N]	CBR CAPA [%]	CBR SUBRASANTE [%]				
						= < 3	4 a 7	8 a 12	13 a 20	> 20
Colectora	< 2.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	6600 - 6200	Mínimo: 12000		60	60	60	60	50
		Binder	6300 - 5900	Mínimo: 10000		70	70	70	60	60
		Base Granular			CBR > = 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<= CBR <=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>=15	450	250			
Troncal	< 5.500.000 EE	Carpeta Asfáltica	6900 - 6200	Mínimo: 12000		70	70	70	70	60
		Binder	6600 - 5900	Mínimo: 10000		80	80	80	70	70
		Base Granular			CBR > = 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<= CBR <=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>=15	450	250			
Expresa	< 10.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	7400 - 6600	Mínimo: 12000		80	80	80	80	70
		Binder	7000 - 6300	Mínimo: 10000		90	90	90	80	80
		Base Granular			CBR > = 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<= CBR <=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>=15	450	250			

VÍAS ALTO VOLUMEN TRÁNSITO ZONA 3

TIPO DE VÍA	TRÁNSITO	CAPA	MÓDULO DINÁMICO [MPA]	ESTABILIDAD MARSHALL [N]	CBR CAPA [%]	CBR SUBRASANTE [%]				
						= < 3	4 a 7	8 a 12	13 a 20	> 20
Colectora	< 4.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	9100 - 8700	Mínimo: 12000		70	70	70	60	60
		Binder	8500 - 8000	Mínimo: 10000		70	70	70	70	60
		Base Granular			CBR > = 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<= CBR <=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>=15	450	250			
Troncal	< 5.500.000 EE	Carpeta Asfáltica	9500 - 8700	Mínimo: 12000		80	80	80	70	70
		Binder	8800 - 8000	Mínimo: 10000		80	80	80	80	70
		Base Granular			CBR > = 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<= CBR <=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>=15	450	250			
Expresa	< 20.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	10000 - 9100	Mínimo: 12000		90	90	90	80	80
		Binder	9200 - 8500	Mínimo: 10000		90	90	90	90	80
		Base Granular			CBR > = 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<= CBR <=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>=15	450	250			

VÍAS MEDIO VOLUMEN TRÁNSITO ZONA 3

TIPO DE VÍA	TRÁNSITO	CAPA	MÓDULO DINÁMICO [MPA]	ESTABILIDAD MARSHALL [N]	CBR CAPA [%]	CBR SUBRASANTE [%]				
						= < 3	4 a 7	8 a 12	13 a 20	> 20
Colectora	< 3.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	9100 - 8700	Mínimo: 12000		60	60	60	60	50
		Binder	8500 - 8000	Mínimo: 10000		70	70	70	60	60
		Base Granular			CBR > = 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<= CBR <=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>=15	450	250			
Troncal	< 8.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	9500 - 8700	Mínimo: 12000		70	70	70	70	60
		Binder	8800 - 8000	Mínimo: 10000		80	80	80	70	70
		Base Granular			CBR > = 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<= CBR <=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>=15	450	250			
Expresa	< 15.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	10000 - 9100	Mínimo: 12000		80	80	80	80	80
		Binder	9200 - 8500	Mínimo: 10000		90	90	90	80	80
		Base Granular			CBR > = 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<= CBR <=50	150	150			
		Mejoramiento			CBR>=15	450	250			

VÍAS BAJO VOLUMEN TRÁNSITO ZONA 3

TIPO DE VÍA	TRÁNSITO	CAPA	MÓDULO DINÁMICO [MPA]	ESTABILIDAD MARSHALL [N]	CBR CAPA [%]	CBR SUBRASANTE [%]				
						= < 3	4 a 7	8 a 12	13 a 20	> 20
Colectora	< 2.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	9100 - 8700	Mínimo: 12000		60	60	60	50	50
		Binder	8500 - 8000	Mínimo: 10000		60	60	60	60	50
		Base Granular			CBR > = 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<= CBR <=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>=15	450	250			
Troncal	< 5.500.000 EE	Carpeta Asfáltica	9500 - 8700	Mínimo: 12000		70	70	70	60	60
		Binder	8800 - 8000	Mínimo: 10000		70	70	70	70	60
		Base Granular			CBR > = 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<= CBR <=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>=15	450	250			
Expresa	< 10.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	10000 - 9100	Mínimo: 12000		80	80	80	70	70
		Binder	9200 - 8500	Mínimo: 10000		80	80	80	80	80
		Base Granular			CBR > = 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<= CBR <=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>=15	450	250			

NOTAS:

- Espesores expresados en mm.
- El mejoramiento de suelos considera el uso de geotextiles para evitar "la contaminación de las capas granulares. Como alternativa al uso de geotextiles, se puede aumentar el espesor aumentar el espesor de mejoramiento en 150 mm.
- En caso de existir napa de agua subterránea, el proyectista puede proponer los diseños constructivos adicionales que estime conveniente.
- En casos de suelos expansivos, en el mejoramiento del terreno el proyectista puede proponer los diseños constructivos adicionales que estime conveniente.
- El rango de valores del módulo dinámico de las mezclas asfálticas, corresponde al máximo y mínimo para cada zona.
- En el caso de vías Troncales y Expresas, se recomienda la utilización de asfaltos modificados con elastómero SBS.

15.5.3 INSTRUCCIONES PARA EMPLEO DE CARTILLAS DE DISEÑO

Para la correcta utilización de estas Cartillas, se recomienda seguir los siguientes pasos:

A. Clasificar la vía a diseñar según: Pasaje, Local, de Servicio, Colectora, Troncal o Expresa

B. De acuerdo a la clasificación anterior se distinguen tres alternativas:

B.1. Vías tipo Pasajes, Locales y de Servicio:

De acuerdo a la cantidad de ejes equivalentes solicitantes y al CBR de la subrasante, ingresar en la Tabla 15.8 para base y subbase no estabilizadas químicamente, o en la Tabla 15.9 para base y subbase estabilizadas químicamente (solo para pasajes y vías locales). A partir de la tabla escogida, se sugiere adoptar los espesores de diseño correspondientes para cada una de las capas que conforman el pavimento.

B.2. Vías Colectoras, Troncales, Expresas:

1. Ubicar localidad en una zona climática, según Tabla 15.5.
2. A partir de la clasificación realizada en (1) y basándose en las características de tráfico de la localidad, categorizar la vía (Colectora, Troncal o Expresa) según el volumen de tránsito (alto, medio o bajo).
3. Adoptar el diseño según el CBR de la subrasante, a partir de la tabla correspondiente a la zona climática escogida (tablas presentadas en los artículos: A 115.5.2.1, 15.5.2.2 y 15.5.2.3).

BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO Guide for Design of Pavements Structures 1993, American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Shell Pavement Design Method (SPDM), Shell International Petroleum Company.
- Pavement Analysis and Design, Second Edition, Yang H. Huang, University of Kentucky.

SECCIÓN 16

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO Y CAPAS DE PROTECCIÓN ASFÁLTICAS

SECCIÓN 16

SECCIÓN 16

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO Y CAPAS DE PROTECCIÓN ASFÁLTICAS

ART. 16.1 CONCEPTOS GENERALES

El proceso de diseño de mezclas asfálticas consiste, básicamente, en determinar las cantidades adecuadas en que deben combinarse las distintas fracciones de agregado, ligante asfáltico y, cuando fuere necesario, filler y aditivos, a fin de obtener la mezcla asfáltica requerida por las respectivas especificaciones. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el desempeño de la misma como parte del pavimento.

El proceso antes descrito es la forma de llevar a la práctica los distintos tipos de mezclas y/o capas de protección, definidos en Sección 5, a partir de su respectiva especificación. Esto se logra mediante los respectivos métodos de diseño, que rigen cada tipo de aplicación y que son referidos en la presente Sección.

Una mezcla asfáltica está constituida, fundamentalmente, por material pétreo convenientemente recubierto con una película de asfalto y luego sometida a un proceso de compactación, que hace que esta mezcla tenga propiedades resistentes al desgaste producido por los vehículos y, a su vez, pueda traspasar la solicitación de sus cargas hacia las capas inferiores, absorbiendo una cantidad apreciable de esta, para lo cual el agregado pétreo debe encontrarse recubierto con un espesor de película de asfalto conveniente para someterla al proceso de compactación sin ser alterada.

El espesor de película de asfalto, que recubre el agregado pétreo, es uno de los factores importantes que regula el comportamiento de las mezclas.

El aporte de material pétreo a la resistencia de una mezcla asfáltica lo efectúa a través de su fricción y esta, a su vez, es función del tamaño del árido y de la rugosidad de sus caras. También es importante considerar en el diseño de una mezcla, su trabajabilidad e impermeabilidad.

Una mezcla convencional deberá ser impermeable al paso del agua hacia las capas inferiores y, de esta forma, evitar que dichas capas pierdan capacidad de soporte, al verse afectadas y dañadas por la humedad.

También es importante que la mezcla sea diseñada de manera que pueda ser colocada con facilidad, evitando segregaciones de esta, es decir, debe tener una buena trabajabilidad.

ART. 16.2 OBJETIVOS DEL DISEÑO DE MEZCLAS

La finalidad del diseño es obtener una mezcla asfáltica en la que sus componentes se combinen en proporciones óptimas, atendiendo a lo indicado en el proyecto y sus especificaciones técnicas. La metodología del diseño comprende las siguientes etapas:

a. Estudio de las características físicas y químicas de los agregados pétreos, como constituyentes de la mezcla asfáltica o capa de protección.

b. Estudio de una combinación de agregados que cumpla los requisitos establecidos para la mezcla o capa de protección.

c. Cálculo de la dosificación más conveniente de agregados pétreos, filler, en caso de ser necesario y ligante asfáltico.

d. Ensayes de laboratorio a muestras de mezclas elaboradas con la dosificación del proyecto y empleando diferentes proporciones de asfalto, a fin de obtener valores de la densidad, contenido de vacíos, resistencia a la deformación y estabilidad de la mezcla asfáltica.

e. Determinación de la proporción óptima del ligante asfáltico, ya sea cemento asfáltico o emulsión asfáltica, según corresponda.

ART. 16.3 AGREGADOS PÉTREOS

Si se considera que un pavimento de asfalto está, por lo general, sometido a un tránsito de bastante intensidad, los agregados pétreos empleados en su elaboración deberán ser tenaces y contar con una alta resistencia a la compresión y al desgaste, debiendo cumplir lo indicado en la Sección 5 del presente código, según sea el tipo de mezcla.

Algunos de los aspectos importantes que deberán cumplir los agregados pétreos utilizados en las mezclas son:

- Granulometría
- Resistencia al Desgaste
- Solidez
- Limpieza y Pureza
- Rozamiento Interno
- Propiedades Granulométricas, Superficiales y de Adherencia

ART. 16.4 FILLER

El filler o material "llenador de vacíos", cuando se requiera, deberá cumplir todos los requisitos indicados en la Sección 5 del presente Código.

ART. 16.5 CEMENTO ASFÁLTICO O EMULSIONES

Estos materiales deberán cumplir con las especificaciones indicadas en la Sección 5 del presente Código, según sea el tipo de mezcla o capa de protección.

Entre las propiedades a verificar al par árido-asfalto se contemplan:

a. Adherencia: Que exista buena adherencia entre los agregados pétreos y el ligante asfáltico. Su objetivo es prevenir eventual desprendimiento de la película de asfalto que cubre el agregado, en presencia de humedad, lo cual produciría deterioro prematuro en la mezcla. Para este efecto puede efectuarse el ensaye de adherencia para la mezcla total, mediante el ensaye de Estabilidad Remanente, según la norma AASHTO T-165.

b. Afinidad: Cuando se empleen emulsiones, es conveniente verificar la afinidad agregado-residuo asfáltico. Se recomienda emplear procedimientos AASHTO, Riedel y Weber y de hervido de Texas.

ART. 16.6 CRITERIO DE DISEÑO Y PROPIEDADES

El diseño tiene por objeto obtener los parámetros para que una mezcla cumpla satisfactoriamente con las solicitaciones, tanto de tránsito como de clima, durante su vida útil.

Las mezclas asfálticas presentarán propiedades que las hagan aptas para su uso en pavimentos, además de las propiedades que separadamente, deberá cumplir cada uno de sus componentes.

Las propiedades que caracterizan a las mezclas asfálticas se reflejan en los valores de los parámetros representativos, que se determinan de acuerdo a los métodos de ensaye, especialmente destinados a tal objeto.

Para su determinación, se recomienda obtener y considerar los siguientes parámetros:

- Estabilidad (propiedad estructural).
- Durabilidad (propiedad de construcción y servicio).
- Impermeabilidad (propiedad de construcción y servicio).
- Trabajabilidad (propiedad de construcción y servicio).
- Flexibilidad (propiedad estructural).
- Resistencia a la fatiga (propiedad estructural).
- Resistencia al deslizamiento (propiedad funcional).

Estabilidad
En mezclas de concreto asfáltico, la estabilidad es una medida de su resistencia y su valor se obtiene mediante un ensayo que mide la resistencia a la compresión de una probeta semi-confinada. Este concepto y su ensayo son descritos en el respectivo método de diseño.

La estabilidad de una mezcla es su capacidad para resistir el desplazamiento y la deformación bajo la acción de las cargas del tránsito. Una mezcla asfáltica como parte de un pavimento estable, es capaz de mantener su forma y rugosidad bajo cargas repetidas. Una mezcla inestable desarrolla ahuellamientos (deformaciones longitudinales bajo las zonas de circulación de ruedas), ondulaciones (corrugación) y otras deformaciones que indican cambios en la mezcla.

La estabilidad de una mezcla depende de la trabazón, fricción y de la cohesión interna. La trabazón y fricción interna dependen de las características del agregado, tales como forma y textura superficial. La cohesión interna resulta de la capacidad ligante del asfalto.

Mientras más angular y con tendencia cúbica sea la forma de las partículas del agregado y más áspera sea la textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla.

Durabilidad
La durabilidad de una mezcla asfáltica puesta en servicio, es su capacidad para resistir en el tiempo, daños tales como: desintegración de la mezcla, desprendimiento del agregado, cambios en las propiedades del asfalto (polimerización y oxidación) y separación de la película de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito o una combinación de ambos.

La durabilidad de una mezcla es el resultado de la mejor combinación entre contenido de asfalto, graduación de la combinación de agregados y su grado de compactación.

Impermeabilidad
La impermeabilidad de una mezcla es la resistencia al paso del aire y agua hacia su interior. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada.

El grado de impermeabilidad está determinado por el porcentaje de vacíos presentes en la mezcla, su tamaño y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento.

Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en pavimentos tienen algún grado de permeabilidad. Esto es aceptable siempre y cuando la permeabilidad esté dentro de los límites especificados.

Trabajabilidad
La trabajabilidad se define como la facilidad con que una mezcla asfáltica puede ser colocada y compactada. La trabajabilidad depende, entre otros parámetros, del diseño de la mezcla, del tipo y forma del agregado y/o de su granulometría. Las características del ligante asfáltico son otro factor de influencia.

Flexibilidad
Flexibilidad es la capacidad de una mezcla asfáltica para acomodarse a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante y capas granulares, sin agrietarse. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico, debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan bajo cargas o se expanden (por expansión del suelo).

Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada de bajo contenido de asfalto. Algunas veces, los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio entre los mismos.

Resistencia a la fatiga
La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia que presenta la mezcla a la flexión repetida, bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado que los vacíos en la mezcla, relacionados con el contenido de asfalto y la viscosidad de este, tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga.

Resistencia al deslizamiento
Es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie está mojada.

Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado, en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento (hidroplaneo). La resistencia al deslizamiento se puede medir en terreno con distintos equipos, entre los cuales se pueden mencionar el de la Rueda Normalizada y el Péndulo Británico.

El valor que alcancen estos parámetros va a depender, en gran medida, de las propiedades de los materiales empleados, es decir, del tipo de agregado, de su granulometría y del tipo de ligante asfáltico; además, del grado de compactación de la mezcla. Por tal motivo, se recomienda que todos estos factores estén debidamente controlados para que los valores en referencia estén comprendidos en los rangos admisibles.

La densidad de referencia o densidad patrón es la que permite controlar que la mezcla quede con la compactación adecuada, para asegurar que los parámetros anteriores se cumplan correctamente, una vez puesta en servicio.

Finalmente, un buen diseño es aquel que logra satisfacer todas las especificaciones y condiciones requeridas al menor costo.

16.6.1 DISEÑO DE MEZCLA EN CALIENTE
Este diseño se debe efectuar acorde a MC 8.302.47 y MC 8.302.40, según lo indicado en 5.12.5.1. de la Sección 5 del presente Código.

Para el caso particular de mezclas asfálticas en caliente, de graduación abierta, se podrá utilizar el método indicado en MC 8.302.48.

16.6.2 DISEÑO DE MEZCLA EN FRÍO
Este diseño se debe efectuar acorde a MC 8.302.51, según lo indicado en 5.11.2.3. de la Sección 5 del presente Código.

ART. 16.7 CAPAS ASFÁLTICAS DE PROTECCIÓN

16.7.1 LECHADA ASFÁLTICA Y MICROAGLOMERADOS EN FRÍO
Este diseño se debe efectuar acorde a MC 8.302.52, según lo indicado en la Sección 5 del presente Código.

16.7.2 SELLOS DE AGREGADO
Este diseño se debe efectuar acorde a MC 8.302.50, según lo indicado en la Sección 5 del presente Código.

16.7.3 CAPE SEAL
El diseño de su primera capa se efectuará acorde a MC 8.302.50. El diseño de su segunda capa se debe efectuar acorde a MC 8.302.52, según lo indicado en los dos párrafos inmediatamente anteriores.

SECCIÓN 17

CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE TALUDES EN CORTE Y TERRAPLÉN

SECCION 17

CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE TALUDES EN CORTE Y TERRAPLÉN

ART. 17.1 DEFINICIONES Y OBJETIVO

Se define como talud de un corte o de un terraplén a la inclinación con respecto a un plano horizontal, o más exactamente a la tangente del ángulo que el plano exterior del corte o terraplén forma con el plano horizontal que pasa por la base del mismo.

La ejecución de un talud en corte y/o terraplén es necesaria en algunos casos para poder establecer los perfiles de proyecto, anchos de calzadas y emplazar la estructura del pavimento donde fije el proyecto.

El objetivo fundamental del diseño, es el de proyectar un talud lo más vertical posible dentro de un razonable margen de seguridad, atendiendo a la necesidad de minimizar los costos del correspondiente movimiento de tierras y del terreno ocupado.

Para el estudio del problema se requiere contar con información de las características del terreno; entre ellas, su composición mineralógica, su resistencia, la ubicación de la napa freática, condiciones de drenaje, etc., para que en base a este conocimiento sea factible analizar las posibles fallas que se podrían desarrollar en el cuerpo del corte o terraplén y que pudieran afectar la estabilidad del talud.

La naturaleza, homogeneidad y compacidad del material constitutivo son factores básicos para una adecuada solución, dado que contribuyen a reducir el riesgo de fallas.

Los métodos de cálculo conocidos se basan en la determinación de los parámetros de resistencia del suelo, los cuales son muchas veces difíciles de conocer por una simple apreciación visual o en base al estudio de casos anteriores; esto obliga a su determinación mediante pruebas de laboratorio. Los parámetros de diseño de taludes y su ejecución deberán ser determinados por ensayos de laboratorio, de manera que se asegure la estabilidad y seguridad en la construcción de estas obras.

Para mayor información respecto de pruebas y características de los suelos, se puede revisar la Sección 12 de Mecánica de Suelos.

Para la determinación de factores mínimos y criterios generales aplicables a los alcances de esta sección, en lo referente a requerimientos para factores sísmicos y clasificación de los suelos, deberá considerarse la normativa vigente que aplica a mecánica de suelos y sus características.

ART. 17.2 TIPOS DE FALLA

Entre las posibles fallas de taludes, se pueden mencionar las siguientes:

17.2.1 FALLA ROTACIONAL

Consiste en la acción de un esfuerzo de corte que excede la resistencia del material. Esta situación da lugar a la formación de una superficie de falla, a lo largo de la cual se produce la rotación o deslizamiento del material. La superficie en cuestión tiene una forma aproximadamente cilíndrica o concoidal, cuya vertical también aproximada es un arco de circunferencia. Las fallas rotacionales pueden ser del cuerpo del talud o de la base. Este tipo de fallas son características en suelos cohesivos.

17.2.2 FALLA TRASLACIONAL
Consiste en movimientos traslacionales del cuerpo del talud sobre una superficie de falla básicamente plana y paralela al talud. Esta falla está asociada a suelos sin cohesión o a estratos de suelo poco resistentes, ubicados a poca profundidad, paralelamente a los cuales se desarrolla la superficie de falla.

17.2.3 FALLA CON SUPERFICIE COMPUESTA
Es una combinación de una falla rotacional y otra traslacional, a consecuencia de heterogeneidades existentes en el cuerpo del talud.

17.2.4 FALLA POR EROSIÓN
Se origina por el ataque de agentes erosivos, como son el viento y el agua superficial. En general, los suelos más erosionables son las arenas limosas (SM), limos arenosos (ML) y arenas finas; aumentando el riesgo con el aumento de la pendiente del talud, debiéndose tener mayores precauciones en taludes con inclinaciones superiores a los 45º respecto de la horizontal.

17.2.5 FALLA POR LICUACIÓN
Consiste en la reducción de la resistencia al corte del material, dejando los suelos sin poder de soporte, situación que puede ocurrir por dos causas: a) incremento en los esfuerzos de corte actuantes y b) desarrollo rápido de altas presiones en el agua intersticial, a consecuencia de un sismo, explosión o determinadas vibraciones. Los suelos más susceptibles a licuación son los finos de estructura suelta y saturada (arenas finas uniformes y suelos finos no plásticos).

Los riesgos de falla por licuación son considerables, principalmente en arenas limosas (SM), limos arenosos (ML) y algunos depósitos granulares. En estos tipos de suelos, dichos riesgos se pueden presentar cuando se dan las siguientes condiciones:

- Contenido de finos bajo 0,08 mm, menor al 15%
- Límite líquido menor que 35
- Contenido de agua menor a 0,9 veces el límite líquido
- Suelo sumergido o bajo nivel freático y
- Características definidas por ensayos de número de golpes, según SPT (N_{60}) < 30 y q_c < 160 (CPT corregido)

La profundidad del estrato potencialmente licuable deberá ser determinada mediante una mecánica de suelos. En los casos en que, por la buena calidad del material del talud, se pueda desechar la posibilidad de cualquier tipo de falla, la única condición que se sugiere cumplir en relación al talud, es la de no sobrepasar el valor del ángulo de fricción interna del material, lo cual puede expresarse mediante el correspondiente factor de seguridad.

$$FS = {tg\phi}/{tg\beta}$$

En donde "ϕ" es el ángulo de fricción interna y "β" es el ángulo de talud. Se recomienda que el valor de "FS" sea siempre mayor que 1, por tratarse de un caso de análisis dinámico, pero no conviene que llegue más allá de un 20% como máximo, por sobre dicho valor.

ART. 17.3 CRITERIOS Y METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE TALUDES EN CORTE Y TERRAPLENES EN CASO ESTÁTICO

A continuación se indican los criterios y metodología para el diseño de taludes, considerando los tipos de falla que ocurren en el caso estático, los que corresponden a falla rotacional y traslacional, y para los cuales se establece el diseño de estas obras.

17.3.1 FACTORES DE SEGURIDAD
El factor de seguridad (FS) mínimo a utilizar en el diseño de un talud será de 1,5 en el caso estático. Para el caso dinámico, se considerará un factor de seguridad mínimo de 1,2.

17.3.2 MÉTODO DE ANÁLISIS POR FALLA ROTACIONAL
El método comúnmente empleado para el análisis de fallas rotacionales, es el que usa el concepto de las dovelas, siendo el más aproximado el de Fellenius, el cual se basa en las siguientes hipótesis:

a. La superficie de falla es concoidal.

b. Se considera un estado de deformación plana.

c. Se considera válida la ley de resistencia de Mohr-Coulomb.

d. Se acepta que la resistencia al esfuerzo de corte trabaja en su totalidad, a lo largo de toda la superficie potencial de falla que se está analizando.

e. Si hay flujo de agua en el terreno, se acepta que esté consolidado bajo la condición de régimen establecido.

La aplicación de este método sugiere comprender a su vez los tres pasos siguientes:

a. Formulación de una hipótesis sobre el mecanismo de falla que comprende: forma de la superficie, descripción de los movimientos a producirse y análisis de las fuerzas motoras.

b. Se aplica la ley de resistencia supuesta, determinando el valor de las fuerzas resistentes.

c. Se comparan algebraicamente los valores obtenidos de las fuerzas motores y resistentes, para definir si el mecanismo de falla entra en acción.

Se recomienda distinguir tres casos, según sean las características del suelo, expresadas de acuerdo con las fórmulas contenidas en la Sección 12, de Mecánica de Suelos.

17.3.2.1 CASO 1: SUELOS PURAMENTE COHESIVOS: $\tau = CU$
Para este análisis se considera una superficie hipotética de falla de forma conoidal, para la cual se establece si τ, el esfuerzo de corte actuante del terreno, puede ser superado y se determina el centro de aplicación de carga correspondiente. Se calculan las fuerzas motoras y resistentes y sus respectivos momentos estáticos Mm y Mr, con respecto a dicho centro (ver Lámina Tipo Nº 18.1 del Apéndice III). Se calcula la relación entre ambos momentos Mr/Mm, cuyo valor es el correspondiente factor de seguridad FS. Se recomienda que este último no sea inferior a 1,5.

Posiblemente sea necesario efectuar dos o más tanteos, con distintas posiciones de la superficie de falla, hasta obtener el valor mínimo del FS.

17.3.2.2 CASO 2: SUELOS CON COHESIÓN Y FRICCIÓN, CONDICIÓN NO DRENADA
Se determinan los esfuerzos totales en un ensaye triaxial rápido, denominado "CIU" ($\tau = c + \sigma$ tg ø), con "ø" ángulo de fricción interna; "c" cohesión y "σ" presión efectiva.

En este caso se usa el método de las dovelas de Fellenius (ver Lámina Tipo Nº 18.2 del Apéndice III). Como en el caso anterior, se procede por tanteos, hasta encontrar el círculo de falla crítico que da el factor de seguridad FS mínimo. Se analizan tanto los círculos de falla del pie del talud, como los de media ladera y de fallas profundas.

17.3.2.3 CASO 3: SUELOS CON COHESIÓN Y FRICCIÓN, CONDICIÓN DRENADA

Se determinan los esfuerzos efectivos en un ensaye triaxial lento o en un ensaye triaxial rápido consolidado ($\tau = c + \tau \, tg\emptyset$).

En este caso se aplica a los taludes situados, total o parcialmente, bajo el nivel freático o que están sometidos a una condición de flujo.

El método a emplear en el análisis es también el de las dovelas, procediéndose en todo los demás como en el caso anterior.

El método descrito tiene, sin embargo, el inconveniente de los tanteos necesarios para llegar a la superficie potencial de falla que presente el menor FS. Puede usarse el método de Taylor, más simplificado, cuando no se requiere una gran precisión. Este método ha desarrollado gráficos que son expresión de las fórmulas de cálculo, los cuales se incluyen en el Apéndice III, Lámina 18.4. Se consideran los tres casos siguientes:

a. Materiales cohesivos: homogéneos con el terreno de cimentación

b. Materiales cohesivos: círculo de falla tangente a un estrato resistente

c. Materiales con cohesión y fricción

En este caso se determina, conocido el ángulo de talud "β", el valor del número de estabilidad Ne (ver gráficos en Apéndice III, Lámina 18.4), y, mediante este valor, se puede determinar el valor de "Cu", necesario para el equilibrio en condición crítica, el cual se puede comparar con el valor de la cohesión disponible. El factor de seguridad se define ahora como:

$$FS = {Cu(disponible)}/{Cu(necesario)}$$

17.3.3 MÉTODO DE ANÁLISIS POR FALLA TRASLACIONAL

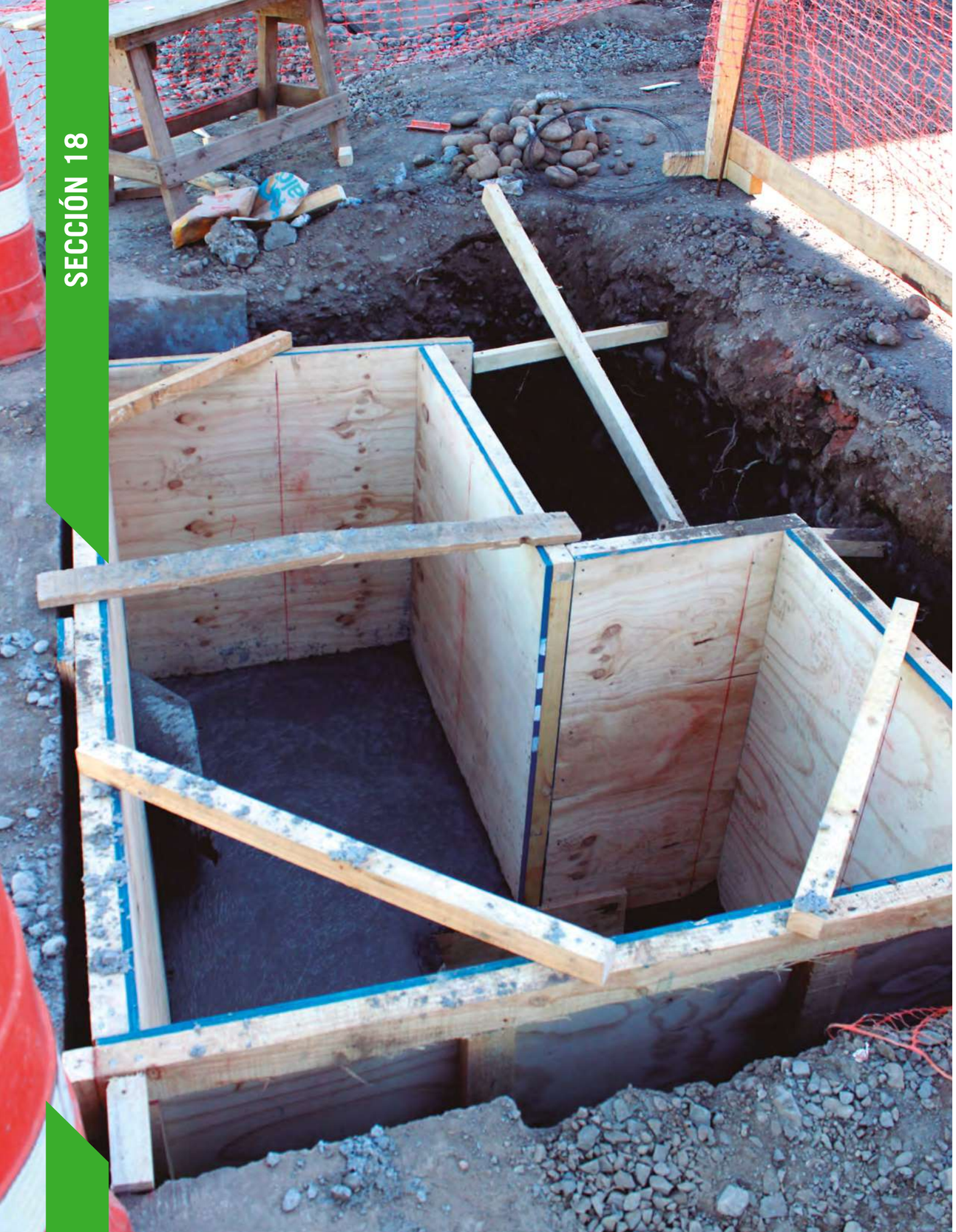
Para el método de análisis por falla traslacional, se considera que esta falla se origina por la existencia de un estrato profundo con una baja resistencia al corte, el que puede estar formado por arcillas blandas o bien, por arenas relativamente finas sometidas a una alta presión de poros.

Si el estrato débil es arcilla, los parámetros de resistencia pueden obtenerse en un ensaye triaxial sin consolidación y sin drenaje. El análisis puede efectuarse en base a los esfuerzos totales. Si el estrato débil es arena, dichos parámetros pueden obtenerse en una prueba triaxial con esfuerzos efectivos, haciendo intervenir la fuerza de supresión actuante. El esquema del cálculo se indica en el Apéndice III, Lámina 18.4.

El valor del factor de seguridad no puede ser menor que 1,5.

SECCIÓN 18

DISEÑO ESTRUCTURAL DE ALCANTARILLAS, PUENTES Y LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO



SECCIÓN 18

DISEÑO ESTRUCTURAL DE ALCANTARILLAS, PUENTES Y LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO

ART. 18.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Esta Sección presenta criterios y recomendaciones generales para el diseño estructural de alcantarillas, puentes y losas de hormigón armado, de manera que sean considerados -o su alcance analizado- en la realización del proyecto de diseño respectivo.

El diseño de elementos de hormigón armado deberá cumplir con las disposiciones del ACI 318S-08 y D.S. 60/2011 del Minvu, y/o usar como referencias las disposiciones para este tipo de estructuras, indicadas en el Manual de Carreteras del MOP.

ART. 18.2 DISEÑO ESTRUCTURAL DE ALCANTARILLAS DE HORMIGÓN ARMADO

Las alcantarillas que sean construidas de hormigón o de hormigón armado, deberán ceñirse a las disposiciones indicadas en este artículo.

Para el análisis estructural de estos elementos de hormigón, se requiere considerar las diferentes cargas que solicitan a la estructura, en las que se cuentan las cargas muertas, que se componen del peso de la masa o relleno existente, actuando sobre la estructura y por las presiones laterales ejercidas por dicho relleno. Por otra parte, es necesario cuantificar las cargas dinámicas debido al tránsito, que son incrementadas por los impactos y vibraciones transmitidas por ellas, además de las solicitaciones ejercidas por el agua en las curvas cerradas, las cuales se conocen como cargas vivas.

A fin de resistir las cargas solicitantes, la alcantarilla se apoyará en toda su longitud en la base de apoyo. Si el terreno existente no tiene un poder de soporte suficiente, es necesario especificar su reemplazo, en un espesor y capacidad de soporte a determinar por el diseño respectivo, basado en las condiciones del lugar. En caso de no contar con el material de soporte mínimo requerido, se deberá considerar la construcción de un emplantillado, radier o fundación de hormigón o la colocación de tubos especiales, con base ancha, para disminuir las tensiones sobre el suelo.

El material de relleno de la zanja donde se emplazará la alcantarilla, no deberá ser susceptible a expansión o agrietamiento, y su colocación deberá hacerse por capas, las cuales deberán quedar debidamente compactadas, siguiendo las recomendaciones que se entregan en la Sección 2, para la definición y verificación del material a utilizar, y en la Sección 12, para los procedimientos de ejecución de la compactación.

18.2.1 CÁLCULO DE LAS CARGAS MUERTAS (SUELOS SOBRE ALCANTARILLAS)

Para la determinación de las cargas muertas de suelos actuantes sobre la estructura de las alcantarillas, se proponen ecuaciones que permiten calcular su magnitud. Tales ecuaciones expresan su valor como una fuerza “W” aplicada sobre la estructura, la cual depende de la altura del suelo “H” sobre la clave del tubo y también de la existencia de un terraplén de altura “D”. Esta fuerza da origen a esfuerzos internos de flexión y de corte en las estructuras de sección cuadrada o rectangular y a esfuerzos de compresión en las estructuras de sección circular.

I. Caso en que la zanja tiene solo una altura “H” de relleno del suelo sobre la alcantarilla, se propone la siguiente ecuación:

$$W_m = C_d \cdot P_e \cdot B_t^2$$

Siendo:
W_m = valor de las cargas muertas [kg/ml]
P_e = peso específico del suelo [kg/m³]
B_t = ancho de la zanja [m]
C_d = coeficiente de carga (obtenido de Lámina 19.1 del Apéndice III, usando "H").

II. Cuando sobre la alcantarilla existe una cierta altura de terraplén "D", aparte del relleno de la zanja "H", la ecuación anterior se modifica según:

$$W_m = C_c \cdot P_e \cdot D^2$$

Wm = valor de las cargas muertas [kg/ml]
Pe = peso específico del suelo [kg/m³]
D = altura del terraplén [m]
Cc = coeficiente de carga (obtenido de Lámina 19.1 del Apéndice III, usando "D" y "H").

Otras cargas muertas actuando sobre las estructuras, tales como la carpeta de rodado, se pueden estimar en base a la materialidad del pavimento, y deben ser consideradas como carga adicional en el cálculo para el diseño estructural de las alcantarillas de hormigón armado.

18.2.2 CÁLCULO DE LAS CARGAS VIVAS

Para el cálculo de las cargas vivas puede emplearse la teoría de Boussinesq, que se refiere a un medio linealmente elástico, semi-infinito, homogéneo e isótropo. Al considerar que las cargas debido a los vehículos están en movimiento, es necesario tener en cuenta los efectos de impacto y vibraciones, lo que conduce a la siguiente fórmula de uso práctico:

$$W_v = \frac{1}{L} \cdot W_o \cdot F_i \cdot P$$

Donde:
W_v = carga viva por metro lineal [kg/m]
L = largo de cada tubo. Si este es continuo se toma L= 1 metro
W_o = factor de influencia de la carga superficial
F_i = factor de impacto. Su valor puede tomarse entre 1,5 y 2, según el tipo de vehículos.
P = carga de rueda [Kg]

Esta carga se considera aplicada en el eje del tubo, cuando la carga de rueda está verticalmente sobre el mismo.

18.2.3 CÁLCULO ESTRUCTURAL

De acuerdo a la forma de la sección transversal de la alcantarilla, se determinan los esfuerzos actuantes de flexión, corte, compresión o tracción, calculándose los espesores y armaduras necesarias en hormigón simple o armado.

Se deberá tener en consideración los esfuerzos máximos admisibles, estipulados en las normas de diseño que existan sobre la materia, los que deberán ser definidos en el proyecto de cálculo respectivo.

Se recomienda adoptar un coeficiente de seguridad mayor o igual a 1,5.

ART. 18.3 DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTES Y LOSAS

El diseño estructural de puentes y losas comprende la subestructura y superestructura, las que en ciertos casos, pueden constituir una sola estructura. Para el diseño de estos elementos se debe considerar la normativa nacional (NCh) en complemento con las normas de diseño internacional ACI o AASHTO.

18.3.1 DISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA

Se desarrollará un método de cálculo adecuado para determinar las secciones transversales o espesores de los elementos que conforman la superestructura.

En general, en cualquier tipo de puente, se considera diseñar sobre la propia superestructura para efectos de tránsito, un recubrimiento que puede ser de hormigón o de asfalto, con un espesor mínimo de 5 cm.

Para el cálculo estructural se considera como carga aplicada, además del peso propio, una sobrecarga equivalente al peso de un camión de 30 toneladas, que se distribuye de la siguiente forma:

a. Eje delantero simple : 5 t
b. Eje central doble : 11 t
c. Eje trasero doble : 14 t

La distancia entre los ejes delanteros y central es de 4 metros y entre el eje central y el trasero, de 8 metros. En un eje doble, la distancia entre ejes componentes es de 2 metros.

Estas cargas se incrementan en un 40% para el análisis del efecto dinámico.

Se estudiarán las líneas de influencia de estas cargas, considerando su posición más desfavorable. Tales cargas se suponen actuando sobre cada tramo de puente, o bien sobre una longitud máxima de 25 metros. Si el puente tiene calzadas, se consideran estas cargas aplicadas simultáneamente sobre cada una de ellas.

Puede aceptarse que las cargas de rueda se apliquen sobre una superficie de contacto definida, las que se sugiere se determinen de acuerdo a las fórmulas de Westergard u otra análogas, teniendo en cuenta el espesor total de losa de hormigón más su recubrimiento.

La luz de cálculo de cada tramo de losa, se toma igual a la distancia entre ejes de apoyos, sean estos muros o pilares.

Los momentos de flexión en los apoyos intermedios se calculan como los de vigas continuas con apoyos articulados.

Los momentos de flexión en los apoyos extremos, cuando exista una unión rígida entre la losa y el muro,

pueden calcularse considerando un semi-empotramiento, debiendo en todo caso verificarse que exista una disposición constructiva adecuada.

Para el cálculo del esfuerzo de corte se considerarán las disposiciones indicadas en el ACI 318S-08 y D.S. 60/2011 del Minvu.

Las losas de hormigón armado se especifican a una resistencia a compresión del hormigón de 300 kg/cm^2 a los 28 días.

Se deberá tener presente las tensiones admisibles en los materiales que conforman los diferentes elementos de la estructura y otras disposiciones necesarias para el diseño, usando las Normas Chilenas y normativa técnica extranjera referenciadas para estos efectos.

El proyectista deberá indicar en la memoria de cálculo del proyecto, el procedimiento de cálculo empleado.

18.3.2 DISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA

La infraestructura está compuesta por los muros de cabecera, los machones o pilares intermedios y por sus respectivas fundaciones, todos los cuales se diseñan en hormigón armado.

Los muros de cabecera se calculan como muros de contención, sometidos al empuje del terraplén adyacente y además, a las cargas transmitidas por la superestructura. Si en la unión entre esta última y el muro se considera semi-empotramiento, se recomienda tener en cuenta la presencia de esfuerzos de flexión, torsión y corte actuando sobre el muro.

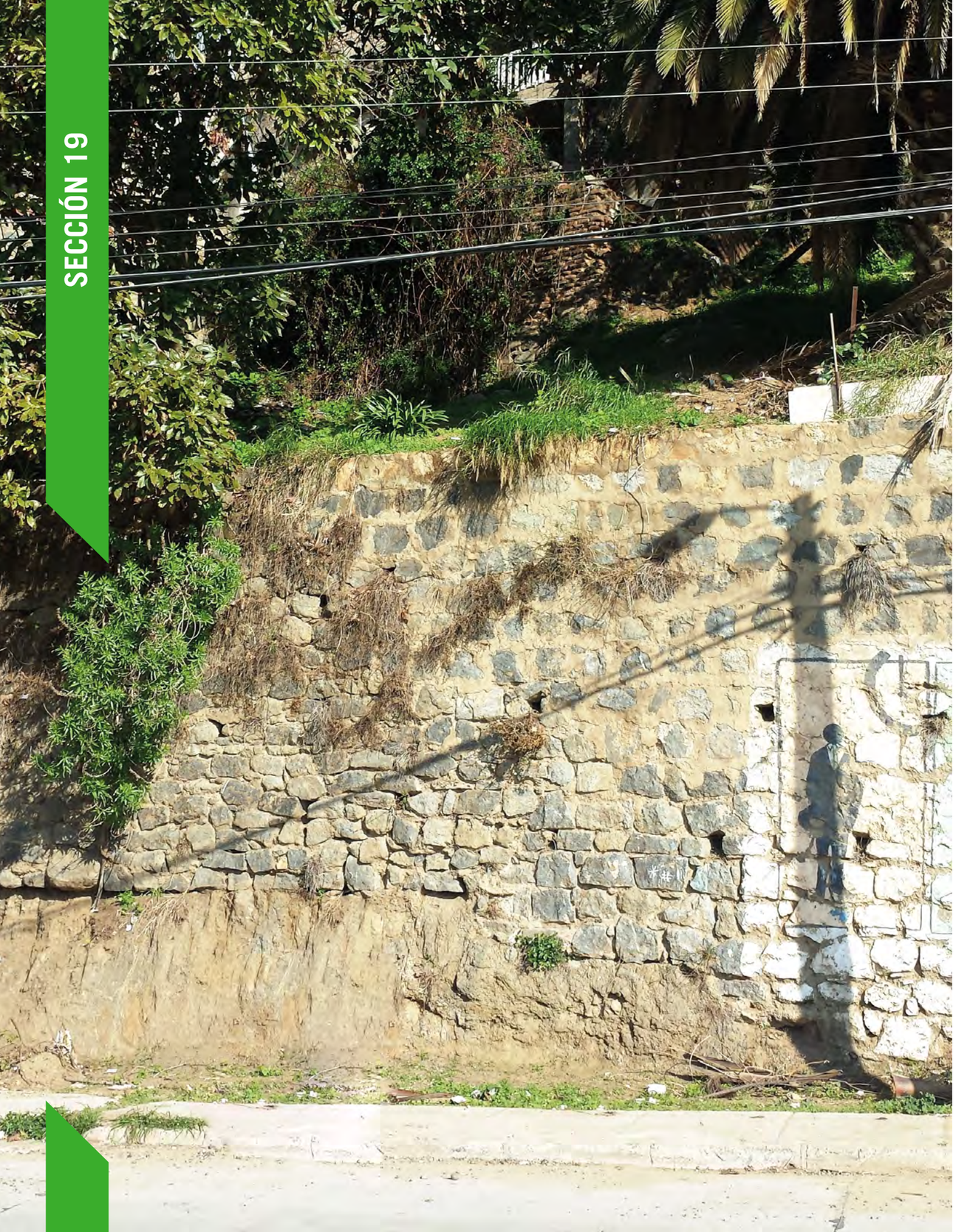
Los machones o pilares soportan las cargas transmitidas por la superestructura, que inducen en general esfuerzos de compresión, pero también se debe considerar el efecto de posibles excentricidades en las cargas y de eventuales fuerzas horizontales, como son el viento y los sismos.

Para el dimensionamiento de las zapatas de fundación se considera que las cargas transmitidas por los muros o pilares se soporten con un cierto factor de seguridad por el terreno subyacente. La capacidad de soporte de este, puede evaluarse en base a alguna de las teorías de capacidad de carga (Terzaghi, Meyerhof, etc.). Por otra parte, se recomienda aplicar algún método de análisis de asentamiento, a fin de verificar que los posibles asentamientos del terreno no excedan los valores límites admisibles.

Es recomendable tener en consideración los esfuerzos máximos admisibles estipulados en las normas de diseño que existan sobre la materia.

El proyectista deberá presentar una memoria explicativa donde se desarrolle el método de diseño adoptado, la cual debe tener, como mínimo, el alcance, normas aplicadas, antecedentes, estructuración, materiales y parámetros geotécnicos utilizados referenciados al informe de mecánica de suelo realizado, cargas, combinaciones de carga de servicio y mayoradas, análisis sísmico, método de cálculo y cálculos de elementos y enfierradura.

SECCIÓN 19
DISEÑO ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONTENCIÓN



SECCIÓN 19

DISEÑO ESTRUCTURAL MUROS DE CONTENCIÓN

ART. 19.1 GENERALIDADES

Un muro de contención es una estructura diseñada con el fin de soportar una determinada altura de corte o de relleno en una vía, en los casos en que, por no disponerse de espacio suficiente, no es posible construir los cortes o terraplenes en referencia con el talud que les permita una estabilidad suficiente. Estos casos también incluyen los cruces de vías a diferente nivel.

El diseño de un muro de contención comprende, en primer término, la determinación de las fuerzas solicitantes y resistentes que actúan sobre la estructura, y en segundo término, la comprobación del dimensionamiento del muro para resistir adecuadamente los esfuerzos o fatigas resultantes y de su necesaria estabilidad frente a posibles inclinaciones o desplazamientos que pueden afectarle.

En esta Sección se analizan dos tipos de muros de contención, los muros gravitacionales y los muros tipo Cantilever, cuyo diseño se basa en consideraciones diferentes, según su función estructural. Mayores definiciones e información respecto del tipo de muros, se presenta en la Sección 7 de este Código.

Los métodos de diseño se basarán en los indicados en las Normas Chilenas oficiales y otros documentos de referencias, tales como ACI, AASHTO, ASCE u otro que el profesional responsable del proyecto de diseño establezca, el que deberá ser debidamente respaldado y justificado en las memorias de cálculo respectiva.

ART. 19.2 EMPUJE DE TIERRAS

El suelo o material de relleno adyacente al muro de contención ejerce sobre este una fuerza que tiende a volcarlo o deslizarlo hacia el exterior, esta fuerza se denomina “empuje de tierras” y su valor debe ser determinado para cada caso en estudio. La determinación de estas fuerzas se basa en condiciones de empuje activo y pasivo, que dependen del tipo, calidad, estado y altura del suelo que contribuye al empuje.

El empuje activo, considera la parte del suelo que produce el efecto de movimiento sobre la estructura. El empuje pasivo, considera la parte del suelo que queda opuesta a la zona de empuje activo y que colabora a su sostenimiento.

Los métodos para la determinación del empuje de tierras, se basan en las teorías clásicas sobre empuje de tierras de Rankine y de Coulomb, existiendo además un método propuesto por Terzaghi.

19.2.1 MÉTODO DE RANKINE EN SUELOS CON FRICCIÓN

La teoría de Rankine considera, en primer término, el caso de suelos con fricción, para lo cual formula las siguientes hipótesis:

a. Los estados plásticos, pasivo y activo, se desarrollan por completo en toda la masa del suelo.

b. Si la superficie del relleno es horizontal y el respaldo del muro vertical, se considera nulo el coeficiente de fricción entre muro y suelo.

c. Si la superficie del relleno está inclinada en un ángulo “β”, se admite que el coeficiente de fricción muro-suelo tiene un valor tal que las presiones actuantes forman el mismo ángulo “β” con la horizontal.

Siendo "γ" el peso específico del material del suelo y "z" la altura del relleno; las presiones ejercidas por dicho relleno, en sentido horizontal y vertical, son:

Presión horizontal :

$$P_h = K_o \cdot \gamma \cdot z$$

Presión vertical :

$$P_v = \gamma \cdot z$$

En estas fórmulas, "K_o" es un coeficiente llamado "coeficiente de tierra en reposo" y su valor varía entre 0,4 y 0,8, según los valores de capacidad de cohesión que posean los suelos friccionantes, el que se debe definir para el proyecto y características del suelo. Este valor es menor que 1, ya que se considera que el suelo está en reposo y que no se producen desplazamientos de su masa.

Si por algún medio se disminuye la presión horizontal en el interior del suelo, manteniendo constante la presión vertical, se llega a producir la falla de la masa de suelo cuando se alcance el valor:

$$P_h = K_a \cdot \gamma \cdot z$$

A este valor de "K_a" se le llama "coeficiente de presión activa de tierras".

Por su parte, también se puede llegar a un estado de falla, aumentando la presión horizontal y manteniendo constante la presión vertical, cuando la presión "P_h" alcance el valor:

$$P_h = K_p \cdot \gamma \cdot z$$

El valor "K_p" se designa como "coeficiente de presión pasivo de tierras".

Un estado de falla determina que el suelo ha alcanzado el estado plástico, el cual puede ser activo o pasivo, según si dicho estado se alcanza a través del primero o del segundo de los procesos anteriormente descritos. Para cada uno de estos estados, se obtiene:

$$K_a = tg^2\left(45^o - \frac{\phi}{2}\right) = \frac{1}{N\phi}$$

$$K_p = tg^2\left(45^o + \frac{\phi}{2}\right) = N\phi$$

Siendo "ϕ" el ángulo de fricción interna y "$N\phi$" la relación correspondiente "P_v / P_h" entre las presiones vertical y horizontal.

Un muro de contención puede ser afectado por cualquiera de los dos estados de falla, activo y pasivo. En el primer caso, el relleno es el que ejerce empuje sobre el muro y este se desplaza o se inclina hacia el lado exterior; en el segundo caso, existe un empuje exterior que hace ceder el muro hacia el lado interior.

De acuerdo con la primera de las hipótesis formuladas, se llega a determinar el valor de los empujes activo y pasivo:

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot K_a \cdot \gamma \cdot H^2$$

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot \gamma \cdot H^2$$

Siendo "*H*" la altura total del muro.

El punto de aplicación del empuje se encuentra a un tercio de la altura del muro, medida desde su base. Su línea de acción es horizontal.

Si la superficie del relleno forma un ángulo "β" con la horizontal, las fuerzas de empuje son paralelas a la superficie, de acuerdo con la tercera hipótesis, y los valores correspondientes son:

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot K_a^{'} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot \cos\beta$$

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot K_p^{'} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot \cos\beta$$

Siendo:

$$K_a^{'} = \frac{1}{K_p^{'}} = \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}$$

19.2.2 MÉTODO DE RANKINE EN SUELOS COHESIVOS

Al igual que en los suelos con fricción, si la masa de suelo está en reposo y suponiendo una superficie de relleno horizontal, el empuje se determina según:

$$P_h = K_o \cdot \gamma \cdot z \qquad P_v = \gamma \cdot z$$

Siendo "γ" el peso específico del material del suelo y "z" la altura del relleno.

Al producirse una deformación lateral, la masa de suelo puede llegar a la falla de dos maneras, en forma análoga a los suelos con fricción, es decir, i) disminuyendo la presión horizontal hasta el inicio de la falla, llegando al estado plástico activo, y ii) aumentando la presión horizontal hasta llegar al mismo

punto, alcanzando el estado plástico pasivo. En estos casos, los valores que alcanzan las correspondientes presiones son:

a. Estado plástico activo:

$$P_h = \gamma \cdot z - 2 \cdot c \qquad P_v = \gamma \cdot z$$

Con el valor de "P_v" siendo mayor que el de "P_h", y

$C =$ cohesión o resistencia del suelo bajo presión normal exterior nula. Se supone valor constante.

b. Estado plástico pasivo:

$$P_h = \gamma \cdot z + 2 \cdot c \qquad P_v = \gamma \cdot z$$

Siendo en este caso "P_h" mayor que "P_v"
Si se calcula el valor del empuje, se obtiene en cada caso:

$$E_a = \tfrac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 - 2 \cdot c \cdot H$$

$$E_p = \tfrac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 + 2 \cdot c \cdot H$$

Estas fuerzas son horizontales y pasan por el centroide del área de presiones.
Si en la primera de estas fórmulas se hace "$E_a = 0$", se obtiene:

$$H_c = 4 \cdot c/\gamma$$

"H_c" es la altura "crítica", que es la altura máxima que puede darse a un corte vertical de material cohesivo, sin peligro de derrumbamiento.

19.2.3 MÉTODO DE RANKINE EN SUELOS CON COHESIÓN Y FRICCIÓN

Las fórmulas aplicables a suelos que son, al mismo tiempo, cohesivos y friccionantes, son las siguientes:

a. Para el estado plástico activo:

$$P_h = K \cdot \gamma \cdot z - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

$$E_a = \tfrac{1}{2} \cdot K_a \cdot \gamma \cdot H^2 - 2 \cdot c \cdot H \cdot \sqrt{K_a}$$

b. Para el estado plástico pasivo:

$$P_h = K_p \cdot \gamma \cdot z + 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_p}$$

$$E_p = \tfrac{1}{2} \cdot K_p \cdot \gamma \cdot H^2 - 2 \cdot c \cdot H \cdot \sqrt{K_p}$$

Para la determinación de la altura crítica se considera:

$$H_c = \frac{4 \cdot c}{\gamma \cdot \sqrt{K_a}}$$

Si la superficie del relleno forma un ángulo "β" con la horizontal, las fuerzas de empuje son paralelas a la superficie y los valores correspondientes son:

$$E_a = \tfrac{1}{2} \cdot K_a' \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot \cos\beta$$

$$E_p = \tfrac{1}{2} \cdot K_p' \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot \cos\beta$$

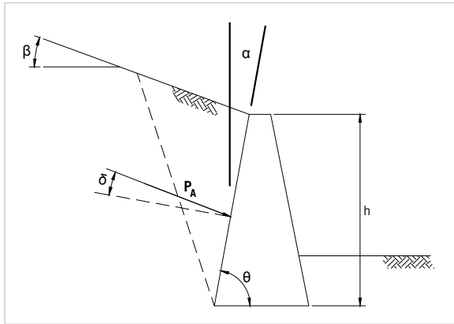
Siendo:

$$K_a' = \frac{1}{K_p'} = \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}$$

19.2.4 MÉTODO DE COULOMB EN SUELOS CON FRICCIÓN

El método de Coulomb es un método gráfico, que considera que siempre existe fricción entre el respaldo del muro y el suelo, si este es friccionante. El empuje de tierras se determina considerando una cuña de suelo limitada por el respaldo, la superficie del relleno y una superficie teórica de falla supuestamente plana, desarrollada dentro del relleno. Esquemáticamente, las fuerzas y variables que intervienen en este método se presentan en la Figura 19.1.

FIGURA 19.1
ESQUEMA DE FUERZAS Y VARIABLES MÉTODO COULOMB EN SUELOS CON FRICCIÓN



Este método consiste en la realización de aproximaciones sucesivas, mediante un análisis gráfico de tanteos, en los que se van dibujando varias posibles cuñas del suelo, obteniendo los respectivos valores del empuje para cada una de ellas, hasta obtener el valor máximo "crítico". Se procede a dibujar el polígono de fuerzas en equilibrio en el interior de la cuña, y se determina P_A. El punto de aplicación del empuje P_A en la cuña del suelo se ubica a una posición a un tercio de la altura, medida desde la base.

a. Para el estado plástico activo:
Usar:

$$\frac{P_A}{b} = 1/2\,\gamma\, H^2 K_a \cos\delta$$

Donde:
b : Ancho considerado (generalmente 1, para análisis por unidad de ancho)
δ : Ángulo de fricción entre el suelo y el muro
H : Altura del elemento

Para la determinación del empuje, las ecuaciones a usar son similares a las que usa el método de Rankine, donde:

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi-\alpha)}{\cos^2\alpha\cos(\delta+\alpha)\left(1+\sqrt{\frac{sen(\phi+\delta)sen(\phi-\beta)}{\cos(\delta+\alpha)\cos(\alpha-\beta)}}\right)^2}$$

La componente horizontal se determina según:

$$K_{ah} = K_a \cos(\alpha+\delta)$$

b. Estado plástico pasivo:
Usar:

$$\frac{P_A}{b} = 1/2\,\gamma\, H^2 K_p \cos\delta$$

Donde:
b : Ancho considerado (generalmente 1, para análisis por unidad de ancho)
δ : Ángulo de fricción entre el suelo y el muro
H : Altura del elemento

En este estado, se considera una situación similar al caso de empuje activo, donde se modifica la ecuación de K según:

$$K_{pv} = \frac{\cos^2(\phi+\alpha)}{\cos^2\alpha\cos(\delta-\alpha)\left(1-\sqrt{\frac{sen(\phi+\alpha)sen(\phi+\beta)}{\cos(\delta-\alpha)\cos(\beta-\alpha)}}\right)^2}$$

19.2.5. MÉTODO DE TERZAGHI

Este método es aplicable a muros de una altura no superior a 7 metros. Su aproximación se basa en una clasificación particular de los suelos en 5 grupos. La superficie del relleno se considera plana, pudiendo ser horizontal o inclinada y sin sobrecarga.

Determinando los valores de "K_h" y "K_v", dos parámetros introducidos por este método, se obtienen los valores de las componentes horizontal y vertical del empuje:

$$E_h = \tfrac{1}{2}\cdot\gamma\cdot K_h\cdot H^2$$

$$E_v = \tfrac{1}{2}\cdot\gamma\cdot K_v\cdot H^2$$

Siendo "*H*" la altura.

El punto de aplicación, como en los casos anteriores, se ubica en una posición a un tercio de la altura, medida desde la base.

ART. 19.3 GRÁFICOS Y TABLAS DE DISEÑO DE MUROS DE HORMIGÓN ARMADO TIPO CANTILEVER Y GRAVITACIONALES

En el Apéndice III, en Láminas Nº 20.1. a N° 20.4. se incluyen tablas para el dimensionamiento de muros pantalla y zapata, y tablas de armadura asociada para el caso de muros tipo Cantilever.

En Láminas N° 20.5. y N° 20.6. se presentan diagrama de solicitaciones en muros gravitacionales.

ART. 19.4 CÁLCULO DE ESTABILIDAD DE MUROS DE CONTENCIÓN

De acuerdo con lo indicado en 19.1., los muros de contención pueden ser gravitacionales o Cantilever, siendo el objetivo del diseño, en ambos casos, asegurar su estabilidad mediante la utilización de un coeficiente de seguridad, el cual es propio para cada una de las posibles fallas que pudieren producirse.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, todo muro de contención es solicitado por el empuje de tierras "E", determinado por alguno de los métodos anteriormente descritos, más solicitaciones eventuales provenientes de cargas sísmicas, las cuales deben ser analizadas en el diseño. Este empuje da origen a diferentes solicitaciones, que pueden ocasionar la falla del muro. Las principales fallas se describen a continuación:

a. Falla por Volcamiento: Se produce cuando el momento de volcamiento, debido al empuje, es mayor que el momento resistente, que se obtiene con el peso del muro y del terreno colaborante. Cuando se produce esta situación, el momento de volcamiento tiende a hacer girar el muro hacia el exterior, en torno a su base.
b. Falla de Deslizamiento: Se produce cuando la fuerza de deslizamiento y/o corte es mayor que la fuerza de fricción entre el muro y el suelo de fundación, produciendo un desplazamiento del muro sobre el plano de base hacia el exterior.
c. Falla Estructural: Puede producirse debido a esfuerzos excesivos del material componente del muro, dando lugar a grietas y a desintegración.

d. Falla por Presión Excesiva sobre el Terreno: Se debe a posibles asentamientos diferenciales debido a que la presión actuante sobre el suelo de fundación supera su capacidad resistente, lo que trae como consecuencia una reducción del momento resistente.

En relación con este último punto, se recomienda tener muy en cuenta la presión máxima aplicada, de acuerdo con la calidad del terreno de fundación. En lo posible, un muro no se construye sobre un suelo perturbado o sobre rellenos en los que puedan producirse asentamientos. En cuanto a la profundidad de fundación, es recomendable situarse por debajo del nivel de congelamiento del terreno, lo cual en climas relativamente fríos significa una profundidad comprendida entre 1,2 y 1,5 metros.

ART. 19.5 FACTORES DE SEGURIDAD

Los factores de seguridad frente a cada tipo de falla tienen valores que se fijan, por lo general, en base a la experiencia. Pueden fluctuar entre ciertos límites, pero en todo proyecto se recomienda fijar específicamente el valor que sea más adecuado.

19.5.1 FACTOR DE SEGURIDAD AL VOLCAMIENTO

Se obtiene estableciendo la relación entre el momento resistente y el máximo valor del momento volcante y se expresa de acuerdo con las fórmulas siguientes:

a. Si se considera la carga estática:

$$F.S. = \frac{W \cdot x}{E_h \cdot \frac{H}{3} - E_v \cdot B}$$

Siendo:

W = peso del muro más peso del suelo que descansa sobre la zapata de fundación, por metro lineal.

E_h y E_v = componentes horizontal y vertical del empuje, por metro lineal.

H = altura total del muro.

B = ancho de la zapata.

x = brazo de palanca de W respecto de la arista exterior de la zapata.

b. Si se considera, además, una acción sísmica, se agrega un término negativo en el numerador de la expresión anterior.

$$F.S. = \frac{W \cdot x - \alpha \cdot W \cdot y}{E_h \cdot \frac{H}{3} - E_v \cdot B}$$

"α" es un coeficiente sísmico, que puede ser tomado como igual a 0,2; "y" es el brazo de palanca de la fuerza sísmica, el cual puede tomarse aproximadamente como igual a "*H/2*". De acuerdo con esto, la expresión anterior queda:

$$F.S. = \frac{W \cdot x - 0{,}1 \cdot W \cdot H}{E_h \cdot \frac{H}{3} - E_v \cdot B}$$

Los valores mínimos aceptables de F.S. son:

TABLA 19.1
FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS AL VOLCAMIENTO

FS PARA TODO TIPO DE SUELOS	Estático	Sísmico
	2,0	1,3

19.5.2 FACTOR DE SEGURIDAD AL DESLIZAMIENTO

El Factor de Seguridad al Deslizamiento se obtiene calculando la relación entre la fuerza de adherencia y deslizamiento. Se consideran los dos casos siguientes:

19.5.2.1 CARGA ESTÁTICA

$$F.S. = \frac{W \cdot tg\mu + c \cdot B \cdot L}{E_h - E_v \cdot tg\mu}$$

En esta fórmula "μ" es el ángulo de fricción entre el muro y el relleno y se puede tomar igual a "$^2/_3\phi$", y "*C*" es la cohesión. Los demás símbolos tienen el mismo significado que las definiciones del caso anterior.

19.5.2.2 CARGA ESTÁTICA MÁS ACCIÓN SÍSMICA

$$F.S. = \frac{W \cdot tg\mu + c \cdot B \cdot L - \alpha \cdot W}{E_h - E_v \cdot tg\mu}$$

El valor de "α" puede, como anteriormente, tomarse igual a 0,2.
Los valores mínimos aceptables son:

TABLA 19.2
FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS AL DESLIZAMIENTO

FS PARA TODO TIPO DE SUELOS	Estático	Sísmico
	2,0	1,3

ART. 19.6 MUROS GRAVITACIONALES

Los muros de contención gravitacionales son de forma trapecial y cuentan, en gran medida, con su dimensión transversal y su peso propio para resistir al empuje de tierras. Es por tal razón que, en general, no son de gran altura. Su espesor medio se encuentra comprendido, aproximadamente, entre un tercio y un cuarto de su altura. Se construyen de hormigón o de mampostería unida con mortero de cemento.

El diseño consiste en fijar las dimensiones del muro, calcular los valores de las fuerzas, momentos solicitantes y de los factores de seguridad, a fin de comprobar que estos cumplen con los valores permitidos.

ART. 19.7 MUROS TIPO CANTILEVER

Los muros tipo Cantilever, que se construyen de hormigón armado, serán diseñados de acuerdo con las disposiciones del ACI 318S-08 y D.S. 60/2011 del Minvu. Se deberán considerar todas las condiciones de carga sobre el muro para asegurar su funcionamiento, capacidad, serviciabilidad y durabilidad.

En su estructura se distinguen dos elementos fundamentales: la zapata de fundación y la pantalla o superestructura. Además, pueden también disponer de contrafuertes de forma triangular, uniformemente espaciados, que unen en un solo bloque la pantalla y la zapata, transformando así el muro en una estructura continua, con un cierto número de apoyos.

La zapata puede ofrecer distintas disposiciones, de acuerdo principalmente con el espacio disponible en el terreno de fundación. Así, se tienen los muros en forma de "T", de "L" o de "L" invertida, según lo cual la zapata dispone de una parte exterior, de una interior o de ambas.

19.7.1 DISPOSICIÓN DE ZAPATAS POR TIPO DE MURO

19.7.1.1 MUROS EN FORMA DE T

La zapata comprende zapata exterior e interior. La longitud total de la misma es generalmente igual a 0,4 a 0,6 veces la altura total del muro, y la zapata exterior es de ¼ a ½ de esta longitud completa.

19.7.1.2 MUROS EN FORMA DE L

Solamente existe la zapata interior. Su longitud puede variar entre 0,5 y 0,55 veces la altura total.

19.7.1.3 MUROS EN FORMA DE L INVERTIDA

Solamente existe la zapata exterior. Su longitud es igual a 0,5 a 0,6 veces la altura total.

19.7.2 CÁLCULO ESTRUCTURAL DE LOS MUROS DE HORMIGÓN ARMADO

Cada uno de los tres elementos: pantalla, zapata exterior y zapata interior se calculan estructuralmente como vigas Cantilever, con empotramiento en un extremo.

Este cálculo estructural se realiza de acuerdo con las cargas estáticas, las fuerzas y movimientos actuantes en cada sección de la estructura, y eventuales sobrecargas. Mediante estos valores de entrada, se procede al dimensionamiento de dichas secciones en hormigón armado, ajustándose a lo dispuesto en las Normas Chilenas Oficiales. Se calcula el espesor del muro y las armaduras de tracción y de compresión, para cada uno de los elementos estructurales mencionados, de manera que sean capaces de cumplir con las solicitaciones definidas en el cálculo estructural.

Cuando el muro es de una longitud considerable, es necesario disponer de juntas de dilatación/contracción a una distancia de no más de 25 metros entre sí, con el fin de controlar la aparición de eventuales grietas ocasionadas por esfuerzos de compresión o de tracción, debido a variaciones de temperatura.

El diseño de enfierraduras deberá considerar las condiciones de largos de juntas, control de agrietamiento, condiciones de impermeabilidad del muro y procedimientos de ejecución de construcción, para asegurar el adecuado desempeño del muro en servicio.

Se recomienda que:

- Las armaduras horizontales sean continuas, de modo que en las juntas, las dos partes adyacentes constituyan estructuralmente una sola unidad.
- La sección de acero de dicha armadura sea en promedio igual a 0,2% de la sección transversal de la pantalla, calculada por metro lineal.
- En la zapata también se disponga una armadura de repartición y que la sección de acero sea como mínimo de 0,1% a 0,2% de la sección transversal de la zapata, por metro lineal.

ART. 19.8 IMPERMEABILIDAD Y DRENAJE EN MUROS DE CONTENCIÓN

Debido a la existencia de napas freáticas o por infiltración de aguas superficiales dentro del relleno soportado por el muro de contención, se acumulan importantes cantidades de agua, las cuales se recomienda sean rápidamente evacuadas, a fin de evitar aumentos indeseables de las presiones ejercidas por la masa de suelo.

Estos muros, que eventualmente pueden contener agua y tener la función de retención hidráulica, deberán considerar medidas para lograr la impermeabilización del muro y asegurar el drenaje en los puntos que sean diseñados para esto, evitando filtraciones indeseadas, problemas de durabilidad y corrosión de la estructura. Para cumplir con este objetivo, se sugiere considerar medidas de diseño especiales, tales como: enfierraduras para control de grietas finas, impermeabilización de la masa del hormigón con adiciones del tipo "resistentes a la presión hidrostática", entre otras.

Se deberán atender las condiciones de diseño por durabilidad en estos muros, que consideran:

- Ancho máximo de grietas de 0,2 mm
- Razón A/C no mayor a 0,4 para condiciones de impermeabilidad
- Uso de adiciones que impermeabilicen el hormigón, resistan presión hidrostática y sellen fisuras, capilares y poros activamente durante la vida útil del hormigón

Para la evacuación de las aguas, se disponen elementos de drenaje, tales como:

a. Tubos de drenaje a través del muro de diámetro aproximado a 5 cm, colocados en hileras paralelas a lo largo del muro, con un espaciamiento vertical no mayor de 2 metros. Puede consultarse en conjunto con los tubos la instalación de material filtrante en el relleno.
b. Drenes corridos de material permeable en toda la longitud del muro y ubicados en su respaldo. Las descargas de los drenes se hace hacia los costados del muro.
c. Capa de material permeable que cubre todo el respaldo del muro, con un espesor mínimo de 30 cm. La descarga puede hacerse con tubos de salida a través del muro o mediante un tubo colector perforado, colocado en la base del muro y con descarga en ambos extremos.

ART. 19.9 CARACTERÍSTICAS DEL RELLENO

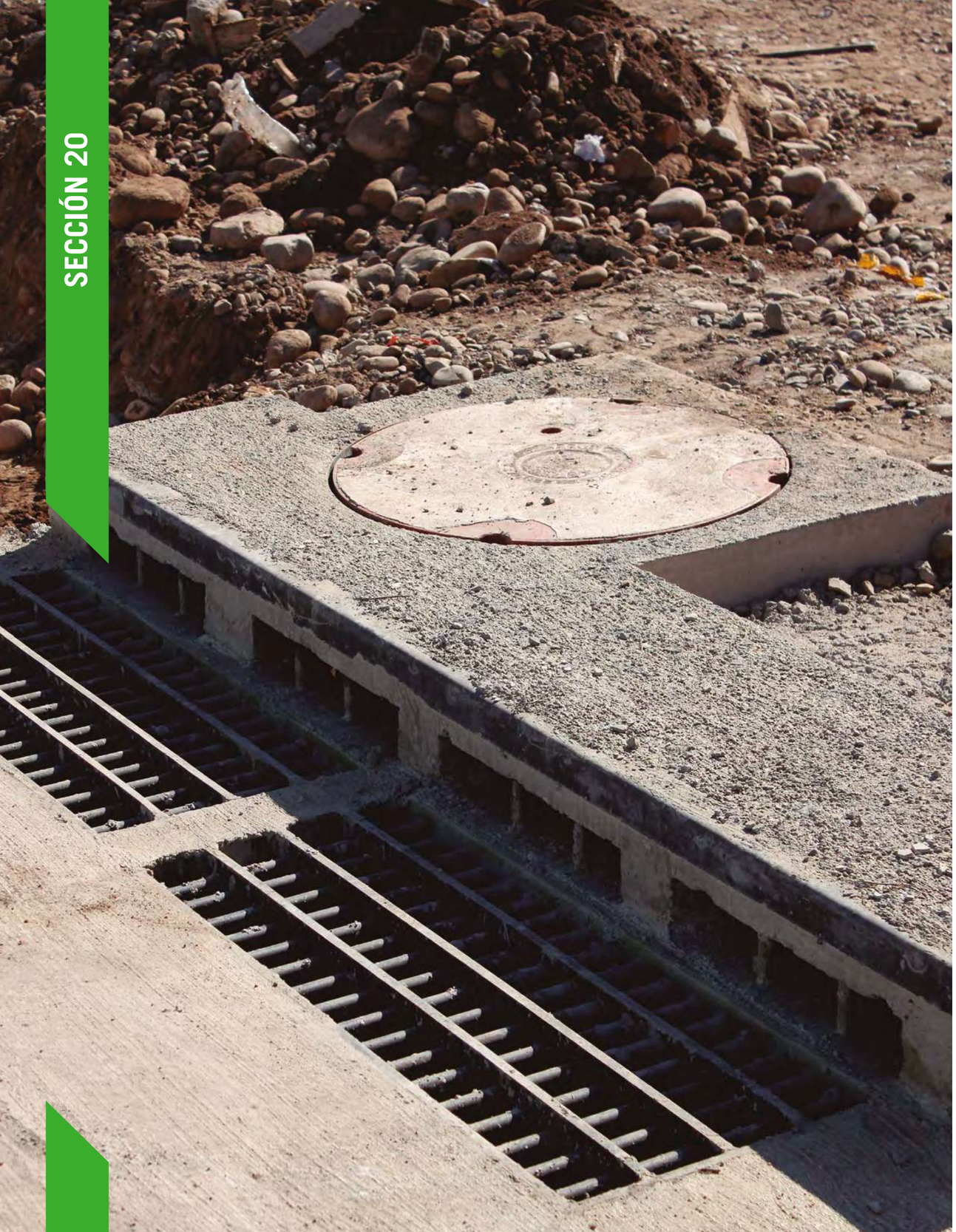
Para el relleno que se coloque detrás del muro, se recomienda usar materiales de características adecuadas para apoyar la función de este, sin aumentar el empuje de diseño. Los materiales de relleno deberán estar constituidos por suelos preferentemente cohesivos y sin presencia de arcilla expansiva.

Si fuese inevitable emplear materiales arcillosos como relleno, se deberá tomar en cuenta la pérdida de cohesión del material, que puede llevarlo a comportarse como un fluido con peso específico igual al del suelo.

Se deberá tener en cuenta los efectos favorables que proporciona la compactación del relleno, dentro de los

cuales se encuentran el aumento de la resistencia al esfuerzo cortante y la disminución de la presión sobre el muro. Sin embargo, no es recomendable llevar la compactación a valores excesivos, ya que en tal caso se originan presiones residuales que hacen crecer el valor del empuje. Por estas razones, el proyecto de diseño del muro deberá considerar indicaciones a este respecto en las especificaciones técnicas.

SECCIÓN 20
DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS EN SECTORES URBANOS



SECCIÓN 20

DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS EN SECTORES URBANOS

ART. 20.1 DEFINICIÓN Y OBJETIVO

El agua es la variable fundamental en la mayoría de los problemas asociados con el desempeño de los pavimentos y es directa o indirectamente la responsable de muchos de los deterioros encontrados en ellos: pérdida de capacidad de soporte de la subrasante, reducción de la rigidez de la capa granular, erosión de las capas de la base, reducción de la vida útil del pavimento, entre otros.

En general, todas las vías urbanas se ven afectadas por la acción de aguas de distinto origen, lo cual exige disponer de los medios y elementos necesarios para permitir su rápida evacuación.

Las obras que cumplen con el objetivo señalado de captar, encauzar o transportar las aguas, se definen comúnmente como obras de drenaje, y es función del proyectista estudiar, proyectar y especificar las soluciones de drenaje más adecuadas, que aseguren su buen funcionamiento y, en consecuencia, el buen comportamiento de los pavimentos.

ART. 20.2 CLIMA

Dado que la aplicación de cualquier obra de captación y conducción de aguas depende directamente del entorno en el que se sitúa, se hace necesario establecer una clasificación basada principalmente en aspectos climáticos, geológicos, hidrológicos y de suelos, así como de ordenación territorial y urbana.

Dentro de las características particulares que distinguen las zonas climáticas predominantes en el país, se encuentran: humedad, precipitaciones, temperaturas, vientos, entre otros. De esta manera, para el desarrollo de una obra en particular, se dan a conocer una serie de sugerencias y técnicas de diseño que se adapten a cada zona, donde se emplace la obra.

El factor de mayor relevancia para el diseño y dimensionamiento de las obras de captación y conducción de aguas es el comportamiento de las precipitaciones, tanto en magnitud como en ocurrencia dentro del país, ya que son ellas las que definen las lluvias o tormentas de diseño, que a su vez establecen las características y condicionan la operación de dichas obras.

20.2.1 ZONAS CLIMÁTICAS DE CHILE CONTINENTAL

El clima de nuestro país se encuentra condicionado por la proximidad al Océano Pacífico y al Polo Sur, el efecto orográfico de la Cordillera de los Andes, la Cordillera de la Costa y otros cordones montañosos, así como la circulación general de la atmósfera, con la marcada influencia del anticiclón del Pacífico y su posición. De esta manera, se acostumbra considerar en Chile continental 5 zonas:

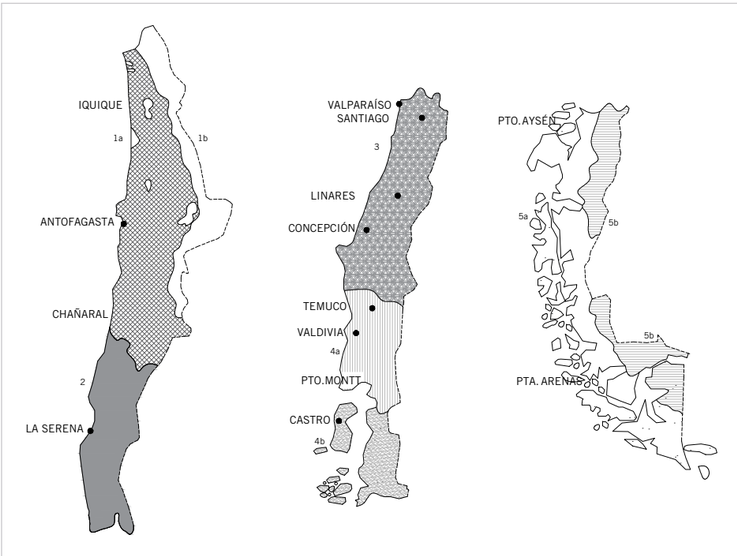
1. a) Desierto árido
   b) Árido altiplánico
2. Semiárido
3. Mediterráneo
4. a) Templado húmedo
   b) Templado húmedo oceánico

5. a) Frío oceánico

b) Frío patagónico

Dichas zonas se presentan a continuación en la Figura 20.1.

FIGURA 20.1
ZONAS CLIMÁTICAS EN CHILE CONTINENTAL



Comenzando por el norte se encuentra la región 1.a), también llamada Norte Grande, la cual prácticamente no recibe efectos de frentes polares, se registran muy pocas precipitaciones y la humedad es muy baja. En su parte oriental (región 1.b), formada por una meseta alta, recibe lluvias paramazónicas de verano y acumulación de nieve en las altas cumbres.

La zona 2 abarca desde Copiapó hasta el río Aconcagua. Esta es una zona de transición climática, en la cual se comienzan a recibir lluvias de invierno, aunque presentan una gran irregularidad, mientras en los sectores altiplánicos persisten algunos efectos del invierno altiplánico.

Entre el río Aconcagua y el Imperial se desarrolla la zona 3, de carácter templado y clima mediterráneo. Las lluvias se concentran en la estación fría de invierno, mientras la estación cálida es de carácter seco.

Entre las ciudades de Temuco por el norte y Puerto Montt por el sur, el clima es del tipo templado húmedo que caracteriza a la zona 4.a). En esta zona hay una reducción del período seco, con un aumento de las precipitaciones.

Entre el canal de Chacao y el río Cisnes se considera un clima templado húmedo frío. Aquí las precipitaciones son constantes e importantes. Más al sur, la región se divide climáticamente de norte a sur en la vertiente del Pacífico, con un clima muy frío y alta pluviosidad, y una zona en la vertiente occidental, al oriente de las altas cumbres, con una marcada menor pluviosidad. A continuación, en la Tabla 20.1. se presentan los valores de la precipitación promedio en algunas ciudades del país:

TABLA 20.1
PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL EN ALGUNAS CIUDADES

ZONA CLIMÁTICA REGIÓN	CIUDAD	P.P. ANUAL [mm/año]	DÍAS CON LLUVIA	AGUA CAÍDA POR DÍA DE LLUVIA [mm]
DESIERTO ÁRIDO				
XV Arica y Parinacota	Arica	1	0	4
I Tarapacá	Iquique	1	0	4
II Antofagasta	Antofagasta	5	1	6
	Calama	4	1	4
	S. Pedro de Atacama	28	6	3
SEMIÁRIDA				
III Copiapó	Copiapó	10	2	9
	Vallenar	31	4	11
IV Coquimbo	La Serena	84	9	10
	Ovalle	114	10	13
	Illapel	177	17	14
V Valparaíso	Valparaíso	389	28	13
	Los Andes	261	23	12
	San Antonio	494	29	13
MEDITERRÁNEA				
XIII R. Metropolitana	Santiago	300	28	12
VI O'Higgins	Rancagua (rengo)	406	37	14
VII Maule	Talca (San Luis)	647	49	14
	Curicó	717	47	15
	Linares	895	57	16
	Constitución	755	59	15
VIII Bío Bío	Concepción	1162	74	15
	Chillán	1080	69	15
IX Araucanía	Temuco	1217	127	10
TEMPLADA HÚMEDA				
XIV Los Ríos	Valdivia	2307	154	13
X Los Lagos	Pto. Montt	1911	181	10
	Ancud	2965	250	10
TEMPLADA H. OCEÁNICA				
XI Gral. Carlos Ibáñez	Castro	1886	203	11
	Pto. Cisnes	3939	245	19
	Coyhaique	1190	121	9
	Pto. Aisén	2803	212	14
FRÍA H. OCEÁNICA				
XII Magallanes	Chile Chico	355	43	8
	Pta. Arenas	423	81	6
	Pto. Williams	575	104	5

ART. 20.3 OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL

Estas obras tienen por objeto recoger las aguas provenientes de precipitaciones o derrames de cualquier naturaleza, que puedan alcanzar el pavimento.

El proyectista, para estudiar la solución adecuada y obtener una rápida evacuación de las aguas, puede adoptar las siguientes medidas:

A. Disponer pendientes transversales adecuadas en calzadas y aceras.

B. Disponer una pendiente longitudinal que permita un escurrimiento fácil e impida posibles apozamientos.

C. Proveer sistemas adecuados de captación, almacenamiento, infiltración, canalización y de conducción de las aguas, tales como: sumideros, cámaras, lagunas y estanques de almacenamiento, zanjas de infiltración, canales con revestimiento, colectores, entre otros.

20.3.1 SUMIDEROS

Se recomienda que estos elementos se consideren dentro del proyecto de aguas lluvias, dado que son los encargados de captar y conducir el escurrimiento superficial, preferentemente de las vías, hacia los elementos del sistema secundario o primario, según sea el caso.

En la determinación de la capacidad hidráulica de captación de los sumideros inciden una serie de variables, como son las siguientes:

- Tipo de sumidero
- Ubicación
- Pendiente de la calle
- Características del flujo a captar y conducir
- Sedimentos que lleve el agua

En el diseño se introducen factores de corrección para tomar en cuenta los efectos de estas variables.

20.3.1.1 TIPOS DE SUMIDEROS

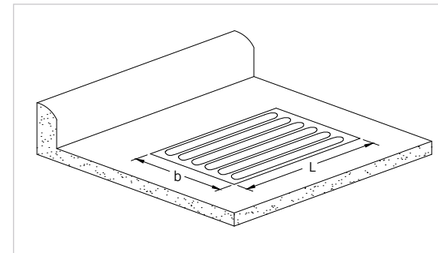
Los sumideros a emplear son los que se presentan en las Láminas tipo Nº 7.3 a 7.8 del Apéndice III. Se recomienda considerar para su selección los aspectos del tránsito, seguridad de peatones y vehículos, operación en condiciones extremas, conservación y costos. En caso de que la capacidad del sumidero sea insuficiente se contemplarán sumideros dobles.

Los sumideros, en general, son de tres tipos:

20.3.1.1.1 SUMIDEROS HORIZONTALES

Con rejilla y ubicados en la cuneta funcionan en forma efectiva dentro de un rango amplio de pendientes de la calle. Su inconveniente es que las rejillas se obstruyen con facilidad y pueden generar inconvenientes para ciclistas y peatones. Corresponden a los tipos S3 y S4, los cuales se presentan en las Láminas tipo Nº 7.5 y 7.6 del Apéndice III. En la Figura 20.2 se muestra la configuración que posee este tipo de sumidero:

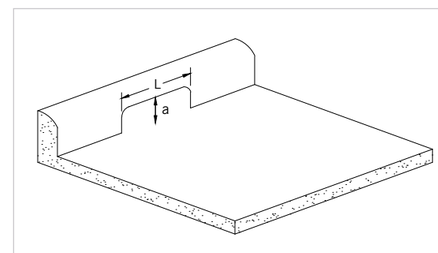
TABLA 20.2
SUMIDERO HORIZONTAL



20.3.1.1.2 SUMIDEROS LATERALES DE ABERTURA EN LA SOLERA

Funcionan admitiendo objetos arrastrados por la corriente, pero su capacidad decrece con la pendiente, de manera que no se recomiendan para calles con pendientes longitudinales superiores al 3%. Pueden confeccionarse a partir del tipo S2, si se elimina la abertura horizontal en la cuneta. Cuando se utilice de este tipo de sumidero se recomienda, para su buen funcionamiento, aumentar la pendiente transversal de la calzada en la zona de la cuneta. En la Figura 20.3 se muestra la configuración para este tipo de sumidero:

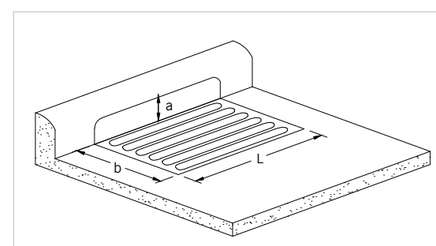
TABLA 20.3
SUMIDERO LATERAL



20.3.1.1.3 SUMIDEROS MIXTOS

Combinan aberturas horizontales en la cuneta y laterales en la solera. Se recomiendan para un amplio rango de condiciones. Corresponden a los tipos S1 y S2, los cuales se presentan en las Láminas tipo Nº 7.3 y 7.4 del Apéndice III. Su configuración se presenta en la Figura 20.4:

TABLA 20.4
SUMIDERO MIXTO



20.3.1.2 UBICACIÓN DE LOS SUMIDEROS

Los sumideros se ubican, ya sea solos o formando baterías de sumideros en serie, preferentemente en la cuneta de las calles y en los lugares que resulten más efectivos, para lo cual se pueden considerar las siguientes recomendaciones:

A. Inmediatamente aguas abajo de secciones en las que se espera recibir una cantidad importante de aguas lluvias, como salidas de estacionamientos, descargas de techos y conexiones de pasajes.

B. Siempre que la cantidad acumulada de agua en la cuneta sobrepase la cantidad máxima permitida para condiciones de diseño.

C. Se prohíbe la colocación de sumideros atravesados transversalmente en las calzadas.

D. Para conectar los sumideros a la red se prefiere hacerlo en las cámaras. En estos casos, el tubo de conexión llega a la cámara con su fondo sobre la clave del colector que sale de la cámara.

E. Cuando sea necesario conectar un sumidero directamente al colector, la conexión se hace por la parte superior de este último. Se recomienda que el tubo de conexión sea recto, sin cambio de diámetro, pendiente ni orientación, y que el ángulo de conexión entre el tubo y el colector sea tal que entregue con una componente hacia aguas abajo del flujo en el colector. Para este empalme pueden emplearse piezas especiales.

F. Los sumideros también se pueden conectar directamente a otros elementos de la red secundaria, como pozos, zanjas, estanques o lagunas.

En cuanto a las intersecciones de calles, se pueden considerar los siguientes criterios:

G. En las intersecciones entre calles, para captar el 100% del flujo que llega de estas, se ubican aguas arriba del cruce de peatones, de manera de evitar que el flujo cruce las calles en las intersecciones.

H. En las partes bajas de las intersecciones de calles, formadas por las cunetas que llegan desde aguas arriba, se trata de evitar que existan zonas bajas en las que se pueda acumular el agua, favoreciendo el flujo hacia aguas abajo.

I. En las intersecciones se evita que el flujo de cualquiera de las cunetas cruce transversalmente la otra calle.

J. En ningún caso, el flujo de la calle de menor importancia puede cruzar superficialmente la calle principal.

K. Si es necesario que el flujo de la calle principal cruce la calle secundaria, se provee de un badén.

L. Evitar que se formen zonas bajas, facilitando el drenaje hacia aguas abajo.

Representaciones para distintas configuraciones de intersecciones se presentan a continuación en las Figuras 20.5; 20.6; 20.7 y 20.8.

FIGURA 20.5
SUMIDEROS EN CRUCE DE CALLES DE IGUAL IMPORTANCIA, SIN SUPRESIÓN DE LOS CORONAMIENTOS
(Las flechas indican el sentido de flujo y la pendiente principal de la calzada)

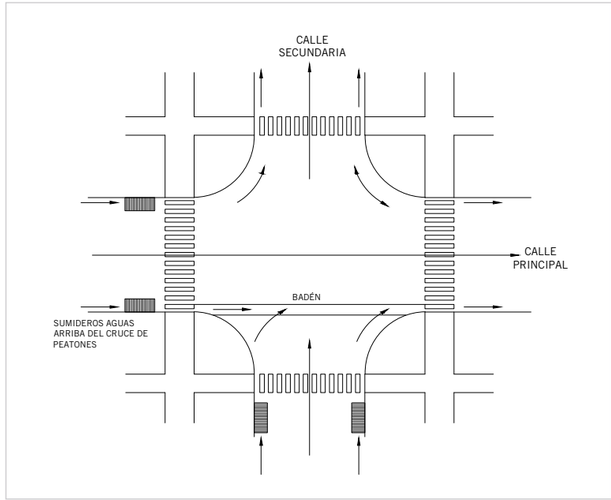


FIGURA 20.6
SUMIDEROS EN CRUCE DE CALLE DE DISTINTA IMPORTANCIA, EN EL CUAL SE SUPRIME EL CORONAMIENTO DE LA CALLE SECUNDARIA
(Las flechas indican el sentido de flujo y la pendiente principal de la calzada)

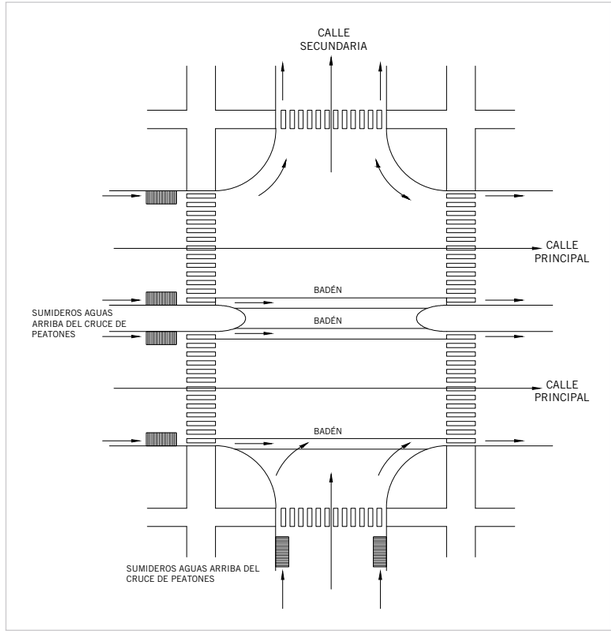


FIGURA 20.7
SUMIDEROS EN CRUCE DE CALLE CON BANDEJÓN CENTRAL PARA CALZADA CON CUNETAS A AMBOS LADOS
(Las flechas indican el sentido de flujo y la pendiente principal de la calzada)

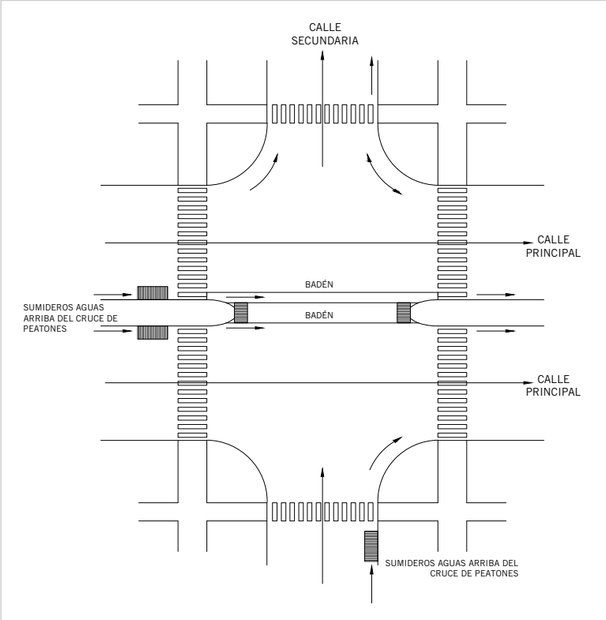
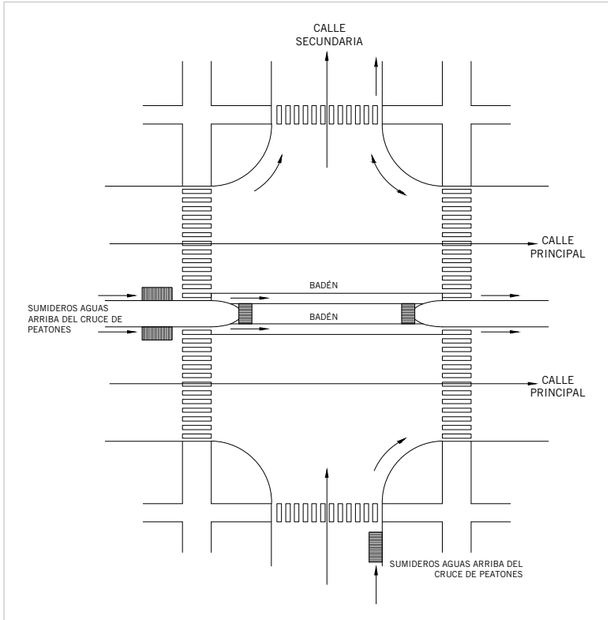


FIGURA 20.8
SUMIDEROS EN CRUCE DE CALLE CON BANDEJÓN CENTRAL PARA CALZADA CON CUNETAS A UN SOLO LADO DE LA CALZADA EN EL BANDEJÓN CENTRAL
(Las flechas indican el sentido de flujo y la pendiente principal de la calzada)



Las capacidades máximas y de diseño de los sumideros tipo, se presentan en los apartados 21.2.2.1. y 21.2.2.2., respectivamente.

20.3.2 CÁMARAS DE INSPECCIÓN

Consisten en un receptáculo instalado y construido bajo el nivel del suelo, que permite tener acceso a los ductos y canalizaciones para su revisión y limpieza. El tramo de la canalización entre cámaras debe ser recto. En las obras de drenaje, estas cámaras están asociadas, fundamentalmente, a las obras de infiltración, como zanjas y pozos, alimentadas por medio de tuberías. Dependiendo de la ubicación de la obra, se presentan dos tipos de cámaras:

20.3.2.1 CÁMARAS TIPO A

Para ser usadas en lugares públicos en los cuales existe la posibilidad de tránsito de vehículos sobre la cámara, como es el caso de las ubicadas en calzadas, estacionamientos, pasajes para vehículos, patios de carga y descarga e incluso veredas. Estas se construyen en hormigón armado y disponen para el acceso de una tapa circular tipo calzada.

20.3.2.2 CÁMARAS TIPO B

Para ser empleadas en lugares sin tránsito de vehículos, como es el caso de áreas verdes, recintos privados, patios, jardines e interiores de instituciones de acceso controlado. Se pueden construir en albañilería de ladrillo y disponen para su acceso de una tapa tipo calzada.

Adicionalmente, pueden usarse cámaras de inspección prefabricadas, del tipo empleadas en redes públicas de alcantarillado, dimensionadas de acuerdo con la NCh 1623, que define dimensiones para cámaras tipo A y cámaras tipo B, según la profundidad total.

20.3.2.3 UBICACIÓN

En cuanto a su disposición, las cámaras se colocan de manera de asegurar que los tubos entre ellas sean rectos y uniformes. Para ello, es recomendable considerar una cámara, al menos en las siguientes situaciones:

- Al inicio de la red
- Cuando corresponda cambio de diámetro en el colector
- Cuando corresponda un cambio de pendiente del colector
- Cuando se requiera un cambio de orientación o dirección del colector
- Cuando corresponda cambio del material del tubo
- Cuando se necesite intercalar una caída o cambio de nivel brusco del tubo
- Cuando confluyan dos o más colectores
- En tramos rectos, cada 120 metros como máximo

Además, una misma cámara puede utilizarse para una o más de las funciones indicadas. Para el dimensionamiento de las cámaras, ver el apartado 21.2.3.

20.3.3 POZOS ABSORBENTES

Un pozo absorbente consiste en una excavación de forma tronco-cónica, situada a cierta profundidad bajo la rasante del pavimento. En su interior, el pozo se rellena hasta cierta altura, con piedras bolones de un diámetro no inferior a 0,20 m. La altura del pozo es tal, que permite alcanzar hasta una capa permeable del terreno. Por otra parte, se encuentra conectado con uno o más sumideros a través de un tubo, cuya pendiente mínima recomendable es del 2%.

El pozo absorbente permite, en esta forma, captar las aguas de la calle, que se filtran a través de la capa de piedras, bolones y luego, a través del estrato permeable del suelo.

En la Lámina tipo Nº 21.1 del Apéndice III se indican las características constructivas de estas obras.

20.3.4 OBRAS DE INFILTRACIÓN

Las obras de infiltración captan el flujo superficial y facilitan su infiltración en el suelo. Entre las obras de infiltración se encuentran los estanques, zanjas y pozos de infiltración.

20.3.4.1 ESTANQUES DE INFILTRACIÓN

Estanques de poca profundidad, ubicados en suelos permeables, que aprovechan la existencia de depresiones naturales en áreas abiertas. Almacenan temporalmente el agua y la infiltran en un tiempo relativamente corto, ya que operan con alturas de agua pequeñas, del orden de pocos centímetros.

Entre lluvias, estas son áreas verdes que permiten otros usos públicos. Las especificaciones de diseño se encuentran en la Sección 4.2.1. de la guía de diseño: “Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos”, del Minvu.

20.3.4.2 ZANJAS DE INFILTRACIÓN

Obras de infiltración longitudinales con profundidades recomendables entre 1 y 3 metros. Reciben el escurrimiento, ya sea desde la superficie o mediante tuberías perforadas que pueden entrar desde sus extremos. De esta última forma pueden ser tapadas, permitiendo otro uso de la superficie, como veredas o calzadas. Las especificaciones de diseño respectivas se encuentran en la sección 4.2.2. de la guía de diseño: “Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos”, del Minvu.

20.3.4.3 POZOS DE INFILTRACIÓN

Excavación puntual de profundidad variable, donde se infiltra el agua proveniente de la superficie.

Pueden usarse en serie, con obras de almacenamiento aguas arriba, como estanques. Además, se pueden utilizar en suelos en que los estratos superficiales no son permeables, pero el estrato infiltrante es de textura gruesa. También pueden proyectarse pozos de infiltración semi profundos, hasta 20 m, o pozos profundos, hasta 40 o 60 m. En todo caso, no es recomendable que este tipo de pozos descarguen directamente a la napa, para lo cual se deja entre el fondo del pozo y el nivel máximo del agua subterránea, una diferencia libre significativa. Las especificaciones de diseño se encuentran en la Sección 4.2.3. de la guía de diseño: “Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos”, del Minvu.

20.3.5 OBRAS DE ALMACENAMIENTO

Las obras de almacenamiento se usan para disminuir el caudal máximo hacia aguas abajo, por medio de la retención temporal y el almacenamiento controlado en zonas especialmente dispuestas y diseñadas para esto. Estas drenan hacia el sistema de drenaje de aguas abajo o hacia algún elemento de infiltración, como pozos o zanjas. Algunas obras de almacenamiento son estanques y lagunas de retención.

20.3.5.1 LAGUNAS DE RETENCIÓN

Se usan en lugares en que la napa de agua subterránea está alta o en zonas donde es posible contar con agua para satisfacer un volumen mínimo permanente que posee la laguna durante todo el año.

Las especificaciones de diseño se encuentran en la Sección 4.3.2. de la guía de diseño: “Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos”, del Minvu.

20.3.5.2 ESTANQUES DE RETENCIÓN

Volumen de almacenamiento disponible que normalmente se encuentra vacío, permitiendo su uso para otras actividades y que durante las tormentas se llena y vacía en pocas horas. Las especificaciones de diseño se encuentran en la Sección 4.3.1. de la guía de diseño: “Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos”, del Minvu.

También pueden utilizarse bloques prefabricados con espacio en la superficie que permita la infiltración y pavimentos permeables con detención subterránea, es decir, pavimentos con una alta porosidad y con capacidad de almacenar agua en la subbase bajo el pavimento.

20.3.6 OBRAS DE CANALIZACIÓN

Las obras de canalización se clasifican en dos grupos, de acuerdo con el régimen hidráulico imperante, que puede ser de “corriente abierta” o de “corriente cerrada”.

En el primer grupo se incluyen las siguientes obras: canales revestidos, canaletas, canoas, alcantarillas y acueductos. En el segundo grupo: sifones y tuberías a presión. Además, puede hacerse una distinción entre las obras de canalización longitudinales (su trazado es paralelo al eje de la vía) y las obras de canalización transversales (el trazado es normal o aproximadamente normal al eje de la vía).

20.3.6.1 CANALES

El uso de canales abiertos naturales o artificiales, con un diseño similar a la situación natural en sistemas de drenaje urbano de aguas lluvias, presenta las siguientes características:

Ventajas:

- Excelente relación costo-capacidad.
- Uso para recreación y esparcimiento.
- Aporte estético y al paisaje.
- Conservación de condiciones naturales.
- Proveen un cierto volumen de regulación para crecidas importantes.
- El almacenamiento en el canal tiende a disminuir los caudales máximos.

Desventajas:

- Necesidad de espacio.
- Costos de conservación.
- Solo se consideran para conducir aguas limpias.

En relación con el uso de canales naturales, uno de los problemas reconocidos en hidrología urbana está relacionado con la estabilidad, debido al incremento de los flujos base, el aumento de los caudales máximos y la frecuencia de crecidas una vez que el lugar se urbaniza.

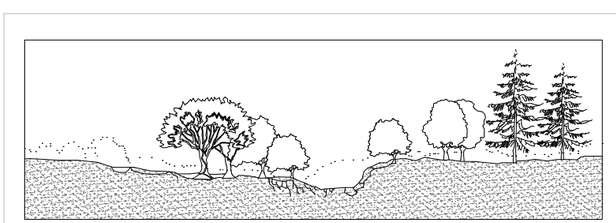
Existen diversas posibilidades de elección para el tipo de canalización, considerando las alternativas de condiciones hidráulicas, diseño ambiental, impacto social y requerimientos del proyecto. Sin embargo, desde un punto de vista práctico, se recomienda que las elecciones básicas que se adopten inicialmente consideren si es un canal revestido para altas velocidades, un canal con pasto, canal con vegetación natural o un cauce natural, existente previamente.

Los canales artificiales, sin ningún tipo de revestimiento, no se consideran como alternativa para situaciones urbanas. De este modo, desde el punto de vista urbano, se consideran las alternativas que se describen a continuación:

20.3.6.1.1 CANAL NATURAL

Consiste en un cauce excavado por la naturaleza antes que ocurra el proceso de urbanización. Son razonablemente estables, pero a medida que se urbaniza la cuenca tributaria, se pueden presentar problemas de erosión y puede ser necesario algún grado de control de fondo y protección localizada de taludes. A continuación, en la Figura 20.9 se presenta este tipo de canal:

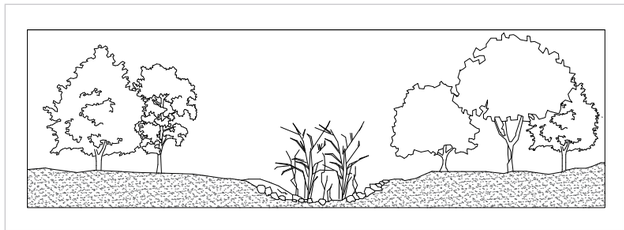
FIGURA 20.9
CANAL NATURAL



20.3.6.1.2 CANALES REVESTIDOS DE PASTO

Son muy utilizados en zonas urbanas. Proporcionan capacidad de almacenamiento, menores velocidades del flujo que transportan y beneficios de usos múltiples. Se puede requerir revestimientos para minimizar la erosión y los inconvenientes de conservación. Dentro de este grupo de canales se encuentran los con vegetación en el fondo, los cuales son diseñados para mantener una vegetación húmeda más permanente o ciertos tipos de vegetación local de zonas húmedas en el fondo del canal. A continuación, en la Figura 20.10 se presenta un canal con vegetación en el fondo:

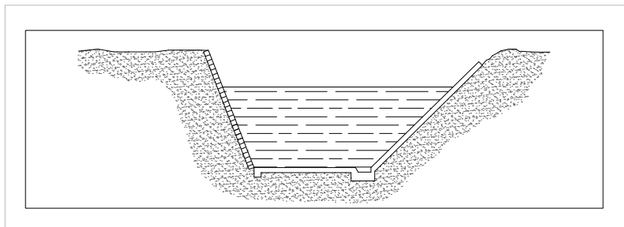
FIGURA 20.10
CANAL CON VEGETACIÓN EN EL FONDO



20.3.6.1.3 CANALES REVESTIDOS DE HORMIGÓN O ALBAÑILERÍA

Si bien este tipo de canales son diseñados para soportar altas velocidades de flujo, no se recomiendan como parte de sistemas de drenaje urbano. Solo en condiciones especiales o en tramos cortos, en los cuales las velocidades pueden ser importantes y no se dispone de espacio para desarrollar otras soluciones alternativas, este tipo de canal puede ofrecer ventajas. A continuación, en la Figura 20.11 se presenta este tipo de estructura:

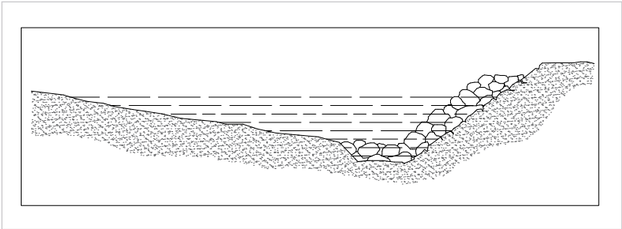
FIGURA 20.11
CANAL REVESTIDO



20.3.6.1.4 CANALES REVESTIDOS DE ENROCADOS

Se recomiendan en situaciones donde las condiciones de crecida pueden generar velocidades importantes que requieren una protección de este tipo. Son una buena alternativa para soluciones localizadas en tramos pequeños de canales naturales o con vegetación o de pasto. A continuación, en la Figura 20.12 se muestra un canal revestido de enrocado:

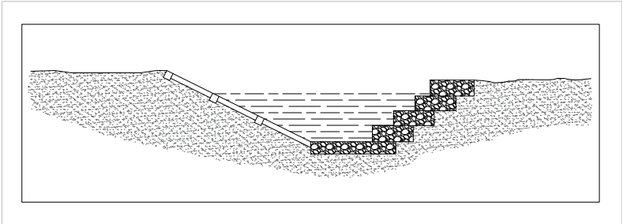
FIGURA 20.12
REVESTIMIENTO DE ENROCADO



20.3.6.1.5 OTROS CANALES REVESTIDOS

Aquí se incluyen los gaviones, bloques de concreto anclados o amarrados, mantas de diferentes materiales, así como distintos tipos de revestimientos y tejidos sintéticos. Estos tipos de materiales se consideran razonables para resolver problemas locales de erosión y altas velocidades en situaciones con condiciones ya desarrolladas, pero no para nuevas urbanizaciones ni para tramos largos de cauces de drenaje de aguas lluvias urbanas. A continuación, en la Figura 20.13 se presenta un canal revestido con gaviones:

FIGURA 20.13
REVESTIMIENTO DE GAVIONES



El dimensionamiento de los canales se presenta en el apartado 21.1.1.2. Un caso particular de los canales son las canaletas, las cuales presentan dimensiones mucho menores y, a su vez, transportan caudales más pequeños.

Estos elementos pueden ser de hormigón, construidos en sitio o prefabricados. Se usan secciones transversales rectangulares o trapeciales y las dimensiones de dichas secciones se fijan de acuerdo con el volumen de las aguas transportadas.

Se recomienda que el espesor de las paredes de las canaletas sea el mínimo necesario, de acuerdo con el tamaño del agregado grueso empleado. Por lo general, basta un espesor de dos a tres centímetros si son prefabricadas y de siete centímetros si son construidas en sitio.

Se recomienda que en las juntas entre elementos prefabricados o bien, en las que se dejen para controlar los esfuerzos de compresión y de expansión, si la canaleta se construye en sitio, se impida cualquier posible filtración, colocando en dichas juntas un relleno de material impermeable, similar al usado en las juntas de pavimentos. Dichas juntas tienen un ancho no mayor de 5 mm.

20.3.6.2 CANOAS

Las canoas son estructuras para la conducción de aguas y se encuentran situadas a una determinada altura sobre el nivel del pavimento, por consiguiente, están apoyadas sobre pilares o machones ubicados a una determinada distancia entre sí. Se presenta, por ejemplo, la necesidad de construir una canoa, cuando un curso de agua cruza una vía urbana sobre un paso inferior construido en el cruce con otra vía urbana o con una vía férrea.

Una canoa puede ser de hormigón armado, de acero o de madera. Su sección transversal es la misma que la del curso de agua respectivo. Además, es de absoluta necesidad en estas obras asegurar que las juntas entre los elementos que la forman sean impermeables, para lo cual se recomienda usar los materiales o dispositivos apropiados en cada caso.

20.3.6.3 ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLAS

Se consideran acueductos aquellas canalizaciones construidas mediante elementos de sección transversal cerrada, prefabricadas o construidas en sitio, las que pueden tener variadas formas: circular, cuadrada, rectangular, ovoidal, en arco de medio punto, en arco rebajado, etc. Tratándose de una canalización en que circula una corriente abierta, el agua no cubre por completo la sección transversal y, en consecuencia, sobre su superficie se acepta que actúe la presión atmosférica.

Una alcantarilla es simplemente un acueducto de longitud reducida que, por lo común, se usa en el diseño de franjas de pasto, para cruzar una vía o bajo entradas de vehículos. Generalmente, estas obras soportan la acción de cargas exteriores, tales como las debidas a una determinada altura de tierras o las transmitidas por los vehículos.

20.3.6.4 SIFONES

Un sifón es un conducto cerrado, una de cuyas partes está por encima del nivel del agua. Como resultado dicha parte está sometida a una presión inferior que la atmosférica y, por lo tanto, requiere que se haga el vacío para que funcione. El sifón utiliza la presión atmosférica para iniciar o incrementar el flujo del agua a través de él.

Otro caso, en el que se utilizan sifones, es cuando se requiere pasar con un canal bajo otro elemento, como una calle. Es en este caso cuando se utilizan los llamados “sifones invertidos”, los cuales son conductos cerrados en los que todas las partes están bajo el nivel del agua y, por lo tanto, están sometidas a presiones superiores a la atmosférica.

La construcción de un sifón en una vía urbana se presenta, como en el caso de una canoa, cuando es necesario salvar cierto desnivel, tal como sucede en un paso inferior; solo que en lugar de mantener el nivel de la corriente a través del paso, se la hace descender hasta pasar por debajo del nivel de la calzada, para luego subir nuevamente hasta alcanzar el nivel primitivo. Es también el caso de una tubería que pase a cierta profundidad por debajo de la calzada.

20.3.6.5 TUBERÍAS A PRESIÓN

Están constituidas en igual forma que los sifones y trabajan también en la misma forma, diferenciándose en cuanto a que su longitud es muy superior, pudiendo recorrer cientos de metros.

20.3.7 RED DE AGUAS LLUVIAS

La red secundaria de un sistema de aguas lluvias está formada por diversos elementos para la captación, retención, almacenamiento, conducción y entrega de las aguas generadas en la urbanización. Los elementos de conducción normalmente reciben el nombre de colectores y pueden ser superficiales o subterráneos.

Tradicionalmente, se han empleado colectores subterráneos, ya que permiten utilizar el suelo para

otros fines, lo que facilita la urbanización de sectores de alta densidad o con pocas áreas verdes. Sin embargo, dado que los sistemas de aguas lluvias se utilizan solo esporádicamente en días de lluvia y las urbanizaciones deben disponer de sectores de áreas verdes, es posible utilizar colectores superficiales, con diseños especiales para sectores urbanos que pueden resultar significativamente más económicos y adecuados para la urbanización, si se diseñan correctamente.

20.3.7.1 COLECTORES SUBTERRÁNEOS

En este caso, el sistema de conducción de la red secundaria de un sistema de aguas lluvias está formado por tuberías y cámaras, que reciben el agua desde los sumideros y la conducen hacia un punto de entrega.

Los tubos de los colectores son generalmente circulares, prefabricados de materiales como mortero de cemento comprimido, fibrocemento, PVC y otros materiales autorizados.

Pueden considerarse otros tipos de sección y construidos en terreno de acuerdo con las condiciones de proyecto y los costos involucrados. El dimensionamiento de los colectores se presenta en el apartado 21.2.1.

20.3.7.2 COLECTORES SUPERFICIALES

Se recomienda que el proyectista considere la conservación y/o mejoramiento de los cauces naturales que se encuentren al interior del área de desarrollo. En las nuevas urbanizaciones puede incorporar estos cauces a la urbanización, con un diseño adecuado, considerando que, en general, los cauces abiertos presentan mayores capacidades de conducción que los cerrados cuando son superadas las capacidades de diseño. Sin embargo, se aconseja tener cuidado con la utilización de canales de riego para el drenaje de aguas lluvias, ya que ellos han sido diseñados con otros criterios y es muy difícil que se adapten para estos fines.

ART. 20.4 OBRAS DE SUBDRENAJE

El buen comportamiento de los pavimentos a menudo requiere de varios tipos de obras de subdrenaje. La presencia de agua disminuye la resistencia de la estructura del pavimento y su subrasante. Por lo tanto, es indispensable contar con un adecuado sistema de drenaje, el cual se puede diseñar y construir para un correcto desempeño a largo plazo, con conservaciones periódicas que permitan su adecuado funcionamiento.

Las aguas presentes bajo la superficie de los pavimentos, ya sea que hayan llegado allí por gravedad o capilaridad, deben ser interceptadas y evacuadas. De esta manera, se han definido dos criterios principales para el diseño de las obras de subdrenaje en pavimentos:

- Tiempo de drenaje de la base o subbase.
- Entrada y salida del flujo. Se desea conseguir que el drenaje de las aguas ocurra a una razón mayor o igual que el flujo de entrada, evitando de esta manera la saturación del sistema.

La remoción del agua libre puede ser acompañada por el drenaje del agua que se infiltra verticalmente a la subrasante a través del pavimento o lateralmente, a través de capas drenantes, junto con un sistema de colectores. Generalmente, el proceso actual incluye una combinación de ambos.

A continuación, se presentan las tradicionales y nuevas técnicas constructivas utilizadas en el país. Dentro de las primeras, se encuentran los drenes de piedras y drenes de tubos, como nueva técnica se presentan los drenes laterales.

20.4.1 DRENES DE PIEDRA

Se utilizan para pequeños caudales de aguas subterráneas, de tipo permanente o temporal. Su efecto es producir una depresión de la napa freática o bien, impedir que el agua penetre a la subrasante.

Los drenes de piedra consisten, por lo general, en fosas rectangulares de 25 cm de ancho y 50 cm de profundidad, que se construyen sobre un estrato impermeable y que se rellenan con piedras de diferente tamaño, que decrece gradualmente hacia la superficie. Se prefiere el material de forma alargada, permitiendo una mayor superficie de escurrimiento en la parte inferior, mientras que en la superior, la capa de material granular fino cumple la función de filtro.

Estas obras no están sujetas a cálculo hidráulico y su efectividad se estima solo en base a los resultados observados en obras existentes donde se aprecien condiciones similares.

20.4.2 DRENES DE TUBOS

Se emplean habitualmente para evacuar aguas subterráneas de pequeño y mediano caudal, tanto en terrenos impermeables como permeables. Los drenes de tubos consisten en tuberías perforadas de arcilla, cemento asbesto o metal, colocadas sobre una base de material impermeable, dentro de fosas rectangulares rellenas de material pétreo filtrante.

Cuando el suelo en el entorno de los drenes es permeable, estos llevan sus perforaciones en la parte superior; en caso contrario, la tubería se sitúa por debajo del nivel del manto acuífero y las perforaciones se sitúan en la parte lateral inferior.

Las dimensiones de la fosa dependen principalmente del diámetro de la tubería y del nivel del manto acuífero, siendo usuales los anchos comprendidos entre d +30 y d +120, en centímetros, siendo “d” el diámetro interior nominal de la tubería. En cuanto a la profundidad, por lo general, equivale al doble del ancho.

El cálculo hidráulico de la tubería se efectúa mediante los métodos usuales para el cálculo de conductos cerrados de tipo circular, mencionados en la Sección 21, para el dimensionamiento de colectores de aguas lluvias.

20.4.3 DRENES LATERALES

La construcción de sistemas de drenaje lateral, hoy en día, es la clave para proveer un buen drenaje de las aguas en los pavimentos. En cuanto al proceso constructivo de estos dispositivos, se distinguen las siguientes etapas:

20.4.3.1 EXCAVACIÓN Y EMPLAZAMIENTO DE LA TUBERÍA

Se recomienda que la zanja, dentro de la cual se sitúa la tubería, tenga la profundidad mínima necesaria para garantizar que la clave de la tubería de drenaje se encuentre al menos a 5 cm bajo la parte inferior de la base permeable. Además, es recomendable situar un material de apoyo bajo la tubería, de un espesor mínimo de 5 cm.

La zanja se excava a una profundidad constante, de manera que tenga la misma pendiente del terreno. Para lograr este objetivo, el fondo de la zanja está formado o acanalado hasta el tercio inferior de la tubería. El material de apoyo ayuda a sostener el tubo en su lugar durante la instalación.

20.4.3.2 COLOCACIÓN DE GEOTEXTIL

La zanja donde se ubica el dren lateral se protege con un geotextil, para prevenir la migración de finos desde el suelo. Sin embargo, la parte superior de la zanja adyacente a la base permeable se deja abierta para permitir el paso directo del agua al tubo de drenaje.

20.4.3.3 COLOCACIÓN DE TUBOS DE DRENAJE Y RELLENO DE APOYO

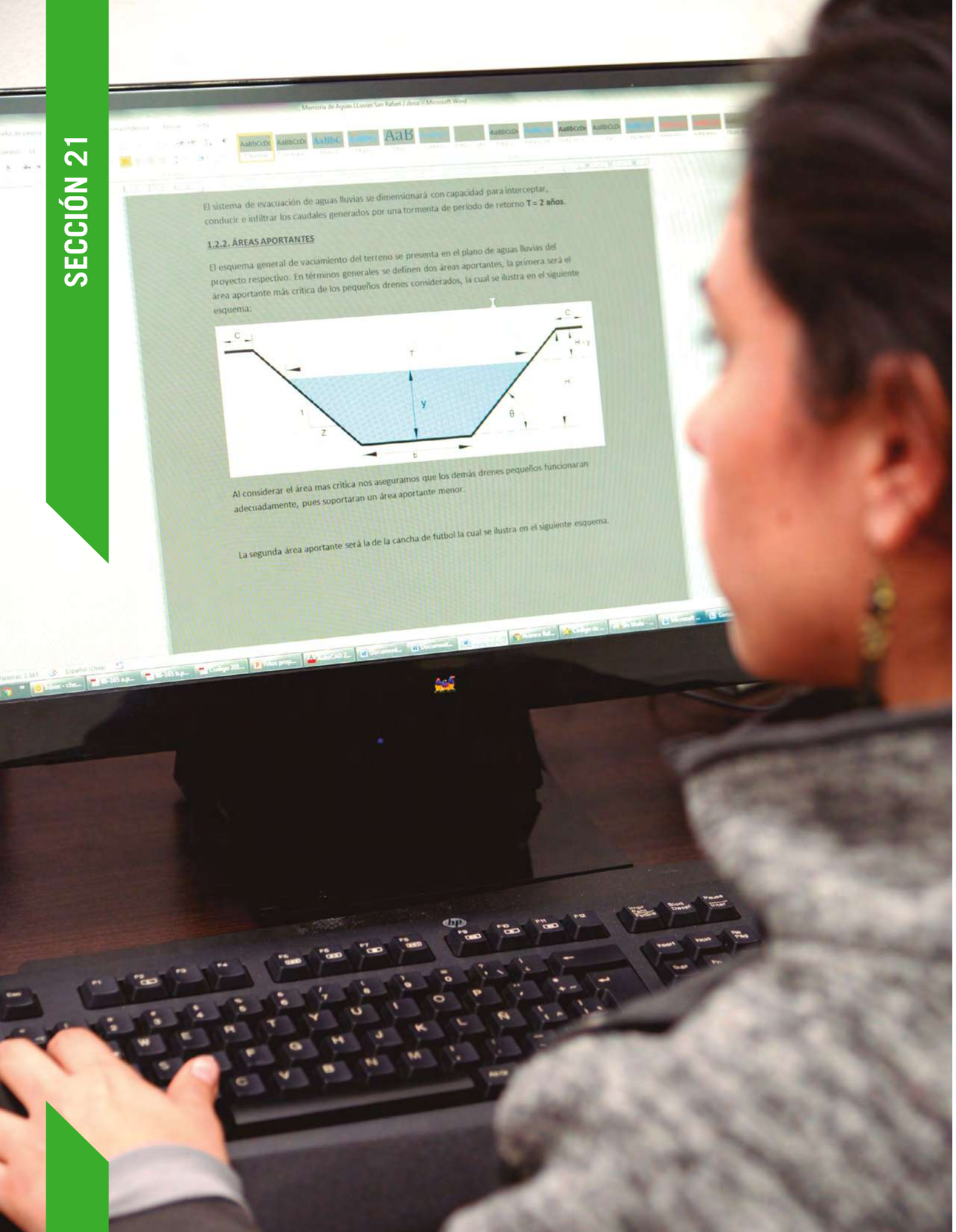
En el caso de utilizar una capa de descanso sobre la cual se coloca la tubería, primero se hace el acanalamiento de la zanja antes de depositar el material de relleno.

El material de relleno se coloca utilizando tolvas u otro medio, con el fin de evitar amortiguar el material, al ser vertido desde la parte superior de la zanja. Para prevenir el desplazamiento de los tubos de drenaje durante la compactación, el material de relleno no se compacta hasta que la zanja se rellene por sobre la clave de la tubería. Además, para evitar el daño de los tubos durante la compactación, se recomienda dejar un mínimo de 15 cm de material de relleno sobre la clave de la tubería, antes de la compactación.

Alcanzar la consolidación adecuada en una zanja estrecha puede ser difícil. La consolidación inadecuada puede producir asentamientos; los que, a su vez, pueden producir deterioros en las bermas. Se recomienda compactar a una densidad mínima del 95% del Proctor modificado (NCh 1534/2).

SECCIÓN 21

DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS EN SECTORES URBANOS. DISEÑO HIDRÁULICO



SECCIÓN 21

DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS EN SECTORES URBANOS. DISEÑO HIDRÁULICO

ART. 21.1 ESCURRIMIENTOS ABIERTOS

21.1.1 DIMENSIONAMIENTO DE CANALES U OTROS TIPOS DE CONDUCCIÓN SUPERFICIAL

El dimensionamiento requiere disponer de antecedentes hidrológicos, de terreno y del proyecto de urbanización o del entorno ya urbanizado, de manera de estimar las dimensiones principales de la obra de acuerdo con los criterios propuestos.

Como antecedentes hidrológicos, es necesario conocer las precipitaciones para estimar los caudales afluentes de crecidas de 2, 5, 10 y 100 años de período de retorno, tanto en condiciones naturales como con la zona totalmente desarrollada. Para conocer los valores de la precipitación promedio anual en las principales ciudades del territorio nacional, véase la Tabla 20.1.

Además, es necesario conocer las condiciones climáticas del lugar para establecer las necesidades de riego de las superficies revestidas con pasto. Se recomienda estimar los caudales base aportados por otras fuentes y los gastos mínimos que pueden escurrir fuera de las temporadas de lluvias.

En relación con el terreno, se recomienda disponer de información topográfica detallada para trazar el canal, determinar las pendientes necesarias por tramo, establecer las servidumbres y conocer los espacios disponibles para la sección completa del canal. Además, es necesario conocer las características de los suelos para estimar costos de excavación, necesidades de relleno y de plantaciones.

En base a los antecedentes disponibles y con los criterios establecidos, se determina el trazado en planta del canal, las pendientes de fondo por tramo, las velocidades medias del escurrimiento y las características de la sección transversal. En este sentido, se consideran coeficientes de rugosidad equivalentes a canales nuevos y limpios para estimar las velocidades con fines de establecer límites de erosión.

Para calcular la sección completa y la revancha, así como las servidumbres, se consideran rugosidades equivalentes a situaciones con vegetación totalmente desarrollada.

Una vez establecidas las condiciones de escurrimiento normal, es necesario determinar las obras especiales que se requieran para acomodar la pendiente a las condiciones del terreno: caídas, angostamientos, ensanches, cruces, alcantarillas, puentes, entre otros.

Como se puede apreciar, se estima el valor del caudal a escurrir por la obra que se pretende emplazar, para luego proceder a su correspondiente diseño y dimensionamiento.

21.1.1.1 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL

El caudal de un escurrimiento abierto puede medirse mediante aforos y ponderarse de acuerdo con parámetros estadísticos, que tengan una mayor confiabilidad, cuanto más completo sea el registro de los datos obtenidos a lo largo del tiempo. Sin embargo, las mediciones directas de caudal son escasas y es conveniente utilizar métodos alternativos para su estimación.

21.1.1.1.1 MÉTODOS PARA ESTIMAR UN CAUDAL DE DISEÑO

Existen varios procedimientos alternativos para definir un caudal de diseño para una obra de drenaje urbano, los cuales son más o menos pertinentes en distintas situaciones, dependiendo de la información hidrológica disponible y de las características de la cuenca. Todos ellos tienen un cierto grado de subjetividad y suponen distintas hipótesis.

El objetivo del cálculo de la crecida de diseño es dimensionar las obras de drenaje, de manera que operen adecuadamente en la mayoría de las situaciones que enfrenten, y fallen solo con una baja probabilidad cuando se sobrepase el valor de la crecida de diseño. Entonces, para seleccionar una crecida de diseño, es necesario asociar una probabilidad de ocurrencia a las distintas magnitudes de la crecida.

Dicha probabilidad de ocurrencia se encuentra directamente relacionada con el período de retorno "T" que se le asigne a la obra en cuestión. Este valor lo fija el proyectista, atendiendo a la importancia de la vía y de la obra de drenaje correspondiente. La Tabla 21.1. puede servir como referencia respecto de los diferentes rangos en que se ubican los períodos de retorno comúnmente aceptados:

TABLA 21.1
PERÍODOS DE RETORNO

TIPO DE ESTRUCTURA	PERÍODO DE RETORNO [años]
Puentes	25-50
Alcantarillas grandes	10-25
Alcantarillas medianas	5-10
Alcantarillas pequeñas	2-5

Para dimensionar los elementos de las obras de drenaje de una urbanización, se supone que sobre la cuenca se recibe una tormenta de diseño, de manera que para las tormentas, iguales o menores a ella, las obras funcionan adecuadamente. Para tormentas mayores se acepta que los elementos vean sobrepasadas sus capacidades de diseño, pero se verifica que no provoquen problemas graves.

Las obras de conducción se dimensionan para conducir un gasto Q, la tormenta de diseño se selecciona a partir de las curvas IDF del lugar, con el período de retorno de diseño y una duración igual a 1 hora si el área de la cuenca es menor a 50 ha, y el tiempo de concentración de la cuenca es menor a 1 hora. Si tanto el área de la cuenca o su tiempo de concentración son mayores a los valores mencionados previamente, se recomienda usar tormentas de diseño de 24 horas de duración.

Para obras de almacenamiento o cuando no se tiene seguridad sobre la estimación del tiempo de concentración, es conveniente seleccionar como tormenta de diseño una de 24 horas de duración con intensidades obtenidas de la curva IDF para el período de retorno de diseño.

Como anteriormente se menciona, los aforos directos de caudal son poco frecuentes y es usual estimar las crecidas de diseño en base a la relación que existe entre la precipitación y el escurrimiento.

21.1.1.1.2 MODELOS PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA

Los métodos indirectos para el estudio de crecidas son procedimientos que permiten transformar la precipitación efectiva en escorrentía. De esta manera, es posible aprovechar la mayor cantidad de información de precipitación existente, para extender así registros escasos de caudal y mejorar de esta manera los métodos para estimar crecidas en aquellos puntos que no cuentan con información, o bien, esta es escasa.

Dentro del ámbito de los modelos precipitación-escorrentía existe gran variabilidad entre los procedimientos disponibles, donde a medida que la complejidad aumenta, se incrementan también las necesidades de información básica para aplicarlo.

A continuación, se presentan los dos métodos más utilizados en el diseño de los sistemas de drenaje urbano: el método racional y el método basado en el concepto del hidrograma unitario.

A. MÉTODO RACIONAL

Este método es ampliamente utilizado para estimar el caudal de diseño en cuencas urbanas y rurales pequeñas (preferentemente impermeables), debido a su evidente lógica y simplicidad.

El método en cuestión se recomienda para cuencas con áreas aportantes menores de 1.000 ha, pero se reportan casos de aplicación a cuencas del orden de 30.000 ha. Este método establece que el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y al tamaño de la cuenca aportante.

La principal ventaja de este método es su simplicidad, lo que se traduce en que el resultado es fácilmente controlado en función de variables observables, de tal forma que ha sido muy utilizado como método de comparación. Independientemente del empleo de otros procedimientos más sofisticados, se recomienda siempre comparar los resultados con los que entrega el método racional.

El caudal máximo asociado a un determinado período de retorno se calcula con la siguiente expresión:

$$Q = \frac{C * i * A}{3{,}6}$$

Donde:
Q: Caudal máximo de crecida en [m^3/s]
C: Coeficiente de escorrentía de la cuenca
i: Intensidad de la lluvia de diseño en [mm/h]
A: Superficie de la cuenca aportante en [km^2]

A pesar de la aparente facilidad y simplicidad del método, la determinación adecuada del coeficiente de escurrimiento y de la intensidad de la lluvia de diseño, implica un cuidadoso y juicioso análisis en cada caso.

El coeficiente de escorrentía C representa la fracción del volumen total de agua caída que escurre sobre la superficie del suelo, sin infiltrarse ni evaporarse. Su valor depende de las características del terreno, uso y manejo del suelo, condiciones de infiltración y otros factores difíciles de cuantificar.

Para elegir el valor más apropiado se recurre a tablas y a la experiencia y criterio del proyectista.

Nótese que en situaciones complejas se puede determinar un coeficiente de escorrentía ponderado en proporción a las áreas que ocupan cada tipo de superficie. A continuación, en la Tabla 21.2 se presentan los rangos usados para el valor de C:

TABLA 21.2
COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA

TIPO DE SUPERFICIE	COEFICIENTE
Áreas comerciales	
Céntricas	0.70-0.95
Suburbios	0.50-0.70
Áreas residenciales	
Casas aisladas	0.30-0.50
Condominios aislados	0.40-0.60
Condominios pareados	0.60-0.75
Suburbios	0.25-0.40
Departamentos	0.50-0.70
Áreas industriales	
Grandes industrias	0.50-0.80
Pequeñas	0.60-0.90
Parques y jardines	0.10-0.25
Calles	
Asfalto	0.70-0.95
Concreto	0.80-0.95
Adoquín	0.50-0.70
Ladrillo	0.70-0.85
Pasajes y paseos peatonales	0.75-0.85
Techos	0.75-0.95
Prados: suelo arenoso	
Plano (2%)	0.05-0.10
Pendiente media (2%-7%)	0.10-0.15
Pendiente fuerte (>7%)	0.15-0.20
Prados: suelos arcillosos	
Plano (2%)	0.13-0.17
Pendiente media (2%-7%)	0.18-0.22
Pendiente fuerte (>7%)	0.25-0.35

Se recomienda utilizar los valores medios de cada categoría, a menos que se justifique el empleo de los valores mínimos. Si se desea considerar condiciones de seguridad se pueden emplear los valores máximos indicados.

Los rangos de valores indicados en las tablas son para tormentas típicas con períodos de retorno de 2 a 10 años. Para tormentas mayores se recomienda usar el valor más alto dentro de cada rango o incluso valores mayores, si se estima conveniente.

Al aplicar este método es preciso tener presente sus hipótesis y limitaciones:

- El método supone que el coeficiente de escurrimiento es constante para las distintas condiciones de humedad de la cuenca y para distintas tormentas, lo cual es más valedero para tormentas intensas, donde una gran parte de la superficie tiende a saturarse y a comportarse como área impermeable.
- Se iguala el período de retorno de la tormenta al de la crecida, lo cual significa que el coeficiente de escorrentía es constante.
- Se acepta que la situación de lluvia más crítica es aquella con duración igual al tiempo de concentración.
- De esta manera, para conocer el valor del caudal máximo que escurre, se requiere conocer la intensidad de la precipitación para una duración igual al tiempo de concentración del área aportante.

Tiempo de concentración
El tiempo de concentración de una cuenca es el que transcurre desde el inicio de una tormenta de intensidad uniforme para que toda la superficie de la cuenca aporte al escurrimiento en la salida.

La importancia de dicho valor radica en que, si se seleccionan tormentas de duraciones mayores al tiempo de concentración, se asegura que la superficie aportante es la máxima.

A continuación, en la Tabla 21.3, se presentan las expresiones recomendadas para la obtención del tiempo de concentración, de las cuales se selecciona la más adecuada, de acuerdo con el criterio del proyectista:

TABLA 21.3
EXPRESIONES PROPUESTAS PARA OBTENER EL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

AUTOR	FÓRMULA	OBSERVACIONES
KIRPICH (1940)	$T = 0{,}0195 \cdot \frac{L^{0{,}77}}{S^{0{,}385}}$	Desarrollada con datos SCS para áreas rurales Tennessee (1)
CALIFORNIA CULVERTS PRACTICE (1942)	$T = 60 \cdot \left(0{,}87 \cdot \frac{L_1^3}{H}\right)^{0{,}385}$	Adaptación de la fórmula de Kirpich para cuencas de montaña (1)
IZZARD (1946)	$T = 525{,}28 \cdot \frac{(0{,}0000276i + c) \cdot L^{0{,}33}}{i^{0{,}667} \cdot S^{0{,}333}}$	Desarrollada en experiementos de laboratorio (2)
FEDERAL AVIATION AGENCY (1970)	$T = 3{,}26 \cdot (1{,}1 - C) \cdot \frac{L^{0{,}5}}{S_1^{0{,}333}}$	Desarrollada para aeropuertos (3)
MORGALI Y LINSLEY (1965)	$T = 7 \cdot \frac{L^{0{,}6} n^{0{,}6}}{i^{0{,}4} \cdot S^{0{,}3}}$	Fórmula de flujo superficial (2)
SCS (1975)	$T = \frac{258{,}7 \cdot L^{0{,}8} \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0{,}7}}{1900 \cdot S_1^{0{,}5}}$	Desarrollada por el SCS para cuencas rurales (1)

(1) Aplicable a cuencas urbanas con abundantes espacios libres o poco desarrollados, como parque, parcelas y similares.

(2) Aplicable a sectores urbanos típicos como calles, patios, pasaje, etc.

(3) Aplicable a sectores planos desarrollados con poca vegetación, como estacionamientos grandes y sectores de grandes industrias.

La notación utilizada es la siguiente:

T : Tiempo de concentración [min]
L : Longitud de escurrimiento superficial [m]
L_1 : Longitud cauce [km]
S : Pendiente [m/m]
H : Diferencia de altura en cuenca [m]
i : Intensidad de lluvia [mm/h]
c : Coeficiente de retardo
S_1 : Pendiente [%]
C : Coeficiente de escorrentía
n : Coeficiente de rugosidad de Manning
CN : Curva número, según SCS.

En la Tabla 21.4. se presentan los valores a utilizar para el coeficiente de rugosidad de Manning para cuencas urbanas:

TABLA 21.4
COEFICIENTES DE RUGOSIDAD DE MANNING PARA CUENCAS URBANAS.

TIPO DE SUPERFICIE	COEFICIENTE n
Tubos de plástico	0,011
Tubos de cemento asbesto	0,012
Tubos de mortero comprimido	0,013
Calles de hormigón y asfalto	0,015
Techos	0,018
Jardines	0,025
Superficies de tierra	0,030
Superficies de vegetación	0,050

Nótese que las expresiones propuestas se han determinado para ciertas condiciones específicas, por lo que su aplicación en circunstancias distintas a las presentes, cuando éstas fueron generadas, puede llevar a resultados erróneos.

Para la aplicación de la fórmula racional solo resta conocer el valor de la intensidad de diseño de la tormenta. Esta se determina a partir de las curvas IDF, las cuales se detallan a continuación.

Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia
El diseño hidráulico de las obras de drenaje urbano, requiere el uso de las llamadas curvas intensidad-duración-frecuencia de lluvias (IDF). Estas relaciones presentan la variación de la intensidad de la lluvia de distintas duraciones, asociadas a diferentes probabilidades de ocurrencia (períodos de retorno) y son útiles para estimar indirectamente el escurrimiento proveniente de cuencas pequeñas, esencialmente impermeables, en función de la lluvia caída.

Estas curvas tienen usualmente una forma de tipo exponencial, donde la intensidad, para una misma frecuencia, disminuye a medida que aumenta la duración de la precipitación. Es corriente incorporar en el mismo gráfico las curvas asociadas a diferentes períodos de retorno, en forma paramétrica, para obtener la familia de curvas de un lugar, en un mismo gráfico.

Obtención de las Curvas IDF
La obtención de las curvas IDF requiere de registros pluviográficos continuos, sin embargo, en ocasiones son escasos y pocos extensos. Lo corriente es contar con bastantes registros pluviométricos, los cuales solo entregan observaciones de lluvias diarias. Por ello, ha existido la preocupación de estudiar la relación existente entre la lluvia caída y su duración, como una forma de obtener una estimación para las lluvias de duración menor a 24 horas, en función de las lluvias diarias. De esta manera, lo primero será estimar una lluvia diaria representativa del lugar en estudio, para un determinado período de retorno, generalmente 10 años.

- Estimación de la lluvia diaria representativa para T = 10 años

A través de registros pluviográficos
Si se cuenta con una estación pluviométrica representativa, como ocurre en la mayoría del territorio nacional, se procede a recopilar la información de lluvias máximas diarias registradas y se forma una serie anual, seleccionando del registro el día más lluvioso de cada año. Esta muestra se somete a un estudio de frecuencia, a la cual se le ajusta un modelo probabilístico o bien, una frecuencia empírica, obteniendo así la lluvia máxima diaria, asociada a un período de retorno de 10 años en el lugar de interés.

Los valores de las precipitaciones máximas con T = 10 años, para distintas zonas del país se pueden obtener a partir de la Tabla 3.1.2.2. de la Guía de Diseño de Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos del Minvu, o bien, directamente de la Dirección General de Aguas (DGA).

Utilizando mapas de lluvias máximas diarias para T = 10 años, publicados por la DGA.
Si no se cuenta con registros observados, se puede obtener una estimación recurriendo a los mapas de lluvias máximas diarias con 10 años de período de retorno, publicados por la DGA, los cuales se confeccionaron en base al análisis de alrededor de 600 estaciones de registro dentro del territorio nacional.

- Estimación de la lluvia asociada a otras duraciones y períodos de retorno

Una vez que se conoce el valor para la lluvia diaria con T = 10 años, es posible estimar los valores asociados a otras duraciones y frecuencias, haciendo uso de coeficientes de duración y de frecuencia. Los primeros se definen como la razón entre la lluvia de una duración dada y la lluvia diaria de la misma frecuencia. Análogamente, los coeficientes de frecuencia se definen como la razón entre la lluvia de una determinada frecuencia y la lluvia de 10 años de período de retorno de la misma duración.

- **Estimación de lluvias para duraciones entre 1 y 24 horas**

A partir de una serie de mediciones realizadas por Varas y Sánchez (1984), entre La Serena y Puerto Montt, con una muestra de 1.300 tormentas durante 252 años de registro, se generó una serie de curvas IDF adimensionales, con las cuales se pueden estimar las lluvias o intensidades de lluvia asociadas a otras duraciones y a otros períodos de retorno.

De esta manera, es necesario conocer los valores de los Coeficientes de Duración (CD) para duraciones entre 1 y 24 horas, los cuales se presentan a continuación:

TABLA 21.5
COEFICIENTES DE DURACIÓN PARA LLUVIAS DE IGUAL PERÍODO DE RETORNO

CIUDAD	DURACIÓN [HORAS]									
	1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
ARICA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,0
IQUIQUE	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,0
ANTOFAGASTA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,0
CALAMA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,0
SAN PEDRO DE ATACAMA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,0
COPIAPÓ	0,15	0,26	0,44	0,59	0,66	0,78	0,82	0,86	0,91	1,0
VALLENAR	0,15	0,26	0,44	0,59	0,66	0,78	0,82	0,86	0,91	1,0
LA SERENA	0,15	0,26	0,44	0,59	0,66	0,78	0,82	0,86	0,91	1,0
OVALLE	0,15	0,26	0,44	0,59	0,66	0,78	0,82	0,86	0,91	1,0
ILLAPEL	0,15	0,26	0,44	0,59	0,68	0,78	0,82	0,86	0,91	1,0
VALPARAÍSO	0,14	0,23	0,33	0,46	0,55	0,64	0,70	0,78	0,90	1,0
LOS ANDES	0,16	0,26	0,42	0,55	0,64	0,71	0,77	0,84	0,94	1,0
SAN ANTONIO	0,14	0,23	0,33	0,42	0,55	0,64	0,70	0,78	0,90	1,0
SANTIAGO	0,16	0,26	0,42	0,55	0,64	0,71	0,77	0,84	0,94	1,0
RANCAGUA	0,12	0,21	0,34	0,42	0,51	0,58	0,65	0,73	0,83	1,0
TALCA	0,12	0,19	0,29	0,40	0,52	0,59	0,68	0,72	0,82	1,0
CURICÓ	0,12	0,19	0,29	0,40	0,53	0,59	0,68	0,72	0,82	1,0
LINARES	0,12	0,19	0,29	0,40	0,54	0,59	0,68	0,72	0,82	1,0
CONSTITUCIÓN	0,19	0,30	0,38	0,47	0,56	0,64	0,70	0,77	0,89	1,0
CONCEPCIÓN	0,19	0,30	0,38	0,47	0,56	0,64	0,70	0,77	0,89	1,0
CHILLÁN	0,17	0,24	0,36	0,44	0,52	0,60	0,67	0,72	0,89	1,0
TEMUCO	0,19	0,31	0,47	0,58	0,65	0,71	0,79	0,82	0,91	1,0
PTO. MONTT	0,16	0,23	0,34	0,46	0,54	0,61	0,67	0,73	0,91	1,0
VALDIVIA	0,16	0,23	0,34	0,46	0,54	0,61	0,67	0,73	0,91	1,0
ANCUD **	0,19	0,31	0,47	0,59	0,66	0,78	0,82	0,86	0,91	1,0
CASTRO * *	0,19	0,31	0,47	0,59	0,66	0,78	0,82	0,86	0,91	1,0
PTO. CISNES **	0,19	0,31	0,47	0,59	0,66	0,78	0,82	0,86	0,91	1,0
COYHAIQUE * *	0,19	0,31	0,47	0,59	0,66	0,78	0,82	0,86	0,91	1,0
PTO. AYSÉN **	0,19	0,31	0,47	0,59	0,66	0,78	0,82	0,86	0,91	1,0
CHILE CHICO * *	0,19	0,31	0,47	0,59	0,66	0,78	0,82	0,86	0,91	1,0
PTA. ARENAS **	0,19	0,31	0,47	0,59	0,66	0,78	0,82	0,86	0,91	1,0
PTO. WILLIAMS * *	0,19	0,31	0,47	0,59	0,66	0,78	0,82	0,86	0,91	1,0

* No se dispone de información que permita proponer un valor de diseño. Lo más probable es que las lluvias de seis o más horas sean iguales a las de 24 horas. Se recomienda, para cada caso, hacer un análisis específico.

** Se han considerado los máximos estimados para la zona centro-sur.

En cuanto a los Coeficientes de Frecuencia (CF), estos valores son bastante independientes de la duración, por lo que se propuso utilizar un solo CF, cualquiera sea la duración de las lluvias estudiadas. La Tabla 21.6. presenta los valores recomendados en el territorio nacional, para distintos períodos de retorno:

TABLA 21.6
COEFICIENTES DE FRECUENCIA PARA LLUVIAS DE IGUAL DURACIÓN

CIUDAD (1)	PERÍODO DE RETORNO [AÑOS]						
	2	5	10	20	50	100	200
ARICA	0,55	0,82	1,0	1,17	1,14	1,56	1,81
IQUIQUE	0,53	0,83	1,0	1,14	1,31	1,42	1,53
ANTOFAGASTA	0,53	0,83	1,0	1,18	1,42	1,60	1,78
CALAMA	0,58	0,85	1,0	1,12	1,22	1,36	1,50
SAN PEDRO DE ATACAMA	0,36	0,73	1,0	1,26	1,61	1,88	2,15
COPIAPÓ	0,27	0,69	1,0	1,3	1,71	2,01	2,31
VALLENAR	0,38	0,75	1,0	1,24	1,55	1,78	2,01
LA SERENA	0,49	0,80	1,0	1,19	1,44	1,62	1,80
OVALLE	0,42	0,75	1,0	1,28	1,69	2,03	2,37
ILLAPEL	0,53	0,80	1,0	1,2	1,47	1,69	1,91
VALPARAÍSO	0,58	0,83	1,0	1,17	1,39	1,56	1,73
LOS ANDES	0,56	0,82	1,0	1,18	1,43	1,61	1,79
SAN ANTONIO	0,58	0,83	1,0	1,17	1,39	1,56	1,73
SANTIAGO	0,55	0,82	1,0	1,18	1,43	1,63	1,83
RANCAGUA (RENGO)	0,64	0,86	1,0	1,13	1,31	1,43	1,55
TALCA (SAN LUIS)	0,62	0,85	1,0	1,14	1,33	1,48	1,63
CURICÓ	0,62	0,85	1,0	1,14	1,33	1,48	1,63
LINARES	0,62	0,85	1,0	1,14	1,33	1,48	1,63
CONSTITUCIÓN	0,62	0,85	1,0	1,14	1,33	1,48	1,63
CONCEPCIÓN	0,63	0,85	1,0	1,14	1,32	1,46	1,60
CHILLÁN	0,69	0,88	1,0	1,11	1,25	1,35	1,45
TEMUCO	0,67	0,87	1,0	1,12	1,27	1,39	1,51
PTO. MONTT	0,72	0,89	1,0	1,1	1,22	1,31	1,40
VALDIVIA	0,70	0,89	1,0	1,11	1,24	1,34	1,44
ANCUD (2)	0,65	0,86	1,0	1,14	1,31	1,44	1,57
CASTRO (2)	0,65	0,86	1,0	1,14	1,31	1,44	1,57
PTO. CISNES (2)	0,65	0,86	1,0	1,14	1,31	1,44	1,57
COYHAIQUE (2)	0,65	0,86	1,0	1,14	1,31	1,44	1,57
PTO. AYSÉN (2)	0,65	0,86	1,0	1,14	1,31	1,44	1,57
CHILE CHICO (2)	0,65	0,86	1,0	1,14	1,31	1,44	1,57
PTA. ARENAS(2)	0,65	0,86	1,0	1,14	1,31	1,44	1,57
PTO. WILLIAMS (2)	0,65	0,86	1,0	1,14	1,31	1,44	1,57

(1) Valores obtenidos de la publicación de la DGA sobre "Precipitaciones máximas de 1, 2 y 3 días" para tormentas de 1 día.
(2) Como no se dispone de valores calculados para estas ciudades, se propone usar los valores promedios obtenidos del análisis de los registros de varias localidades.

De esta manera, se puede conocer el valor de la lluvia, a partir de la siguiente expresión:

$$P_t^T = 1{,}1 * PD^{10} * CD_t * CF^T$$

Donde:

P^T_t : Lluvia para una duración de t horas y períodos de retorno T.

PD^{10} : Lluvia máxima diaria (8 AM a 8 AM) de 10 años de período de retorno.

CD_t : Coeficiente de duración para t horas (entre 1 y 24 horas).

CF^T : Coeficiente de frecuencia para T años de período de retorno.

Finalmente, para conocer las intensidades de la precipitación para distintas duraciones entre 1 y 24 horas, basta con dividir el valor de la precipitación recién obtenido para cada tiempo t, por la duración de cada tormenta. Así, graficando los valores de intensidad de precipitación en [mm/h] vs. tiempo [h] se obtienen las curvas IDF.

Nótese que este procedimiento es utilizable en la zona central y sur de nuestro país y entrega estimaciones de lluvia razonables para diseños hidráulicos en áreas con información escasa.

- Estimación de lluvias para duraciones menores a 1 hora.

Bell, en 1969, realizó una serie de estudios que le permitieron obtener satisfactorios resultados para los coeficientes de duración y de frecuencia, válidos para lluvias provenientes de tormentas de tipo convectivo, con duraciones entre 5 minutos y 2 horas y para períodos de retorno entre 2 y 100 años.

Dichos valores, propuestos por Bell, cumplen las siguientes relaciones:

$$CF^T = 0{,}21 * LnT + 0{,}52$$

Donde T es el período de retorno en años.

Además, el coeficiente de duración en relación con la lluvia de 60 minutos, está dado por:

$$CD^T = 0{,}54 * t^{0{,}25} - 0{,}50$$

En que t es la duración en minutos.

A continuación, en la Tabla 21.7 se presentan los valores de los Coeficientes de Duración para distintas duraciones de la lluvia, los cuales son válidos para todo el territorio nacional, a menos que se disponga de información pluviográfica que permita estimar otros coeficientes más precisos para cada lugar.

TABLA 21.7
COEFICIENTES DE DURACIÓN PARA LLUVIAS MENORES DE UNA HORA.

DURACIÓN [MINUTOS]	COEF. DE DURACIÓN
5	0,31
10	0,46
15	0,56
20	0,64
30	0,76
40	0,86
50	0,94
60	1,00

A partir de estas relaciones se puede obtener el valor de P^T_t, como se muestra a continuación:

$$P_t^T = CF^T * CD^T * P^{10}_{60} = (0{,}21 * LnT * 0{,}52) * (0{,}54 * t^{0{,}25} + 0{,}50) * P^{10}_{60}$$

Donde:

P^T_t : Lluvia en mm de duración t minutos y T años de período de retorno.

T : Período de retorno, con $2 \leq T \leq 100$ años.

t : Duración de la lluvia, con $5 \leq t \leq 120$ minutos.

P^{10}_{60} : Precipitación de una hora y 10 años de período de retorno, en mm.

La expresión anterior complementa los resultados experimentales del caso chileno y se recomienda su uso para obtener estimaciones de las curvas IDF para duraciones menores a una hora, cuando no se cuente con datos pluviográficos en el sitio de interés, que permitan desarrollar una familia de curvas IDF en el lugar.

B. MÉTODO RACIONAL MODIFICADO

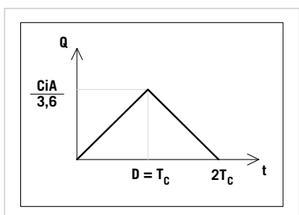
Dado que el método racional solo entrega una estimación del caudal máximo y en muchas ocasiones (por ejemplo, en el dimensionamiento de embalses de detención de aguas lluvias) se requiere contar con un hidrograma que refleje el comportamiento del escurrimiento en el tiempo, se hace necesario definir el método racional modificado.

Dicho método es aplicable bajo las mismas condiciones que el método racional, exceptuando el hecho de que puede emplearse en cuencas que poseen elementos de regulación, como estanques o lagunas; obteniendo así el hidrograma de la crecida, el cual permitirá el dimensionamiento de obras de regulación y de conducción.

En el método racional modificado se pueden presentar tres situaciones:

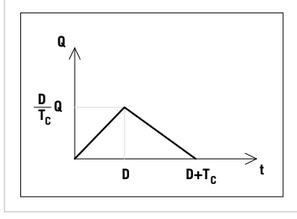
1. $D = T_c$: se genera un hidrograma con forma de triángulo isósceles, con un caudal máximo igual al valor entregado en la expresión del método racional, un tiempo de ascenso y de descenso igual al tiempo de concentración.

FIGURA 21.1
MÉTODO RACIONAL MODIFICADO PARA D = TC



2. $D < T_c$: se genera un hidrograma triangular con un tiempo de ascenso igual a la duración de la tormenta, un tiempo de descenso igual al tiempo de concentración de la cuenca y un caudal máximo menor al entregado por el método racional, dado por:

FIGURA 21.2
MÉTODO RACIONAL MODIFICADO PARA D < TC

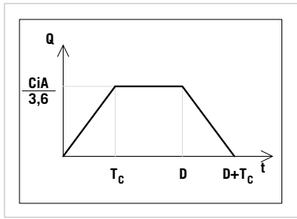


$$Q_{\max} = \frac{D}{T_c} * Q$$

Donde:
Q : Valor entregado por el método racional.
D : Duración de la tormenta.
Tc : Tiempo de concentración.

3. *D > T_c* : se genera un hidrograma trapecial con un caudal máximo, igual al del Método Racional, pero que permanece constante desde t = T_c hasta t=D, a partir del cual cae a cero en un intervalo T_c .

FIGURA 21.3
MÉTODO RACIONAL MODIFICADO PARA D > TC



C. HIDROGRAMA UNITARIO (HU)
Los hidrogramas unitarios son una herramienta muy utilizada hoy en día para estimar los gastos máximos en cuencas urbanas, así como la forma del hidrograma correspondiente.

Estos son aplicables en cuencas con datos de precipitación y caudal en un punto. A su vez, existen los hidrogramas unitarios sintéticos, los cuales se utilizan para otros puntos de la cuenca o para cuencas similares.

Dentro de los HU sintéticos, están aquellos que relacionan características del hidrograma (qp, tb) con las características físicas de la cuenca (Zinder) y los HU adimensionales (SCS, Commons) que trabajan con la forma del hidrograma.

A continuación, se presenta uno de los métodos más utilizados dentro de los HU sintéticos, el cual corresponde al método del HU del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de EE.UU.

- Método del Soil Conservation Service (SCS).

Conocido también como el procedimiento de la curva número, define primero el volumen de escorrentía a través de la curva número (CN) y luego estima el caudal máximo de la crecida y la forma del hidrograma de esta.

Volumen de escorrentía.
El volumen escurrido se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P + 0{,}8 * S}$$

Donde:
P : Lluvia caída.
S : Máxima precipitación (P) absorbida por la cuenca.
I_a : Pérdidas iniciales (pérdidas por intercepción, almacenamiento en superficie e infiltración). Se estiman en un 20% del potencial máximo.

De esta manera, se tiene lo siguiente:

$$Q = \frac{(P - 0{,}2 * S)^2}{P + 0{,}8 * S}$$

Además, el potencial máximo de retención de agua (S) es función de la curva número y se calcula de la siguiente manera:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

Nótese que:
Para áreas impermeables : S = 0 → CN = 100
Para áreas sin escurrimiento : S = ∞ → CN = 0

Además, el valor de la curva número depende de:

I. Condiciones de humedad antecedente.

II. Usos del suelo.

III. Condiciones hidrológicas de los suelos.

I. CONDICIONES DE HUMEDAD ANTECEDENTE
En base a la lluvia anterior de 5 a 30 días, se definen las siguientes condiciones:

- Condición I: Suelo seco. No aplicable a crecida de proyecto. Caudales chicos.
- Condición II: Suelo medio. Asociado a crecidas anuales o promedios.
- Condición III: Suelo húmedo. Crecidas máximas. Caudales grandes.

Tiene diferencia en estación con y sin crecimiento vegetativo.

II. USOS DEL SUELO
Los principales usos son los siguientes:

- Barbecho
- Granos pequeños, cereales
- Praderas y pastizales
- Caminos
- Granjas
- Cultivos en surcos, rectos, terrazas, curvas de nivel
- Bosques

III. CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE LOS SUELOS

DENSIDAD DE VEGETACIÓN
Se definen las siguientes condiciones extremas:

- Poca densidad de vegetación: Condición deficiente → > CN; > Q
- Alta densidad de vegetación: Condición buena → < CN; < Q

• Condiciones hidrológicas de los suelos.

Se definen de acuerdo con la capacidad de infiltración de los suelos. La infiltración del terreno varía bastante en función de la permeabilidad del suelo y las condiciones de la superficie.

El método de la Curva Número distingue 4 tipos de suelos (A, B, C y D), cuya clasificación es válida solo para este análisis. El suelo de tipo A corresponde a suelos arenosos o limo-arenosos con bajo potencial de escurrimiento. Son suelos con buen drenaje. Los suelos tipo B tienen tasas de infiltración moderadas y son de tipo limoso. Los suelos C tienen baja capacidad de infiltración cuando están saturados y son limos arcillosos con algo de arena. Finalmente, los suelos tipo D tienen un alto potencial de escurrimiento y pequeña infiltración. Están formados fundamentalmente por suelos finos arcillosos o limosos. La clasificación se presenta en la Tabla 21.8.

TABLA 21.8
VALORES DE CURVAS NÚMERO PARA ÁREAS URBANAS

COBERTURA SUPERFICIE	% imp.	GRUPO DE SUELO (*)			
		A	B	C	D
Permeables:					
Prados y Parques					
pasto<50%		68	79	86	89
pasto 50%-70%		49	69	79	84
pasto>75%		39	61	74	80
Impermeables:		98	98	98	98
Calles y caminos					
Pavimentados		98	98	98	98
Grava		76	85	89	91
Tierra		72	82	87	89
Distritos urbanos					
Comercial	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Residencial					
sitios 500 m² o menor	65	77	85	90	92
sitios 1.000 m²	38	61	75	83	87
sitios 2.000 m²	25	54	70	80	85
sitios 5.000 m²	20	51	68	79	84
sitios 10.000 m²	12	46	65	77	82
Áreas en desarrollo		77	86	91	94

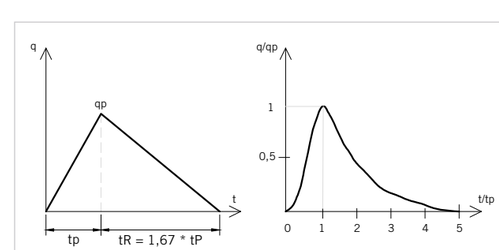
(*) A: arenas y arenas limosas; B: limos; C: limos arcillosos con algo de arena; D: arcillas y limos.

• Caudal máximo de la crecida y forma del hidrograma unitario sintético del SCS.

El SCS propone también el uso de un hidrograma triangular. Esta simplificación permite estimar el valor máximo del caudal, el tiempo de base y el tiempo al máximo, lo cual define totalmente la forma del hidrograma y su valor máximo. Este hidrograma tiene una zona de ascenso que corresponde, aproximadamente, al 37% del volumen escurrido. El tiempo de base y el tiempo al máximo se pueden estimar a partir del tiempo de concentración de la cuenca.

A continuación, en la Figura 21.4, se presenta el HU propuesto por el SCS:

FIGURA 21.4
HIDROGRAMA DEL SCS



A partir del hidrograma triangular se han propuesto las siguientes expresiones:

$$q_p = \frac{0{,}75 * Q}{T_c} \qquad T_b = 2{,}67 * T_p = 1{,}8 * T_c \qquad T_p = 0{,}67 * T_c$$

Donde:
q_p = Caudal máximo, en mm/s.
T_c = Tiempo de concentración, en segundos.
T_b = Tiempo base del hidrograma, en segundos.
T_p = Tiempo al máximo, en segundos.
Q = Volumen escurrido, expresado en altura de agua en mm.

Las expresiones anteriores permiten calcular la forma del hidrograma, conocido el volumen escurrido y el tiempo de concentración.

21.1.1.2 DIMENSIONAMIENTO

Conocido el caudal a transportar, las condiciones del cauce y del escurrimiento, puede aplicarse la fórmula de Manning para obtener, mediante tanteos sucesivos, las dimensiones más adecuadas de la sección transversal. Dicha fórmula es la siguiente:

$$Q = \frac{S * R^{2/3} * J^{1/2}}{n}$$

Siendo:
Q : Caudal de agua transportada [m^3/s].
S : Área de la sección transversal de la corriente [m^2].
R : Radio hidráulico = S/P [m]
P : Perímetro mojado, correspondiente a la sección S [m].
J : Pendiente de la línea de carga, en tanto por uno.
n : Coeficiente de rugosidad del cauce.

Para determinar el valor de "n" puede utilizarse la Tabla 21.9, la cual se presenta a continuación:

TABLA 21.9
COEFICIENTES DE RUGOSIDAD DE MANNING (REF.: ANEXO 5 GUÍA DE DISEÑO: "TÉCNICAS ALTERNATIVAS PARA SOLUCIONES DE AGUAS LLUVIAS EN SECTORES URBANOS", MINVU)

TIPO DE CANAL Y SUPERFICIE	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO
A.-CANALES CONSTRUIDOS			
Revestimiento metálico, de acero, sin pintar	0.011	0.012	0.014
Revestimiento metálico, pintado	0.012	0.013	0.017
Metal corrugado, alcantarillas corrugadas	0.021	0.024	0.030
Cemento y mortero afinado	0.011	0.013	0.015
Asfalto suave, bien terminado	0.012	0.014	0.015
Concreto con moldaje	0.013	0.015	0.017
Ladrillos, sin cantería	0.012	0.015	0.018
Mampostería de piedra emboquillada	0.017	0.025	0.030
Piedras sueltas, enrocados menores	0.020	0.030	0.035
B.-CANALES EXCAVADOS O DRAGADOS			
En tierra, rectos y uniformes recién construidos	0.016	0.018	0.020
Profundos, con vegetación y plantas acuáticas	0.030	0.035	0.040
En roca irregulares	0.035	0.050	0.060
C.-CAUCES NATURALES			
De poca pendiente, limpios y rectos	0.025	0.030	0.035
Poca pendiente, rectos pero con piedras, plantas	0.075	0.100	0.150
De montaña, sin vegetación con ripios	0.030	0.040	0.050
De montaña con peñascos y ripios, sin plantas	0.040	0.050	0.070
D.-ZONAS INUNDADAS			
Pastizales, planicies, pastos cortos	0.030	0.035	0.050
Zonas cultivadas, cultivos anuales	0.030	0.040	0.050
Matorrales y pocos árboles	0.045	0.070	0.110
Árboles densos, bosques, suelo limpio	0.040	0.070	0.100
Árboles y matorrales, ramas	0.100	0.120	0.160

Se recomienda emplear:

- El valor mínimo para estimar velocidades y pendientes frente a problemas de erosión.
- El valor máximo para estimar alturas de agua y para dimensionar la sección y revancha.

ART. 21.2 ESCURRIMIENTOS CERRADOS

21.2.1 COLECTORES

Para las condiciones de diseño, los colectores secundarios funcionan con escurrimiento libre. Por lo general, los colectores de la red secundaria son de sección circular. Para ello, el diámetro de los tubos se selecciona de manera que, para el caudal máximo de diseño, la altura de agua sea igual o menor que 0,8 veces el diámetro D.

Si la altura de agua es igual a 0,8D, la velocidad media del flujo, V, y el gasto, Q, están relacionados con el diámetro del tubo, la pendiente longitudinal y el coeficiente de rugosidad del material mediante las siguientes relaciones, basadas en la ecuación de Manning para flujo uniforme:

$$V = 0{,}45 * \frac{D^{2/3} * I^{1/2}}{n}$$

$$Q = 0{,}30 * \frac{D^{8/3}{}_{3} * I^{1/2}}{n}$$

V = Velocidad media del flujo, en [m/s].
Q = Gasto, en [m³/s].
I = Pendiente de fondo del tubo, en [m/m].
D = Diámetro interior del tubo, en [m].
n = Coeficiente de rugosidad de Manning, según la Tabla 21.10.

TABLA 21.10
COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING PARA ESCURRIMIENTO CERRADO

TIPO DE SUPERFICIE	COEFICIENTE n
Tubos de plástico	0,011
Tubos de fibrocemento	0,012
Tubos de mortero comprimido	0,013

Adicionalmente, se recomienda que se tengan en consideración las siguientes recomendaciones para tubos de colectores de la red secundaria:

a. Un diámetro mínimo de colectores, de 400 mm. En tuberías HDPE o PVC se acepta un diámetro mínimo de 375 mm.

b. Que la velocidad máxima del escurrimiento no sobrepase 4 m/s para tuberías de mortero comprimido y los 6 m/s para tuberías de PVC o similares.

c. Que la velocidad mínima del escurrimiento no sea inferior a 0,9 m/s para las condiciones de diseño. Para ello, se adopta la pendiente de fondo correspondiente para los tubos. En el caso de tramos iniciales (antes de la primera cámara), no es aconsejable que la velocidad sea inferior a 0,6 m/s.

d. Se pueden diseñar obras especiales y tramos en presión, como sifones invertidos, si el proyecto lo requiere. En este caso se recomienda tomar las medidas para evitar embanques y lograr una adecuada operación y conservación.

Dado que el sistema de drenaje de aguas lluvias de una cuenca urbana consta tanto de colectores como de sumideros y cámaras, estos dos últimos elementos se han incluido dentro de las obras de escurrimientos cerrados, su diseño y dimensionamiento se detallan a continuación:

21.2.2 SUMIDEROS

21.2.2.1 CAPACIDAD MÁXIMA DE SUMIDEROS

La capacidad máxima de los sumideros depende del tipo, tamaño y diseño de la rejilla. Su capacidad hidráulica se puede estimar suponiendo que funcionan hidráulicamente como vertederos para pequeñas alturas de agua y como orificios para alturas de agua mayores. Colocados en una calzada con pendiente, no siempre logran captar toda el agua que viene por ellas, aunque teóricamente dispongan de capacidad para ello.

21.2.2.1.1 SUMIDERO HORIZONTAL

Se considera un sumidero horizontal como el que se presenta en la Figura 20.2. El máximo caudal que es posible evacuar por este tipo de dispositivo se calcula de la siguiente manera:

$$Q_m = 1{,}66 * (L + 2 * b) * h^{1{,}5}, \text{ si funciona como vertedero: } h < 1{,}6 * \frac{A}{L + 2 * b}$$

$$Q_m = 2{,}66 * A * h^{0{,}5}, \text{ si funciona como orificio : } h \geq 1{,}6 * \frac{A}{L + 2 * b}$$

Donde:
Q_m : Máximo caudal a evacuar en [m³/s].
L : Largo del sumidero a lo largo de la cuneta en [m].
b : Ancho del sumidero, transversal a la calzada en [m].
A : Área de aberturas de la rejilla en [m²].
h : Altura de agua del escurrimiento en la calzada frente al sumidero, en [m].

21.2.2.1.2 SUMIDERO LATERAL

Se considera el sumidero lateral que se presenta en la Figura 20.3. El máximo caudal que es posible evacuar por este elemento, se calcula a partir de las siguientes ecuaciones:

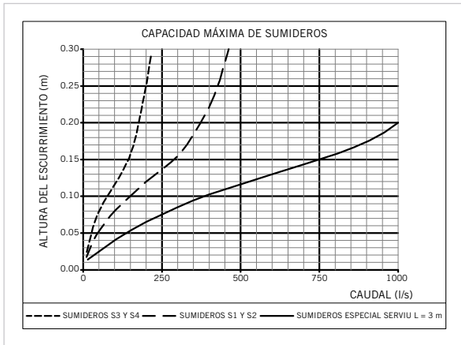
$$Q_m = 1{,}27 * L * h^{1{,}5}, \text{ si funciona como vertedero: } h < a$$

$$Q_m = 2{,}66 * L * a * h^{0{,}5}, \text{ si funciona como orificio: } h \geq a$$

Donde:
Q_m : Máximo caudal a evacuar en [m³/s].
L : Largo del sumidero a lo largo de la cuneta en [m].
a : Altura de abertura vertical, en [m].
h : Altura de agua del escurrimiento en la calzada, frente al sumidero, en [m].

Para los sumideros tipo S1, S2, S3, S4, así como también sumideros especiales, correspondientes a baterías de sumideros de mayor longitud con rejilla horizontal, las capacidades máximas se muestran en la Figura 21.5.

FIGURA 21.5
CAPACIDAD MÁXIMA DE SUMIDEROS TIPO DEL SERVIU



21.2.2.2 CAPACIDAD DE DISEÑO DE SUMIDEROS

Los sumideros no necesariamente logran captar el caudal correspondiente a su capacidad máxima. En la realidad, los sumideros captan solo parte del escurrimiento que va por la cuneta. La fracción no captada escurre aguas abajo y se agrega al caudal que recibe la calzada, quedando, por lo tanto, para el siguiente sumidero. En términos de diseño, se habla de la eficiencia de un sumidero E, como la proporción que es capaz de captar del caudal que escurre por la cuneta.

De esta manera, la eficiencia global del sumidero es la suma de las eficiencias del sumidero horizontal y del sumidero lateral. Esta depende principalmente de las características geométricas del sumidero, de las características geométricas de la cuneta y de la magnitud del caudal que escurre por esta.

La capacidad de diseño del sumidero se considera como el valor mínimo entre las dos opciones siguientes:

$$Q_s = E * Q = (E_H + E_L) * Q \qquad si \qquad (E_H + E_L) * Q \leq Q_m$$

$$Q_s = Q_m \qquad si \qquad (E_H + E_L) * Q > Q_m$$

Donde:
Q_s : Caudal captado por el sumidero.
Q : Caudal que escurre por la cuneta aguas arriba del sumidero.
Q_m : Capacidad máxima de captación del sumidero definida en 21.2.2.1.
E : Eficiencia global del sumidero cuyo valor máximo es 1,0.
E_H : Eficiencia del sumidero horizontal.
E_L : Eficiencia del sumidero lateral.

21.2.2.2.1 SUMIDERO HORIZONTAL

Se considera el sumidero horizontal que se presenta en la Figura 20.2. La eficiencia de este dispositivo colocado en la cuneta se calcula de la siguiente manera:

$$E_H = E_0 + R_S * (1 - E_0) \qquad con \qquad 0 \leq E_H \leq 1$$

$$E_0 = 1 - \left(1 - \frac{b}{T}\right)^{2,67} \qquad con \qquad 0 \leq E_0 \leq 1$$

$$R_S = \frac{1}{\left(1 + \frac{0,0828 * V^{1,8}}{S_X * L^{2,3}}\right)} \qquad con \qquad 0 \leq R_S \leq 1$$

Donde:
E_H : Proporción del caudal que viene por la calzada, capturada por el sumidero.
T : Ancho superficial del escurrimiento que viene por la calzada, en [m].
V : Velocidad del escurrimiento, en [m/s].
S_x : Pendiente transversal de la cuneta en [m/m].

21.2.2.2.2 SUMIDERO LATERAL

Se considera el sumidero lateral que se presenta en la Figura 20.3. Este elemento con abertura en la solera, tiene una eficiencia dada por las siguientes ecuaciones:

$$Si\ h \leq a: \quad E_L = 1 - \left(1 - \frac{L}{L_T}\right)^{1,8} \qquad 0 \leq E_L \leq 1$$

$$Si\ h > a: \quad E_L = 1 \quad L_T = 0,817 * Q^{0,42} * S_L^{0,3} * (n * S_X)^{-0,6} \qquad con \quad L_{T\ minimo} = L$$

Donde:
E_L : Proporción del caudal que viene por la calzada, capturada por el sumidero.
a : Altura del sumidero, en [m].
h : Altura del escurrimiento, en [m].
L : Largo de la abertura del sumidero en [m].
S_L : Pendiente longitudinal de la calzada [m/m].
S_X : Pendiente transversal de la cuneta [m/m].
Q : Caudal que escurre por la calzada, [m³/s].
n : Coeficiente de rugosidad de Manning, determinado según Tabla 21.9.

Nótese que cuando la altura del escurrimiento sobrepasa la abertura del sumidero, el caudal captado viene limitado solamente por la capacidad máxima de captación del sumidero lateral, según el apartado 21.2.2.1.

21.2.2.2.3 SUMIDEROS TIPO

Para los sumideros tipo S1, S2, S3, S4 y especial (ver sumidero especial en Lámina 22.1 del Apéndice III, las características y eficiencias de captación se presentan a continuación, en la Tabla 21.11.

TABLA 21.11
CARACTERÍSTICAS Y EFICIENCIAS DE CAPTACIÓN DE SUMIDEROS

CARACTERÍSTICAS	Sumidero S1 ó S2	Sumidero S3 ó S4	Sumidero Especial SERVIU
Sumidero horizontal			
Largo L, en [m]	0,98	0,66	2,0 - 3,0
Ancho b, en [m]	0,41	0,41	0,70
Área libre, rejilla Fe laminado, [m^2]	0,22	0,15	0,93
Sumidero lateral			
Largo L, en [m]	0,98	---	2,0 - 3,0
Altura a, en [m]	0,1	---	0,1
Eficiencia de Sumideros Condición de diseño (1 m en la cuneta)			
Para cualquier pend. Longitudinal Flujo a cuneta llena	0,90	0,80	1,00
Pend. Long. de la calzada < 0,01	0,45	0,40	0,75
0,01 < Pend. Long de la calzada <0,05	0,25	0,20	0,75
Pend. Long. de la calzada > 0,05	0,10	0,05	0,50

21.2.3 CÁMARAS

Las dimensiones de las cámaras están preestablecidas. Se recomienda seleccionar una profundidad total adecuada a cada situación, dentro del rango de profundidades máximas recomendadas. Es necesario también seleccionar el diámetro de los tubos de entrada y salida de acuerdo con la obra a la cual sirve y según las exigencias de la conducción.

La conexión de los tubos de entrada y salida puede ubicarse en paredes opuestas o en paredes adyacentes. En el caso de cámaras anexas a zanjas de infiltración, es posible ubicar la cámara inmediatamente en un extremo de la zanja, de manera que la pared por la cual sale el tubo de alimentación es, a su vez, una pared de la zanja.

Para ambos tipos de cámaras (a y b) se emplean tapas tipo calzada con marco, según NCh 1623.

Los tipos de cámaras utilizadas se presentan en las Láminas 22.2. a 22.5., del Apéndice III.

TERCERA PARTE
APÉNDICES

APÉNDICE I
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS ANTECEDENTES

APÉNDICE I

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS ANTECEDENTES

ANTECEDENTES QUE CONFORMAN EL PROYECTO:

Es recomendable que todo proyecto de obras de pavimentación contenga los siguientes documentos y antecedentes:

1. PLANOS

Los planos constituyen la expresión gráfica del proyecto. Están formados por una o más láminas, de acuerdo a las dimensiones del proyecto y al propio criterio del proyectista. En todo caso, es recomendable que sus dimensiones sean normalmente moderadas, a fin de facilitar su manipulación.

En cada una de las láminas se inserta la viñeta tipo, cuyo formato y detalle proporciona cada Servicio de Vivienda y Urbanización (Serviu) regional.

Tanto para pavimentación como para aguas lluvias, los planos a presentar son los siguientes:

1.1 PLANO DE UBICACIÓN

En este plano se grafica el emplazamiento de la obra, en relación con la red vial existente del sector, incluyendo toda el área o zona en la cual el proyecto puede tener incidencia. Se dibuja a alguna escala adecuada al tamaño del proyecto.

1.2 PLANO DE PLANTA

Contiene la identificación de las calles, sus líneas oficiales, trazado de las aceras, soleras, calzadas, badenes, sentido de escurrimiento de las aguas lluvias, datos de las curvas horizontales y verticales en el eje de la calzada, radios de las curvas en las esquinas y ubicaciones de sumideros u otras obras que puedan interferir con el trazado del pavimento. Este plano puede dibujarse, opcionalmente, en cualquiera de las siguientes escalas: 1/500, 1/1000 e incluye una simbología adecuada.

1.3 PLANO DE PERFIL LONGITUDINAL

Este plano contiene la identificación de la calle, cota de referencia, distancias parciales entre puntos especiales consecutivos, tales como: perfiles transversales, cruce de ejes, principio y fin de curvas verticales y cambios de pendiente; distancias acumuladas, cotas de terreno, rasante y subrasante en puntos especiales; pendientes, curvas verticales, número del perfil transversal, nombre de las calles que se intersectan, línea de terreno y línea de rasante. Este plano se dibuja a la misma escala horizontal que la del plano de planta y a una escala vertical diez veces mayor que la horizontal.

1.4 PLANO DE PERFILES TRANSVERSALES

Este plano contiene la identificación de la calle a la cual pertenece, cota de referencia, distancia entre los puntos medidos a ambos lados del eje, cota de terreno de estos puntos, cotas de terreno, rasante y subrasante en el eje, línea de terreno y línea de excavación y/o relleno, cálculo de superficie de excavación y/o relleno y volúmenes de excavaciones y/o relleno, determinados desde el perfil inmediatamente anterior. Este plano se dibuja en cualquiera de las siguientes escalas optativas: a) escala horizontal 1/50, 1/100 ó 1/200, y b) escala vertical diez veces mayor que la escala horizontal.

Este plano eventualmente puede reemplazarse por un listado de cálculo de los perfiles transversales, elaborado mediante sistema computacional, siempre que el terreno no presente taludes o cortes pronunciados.

1.5 PLANOS DE DETALLES

En los planos se grafica toda la información técnica que el proyectista estime indispensable para una mejor claridad y comprensión en la ejecución del proyecto. No obstante lo anterior, se recomienda incluir los siguientes planos de detalles: perfil transversal tipo de cada calle, con indicación de sus pendientes; perfil transversal de diseño de las capas que componen cada tipo de pavimento; perfil de encuentro de calles y pasajes (Lámina Nº APÉNDICE 1.1). Las escalas a que se dibujen estos planos son definidas por el Serviu regional. Para mayor claridad en la interpretación de los planos, se usa una simbología adecuada.

1.6 PLANOS DE OBRAS COMPLEMENTARIAS

Se adjuntan al proyecto los planos de anteproyecto de todas las obras complementarias, tales como: red de aguas lluvias, canales, acueductos, alcantarillas, sumideros, muros de contención, etc. Se usan las escalas más adecuadas; de modo que se aprecien con perfecta claridad los detalles de construcción.

2. MEMORIA EXPLICATIVA

Este documento contiene una Memoria Explicativa y una Memoria de Cálculo. Incluye nombre y firma del ingeniero civil proyectista.

2.1 MEMORIA EXPLICATIVA

Consiste en un informe breve, pero completo, de carácter técnico en el cual se resumen y exponen los principales aspectos del proyecto.

2.2 MEMORIA DE CÁLCULO

Se recomienda que este informe justifique el diseño de las obras proyectadas, señalando los métodos empleados para ello y los parámetros de cálculo considerados (entregar cálculos de los diseños), basándose en los principios enunciados en lo que se refiere a:

- Mecánica de Suelos: Sección 12.
- Tránsito: Sección 13.
- Diseño Geométrico: REDEVU.
- Diseño Estructural: Secciones 14 y 15.
- Diseños de Aguas Lluvias: Secciones 20 y 21 del presente Código.

2.3 CERTIFICADOS E INFORMES DE LABORATORIO

Se recomienda incluir los certificados e informes de laboratorio (originales) que justifiquen las soluciones adoptadas en el proyecto.

Los informes y certificados son realizados por un laboratorio oficial con inscripción vigente en el registro del Minvu.

3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Además de dejar establecido que la ejecución de las obras contempladas en el proyecto se ciñan a las Especificaciones Técnicas contenidas en el presente Código, se elaboran Especificaciones Técnicas Especiales, con el fin de aclarar las Especificaciones Generales en todos los aspectos que se estimare necesarios; así como para precisar otras especificaciones no incluidas en las mismas, o para fijar, en ciertos casos, exigencias más restrictivas en relación a dichas Especificaciones.

Es recomendable que las siguientes partidas sean especificadas en detalle:

- **Movimiento de tierras:** Se especifica el tipo y calidad del material de relleno y su grado de compactación.
- **Subrasante, base y subbase:** Se especifica grado de compactación, condiciones de los materiales a usar y espesores.
- **Capa de rodado y badenes:** Se especifica el tipo de pavimento, condiciones de los materiales a usar y espesores. Además, para los pavimentos de hormigón, se detalla el tipo y disposición de las juntas.
- **Soleras y solerillas:** Se especifica el tipo y las condiciones de los materiales a usar.
- **Veredas:** Se especifica el tipo de vereda, condiciones de los materiales y espesores.
- **Obras complementarias:** Se especifica todo aquello que constituya características especiales de cada proyecto, en particular lo que se refiere a dimensiones, condiciones de los materiales y detalles propios de cada obra.

4. LISTADO DE CALLES, PASAJES Y SUS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Se entrega además un listado con las características principales de las calles y los pasajes como, por ejemplo, el tramo, la longitud, tipo de calzada, etc.

5. CUBICACIÓN DE CANTIDADES DE OBRAS

Este documento incluye todas las cantidades de obras consideradas en el proyecto, utilizando unidades de medida del Sistema Métrico Decimal, conteniendo el número del ítem, la descripción, la unidad de medida y la cantidad en cifras enteras.

6. CUBICACIÓN DE MOVIMIENTO DE TIERRAS

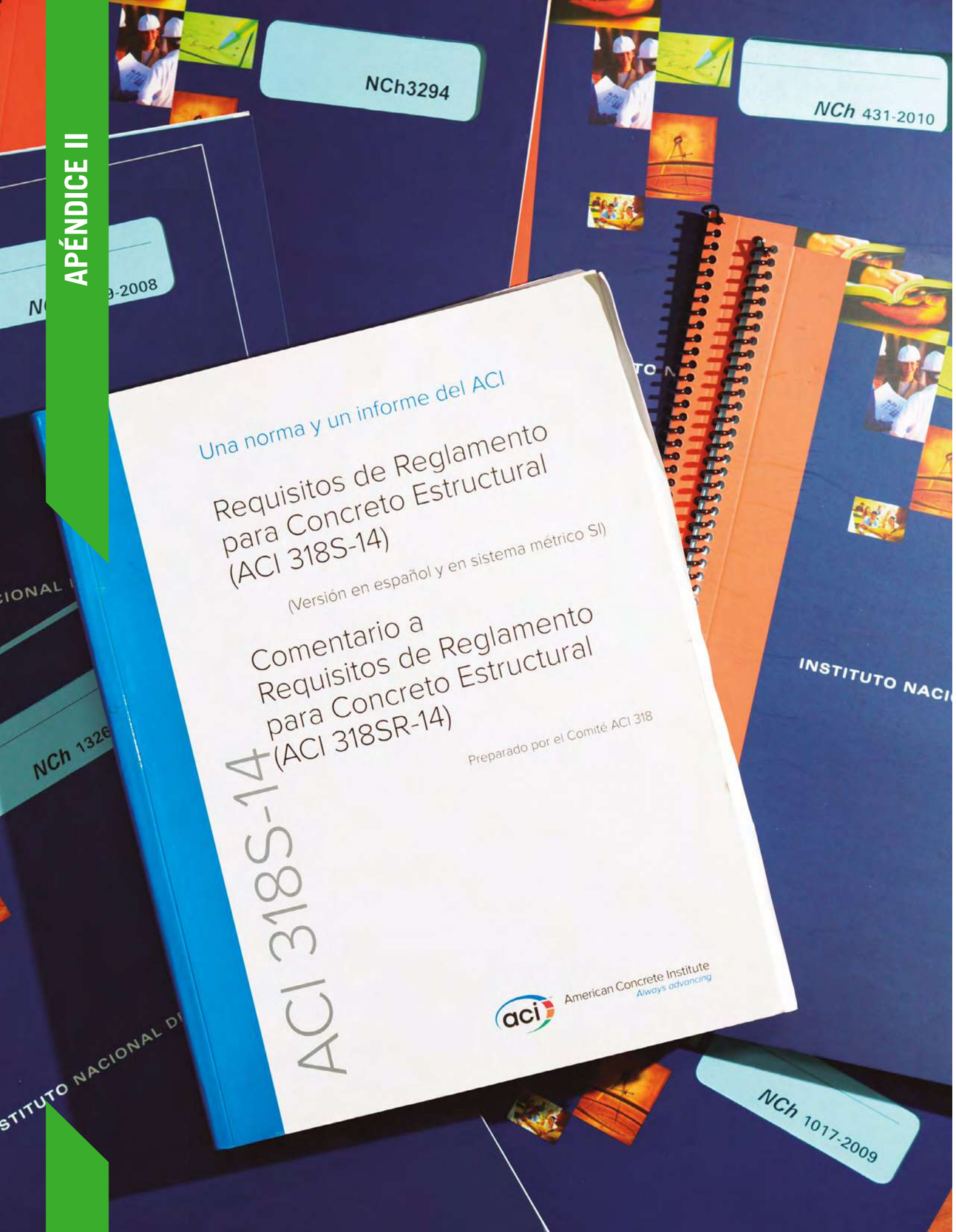
El cálculo del movimiento de tierras es informado en m^3 para todas las partidas consideradas en el proyecto.

7. PRESUPUESTO

El presupuesto del proyecto se elabora en base a partidas y precios oficiales de la lista de precios unitarios del Serviu regional, siendo presentado de acuerdo al formato que este Servicio indique.

APÉNDICE II

RESUMEN DE NORMAS CITADAS EN EL CÓDIGO



APÉNDICE II

RESUMEN DE NORMAS CITADAS EN EL CÓDIGO

1. NORMAS DEL INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN

CÓDIGO		TÍTULO
NCh	147	Cementos - Análisis químico
NCh	148	Cemento - Terminología, clasificación y especificaciones generales
NCh	151	Cemento - Método de determinación de la consistencia normal
NCh	152	Cemento - Método de determinación del tiempo de fraguado
NCh	154	Cemento - Determinación del peso específico relativo
NCh	157	Cemento - Ensayo de expansión en autoclave
NCh	158	Cemento - Ensayo de flexión y compresión de morteros de cemento
NCh	159	Cemento - Determinación de la superficie específica por el permeabilímetro según Blaine
NCh	161	Cemento - Puzolana para uso en cementos - Especificaciones
NCh	162	Cemento - Extracción de muestras
NCh	163	Áridos para morteros y hormigones - Requisitos generales
NCh	164	Áridos para morteros y hormigones - Extracción y preparación de muestras
NCh	165	Áridos para morteros y hormigones - Tamizado y determinación de la granulometría
NCh	166	Áridos para morteros y hormigones - Determinación de impurezas orgánicas en las arenas
NCh	167	Construcción - Ladrillos cerámicos - Ensayos
NCh	168	Construcción - Ladrillos cerámicos - Verificación dimensional y geométrica
NCh	170	Hormigón - Requisitos generales
NCh	171	Hormigón - Extracción de muestras del hormigón
NCh	179	Mecánica de suelos - Símbolos, unidades y definiciones
NCh	182	Ensayo de bloques de hormigón
NCh	184/1	Conductos prefabricados de hormigón para alcantarillado - Parte 1: Tubos circulares de hormigón simple, tubos de base plana de hormigón simple y tubos de base plana de hormigón - Requisitos generales
NCh	184/2	Conductos prefabricados de hormigón para alcantarillado - Parte 2: Tubos de hormigón armado de sección circular - Requisitos generales
NCh	184/3	Conductos prefabricados de hormigón para alcantarillado - Parte 3: Conductos de hormigón armado de sección rectangular - Requisitos generales
NCh	187	Ensayos de baldosas de mortero de cemento
NCh	189	Tejas planas de hormigón simple - Ensayos
NCh	203	Acero para uso estructural - Requisitos
NCh	204	Acero - Barras laminadas en caliente para hormigón armado
NCh	211	Barras con resaltes en obras de hormigón armado
NCh	218	Acero - Mallas de alta resistencia para hormigón armado - Especificaciones
NCh	219	Construcción - Mallas de acero de alta resistencia - Condiciones de uso en el hormigón armado
NCh	399	Tuberías de policloruro de vinilo (PVC) rígido, para conducción de fluidos a presión - Requisitos y métodos de ensayo
NCh	413	Agua para fines industriales - Ensayos - Determinación del pH
NCh	416	Agua para fines industriales - Ensayos - Determinación de los sólidos en suspensión y de los sólidos disueltos
NCh	430	Hormigón armado - Requisitos de diseño y cálculo
NCh	434	Barras de acero de alta resistencia en obras de hormigón armado
NCh	567	Tubos de planchas acanaladas de acero zincado - Especificaciones

NCh	723	Hojas de puertas lisas de madera - Métodos de ensayo
NCh	769	Plásticos - Determinación de absorción de agua y de las materias solubles en agua
NCh	814	Tubos de material plástico - Resistencia a la presión hidrostática interior
NCh	815	Tubos de policloruro de vinilo (PVC) rígido - Métodos de ensayo
NCh	873	Construcción - Baldosas plásticas - Métodos de ensayo
NCh	1001	Pinturas - Determinación de la densidad
NCh	1007	Pinturas - Determinación del espesor de película seca
NCh	1017	Hormigón - Confección y curado en obra de probetas para ensayos de compresión y tracción
NCh	1018	Hormigón - Preparación de mezclas de prueba en laboratorio
NCh	1019	Hormigón - Determinación de la docilidad - Método del asentamiento del cono de Abrams
NCh	1022	Tamices de ensayo, de tela de alambre y de plancha perforada - Dimensiones nominales de abertura
NCh	1037	Hormigón - Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas
NCh	1038	Hormigón - Ensayo de tracción por flexión
NCh	1116	Áridos para morteros y hormigones - Determinación de la densidad aparente
NCh	1117	Áridos para morteros y hormigones - Determinación de las densidades reales y neta y de la absorción de agua de las gravas
NCh	1170	Hormigón - Ensayo de tracción por hendimiento
NCh	1171/1	Hormigón - Testigos de hormigón endurecido - Parte 1: Extracción y ensayo
NCh	1171/2	Hormigón - Testigos de hormigón endurecido - Parte 2: Evaluación de resultados de resistencia mecánica
NCh	1172	Hormigón - Refrentado de probetas
NCh	1223	Áridos para morteros y hormigones - Determinación del material fino menor a 0,080 mm
NCh	1239	Áridos para morteros y hormigones - Determinación de las densidades real y neta de la absorción de agua de las arenas
NCh	1325	Áridos - Determinación del equivalente de arena
NCh	1326	Áridos para morteros y hormigones - Determinación de huecos
NCh	1327	Áridos para morteros y hormigones - Determinación de partículas desmenuzables
NCh	1328	Áridos para morteros y hormigones - Determinación de la desintegración - Método de los sulfatos
NCh	1333	Requisitos de calidad del agua para diferentes usos
NCh	1369	Áridos - Determinación del desgaste de las gravas - Método de la Máquina de los Ángeles
NCh	1444	Áridos para morteros y hormigón - Determinación de cloruros y sulfatos
NCh	1498	Hormigón - Agua de amasado - Requisitos
NCh	1511	Áridos para morteros y hormigones - Determinación del coeficiente volumétrico medio de las gravas
NCh	1515	Mecánica de suelos - Determinación de la humedad
NCh	1516	Mecánica de suelos - Determinación de la densidad en el terreno - Método del cono de arena
NCh	1517/1	Mecánica de suelos - Límites de consistencia - Parte 1: Determinación del límite líquido
NCh	1517/2	Mecánica de suelos - Límites de consistencia - Parte 2: Determinación del límite plástico
NCh	1532	Mecánica de suelos - Determinación de la densidad de partículas sólidas
NCh	1534/1	Mecánica de suelos - Relaciones humedad/densidad - Parte 1: Métodos de compactación con pisón de 2,5 kg y 305 mm de caída
NCh	1534/2	Mecánica de suelos - Relaciones humedad/densidad - Parte 2: Métodos de compactación con pisón de 4,5 kg y 457 mm de caída
NCh	1564	Hormigón - Determinación de la densidad aparente del hormigón fresco
NCh	1623	Cámaras de inspección prefabricadas de hormigón para redes de alcantarillado – Requisitos
	1649	Tubos plásticos - Determinación de la contracción longitudinal por efecto del calor
NCh	1852	Mecánica de suelos - Determinación de la razón de soporte de suelos compactados en laboratorio
NCh	1909	Fibrocemento - Planchas planas, planchas onduladas y tejuelas planas - Ensayos
NCh	1934	Hormigón preparado en central hormigonera

NCh	1990	Madera - Tensiones admisibles para madera estructural
NCh	1998	Hormigón - Evaluación estadística de la resistencia mecánica
NCh	2034	Asfaltenos en petróleos combustibles - Método por insolubles en n-heptano
NCh	2123	Albañilería confinada - Requisitos de diseño y cálculo
NCh	2143	Pinturas - Determinación del tiempo de secado
NCh	2152	Pinturas - Determinación del contenido de materias volátiles en masa
NCh	2154	Pinturas - Determinación de la adherencia
NCh	2182	Hormigón y mortero - Aditivos - Clasificación y requisitos
NCh	2183	Hormigón y mortero - Método de ensayo - Determinación del tiempo de fraguado
NCh	2184	Hormigón y mortero - Métodos de ensayo - Determinación del contenido de aire
NCh	2220	Pinturas y barnices - Adherencia - Ensayo de corte transversal
NCh	2257/1	Morteros - Determinación de la consistencia - Parte 1: Método del extendido en la mesa de sacudidas
NCh	2257/3	Morteros - Determinación de la consistencia - Parte 3: Método del asentamiento del cono
NCh	2259	Morteros - Determinación de la retentividad - Método de la succión del agua por vacío
NCh	2260	Morteros - Preparación de mezclas de prueba y mezclas comparativas en el laboratorio
NCh	2261	Morteros - Determinación de las resistencias mecánicas de probetas confeccionadas en obra
NCh	2332	Asfaltos – Muestreo
NCh	2333	Asfaltos - Determinación de la densidad y la densidad relativa
NCh	2334	Asfaltos - Determinación de la viscosidad Saybolt
NCh	2335	Asfaltos - Determinación de la viscosidad cinemática
NCh	2336	Asfaltos - Determinación de la viscosidad mediante viscosímetros capilares de vacío
NCh	2337	Asfaltos - Determinación del punto de ablandamiento mediante el aparato de anillo y bola
NCh	2338	Asfaltos - Determinación de los puntos de inflamación y combustión - Método de la copa abierta Cleveland
NCh	2339	Asfaltos - Determinación del punto de inflamación - Método de la copa abierta Tag
NCh	2340	Asfaltos - Ensayo de penetración
NCh	2341	Asfaltos - Determinación de la solubilidad en solventes orgánicos
NCh	2342	Asfaltos - Ensayo de ductilidad
NCh	2343	Asfaltos - Ensayo de la mancha
NCh	2344	Asfaltos - Punto de fragilidad Fraass
NCh	2346	Asfaltos - Ensayo de película delgada rotatoria
NCh	2347	Asfaltos cortados - Ensayo de destilación
NCh	2348	Emulsiones asfálticas - Métodos de ensayo
NCh	2505	Estabilización química de suelos - Caracterización del producto y evaluación de propiedades de desempeño del suelo

2. MANUAL DE CARRETERAS

Se indica el código del procedimiento de ensayo. Se debe aplicar la versión vigente del Manual de Carreteras, salvo que el organismo competente establezca otra instrucción.

CÓDIGO		TÍTULO
MC	8.102.1	Suelos: método para determinar la granulometría
MC	8.202.6	Agregados pétreos: método para determinar la cubicidad de las partículas
MC	8.202.7	Agregados pétreos: método para determinar el índice de lajas
MC	8.302.24	Asfaltos: método Superpave para medir viscosidad mediante el viscosímetro rotacional Brookfield
MC	8.302.27	Asfaltos: método de muestreo de mezclas
MC	8.302.28	Asfaltos: método para análisis granulométrico de agregados provenientes de extracción
MC	8.302.29	Asfaltos: método estático para determinar la adherencia agregado – ligante asfáltico
MC	8.302.30	Asfaltos: método para determinar la adherencia agregado – ligante asfáltico mediante carbonato de sodio (Riedel – Weber)
MC	8.302.34	Asfaltos: método Abson para la recuperación de asfalto
MC	8.302.36	Asfaltos: determinación del contenido de bitumen en mezclas (ensayo de extracción)
MC	8.302.37	Asfaltos: método para determinar la densidad máxima de mezclas asfálticas sin compactar
MC	8.302.38	Asfaltos: método para determinar la densidad real de mezclas asfálticas compactadas
MC	8.302.40	Asfaltos: método para determinar la resistencia a la deformación plástica de mezclas asfálticas utilizando el aparato Marshall
MC	8.302.44	Asfaltos: método para determinar in situ la permeabilidad de pavimentos drenantes
MC	8.302.47	Asfaltos: método de diseño Marshall
MC	8.302.48	Asfaltos: Método de Diseño de mezclas Asfálticas de Graduación Abierta
MC	8.302.54	Asfaltos: método para caracterización de las mezclas asfálticas abiertas por medio del ensaye Cántabro de pérdida por desgaste
MC	8.302.55	Asfaltos: método para determinar el efecto del agua sobre la cohesión de mezclas asfálticas de granulometría abierta, mediante el ensaye Cántabro de pérdida por desgaste

3. NORMAS ASTM

Se indica el código de la norma. Se debe aplicar su versión vigente, salvo que el organismo competente establezca otra instrucción.

CÓDIGO		TÍTULO
ASTM	C40	Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete
ASTM	C123	Standard Test Method for Lightweight Particles in Aggregate
ASTM	C309	Standard Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete
ASTM	D139	Standard Test Method for Float Test for Bituminous Materials
ASTM	D1195	Standard Test Method for Repetitive Static Plate Load Tests of Soils and Flexible Pavement Components, for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements
ASTM	D1196	Standard Test Method for Nonrepetitive Static Plate Load Tests of Soils and Flexible Pavement Components, for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements
ASTM	D1559	Test Method for Resistance of Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus (Withdrawn 1998)
ASTM	D1560	Standard Test Methods for Resistance to Deformation and Cohesion of Bituminous Mixtures by Means of Hveem Apparatus
ASTM	D2041	Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures
ASTM	D2166	Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil
ASTM	D2435	Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading
ASTM	D3080	Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions
ASTM	D3549	Standard Test Method for Thickness or Height of Compacted Bituminous Paving Mixture Specimens
ASTM	D3625	Standard Practice for Effect of Water on Bituminous-Coated Aggregate Using Boiling Water
ASTM	D4253	Standard Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table
ASTM	D4254	Standard Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density
ASTM	E274	Standard Test Method for Skid Resistance of Paved Surfaces Using a Full-Scale Tire
ASTM	D7113	Standard Test Method for Density of Bituminous Paving Mixtures in Place by the Electromagnetic Surface Contact Methods
ASTM	D7830	Standard Test Method for In-Place Density (Unit Weight) and Water Content of Soil Using an Electromagnetic Soil Density Gauge
ASTM	D3549	Standard Test Method for Thickness or Height of Compacted Bituminous Paving Mixture Specimens
ASTM	C309	Standard Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete
ASTM	D1075	Standard Test Method for Effect of Water on Compressive Strength of Compacted Bituminous Mixtures
ASTM	C 140	Standard Test Methods for Sampling and Testing Concrete Masonry Units and Related Units
ASTM	C778	Standard Specification for Standard Sand
ASTM	D3910	Standard Practices for Design, Testing, and Construction of Slurry Seal
ASTM	E950	Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference

4. NORMAS AASHTO

Se indica el código de la norma. Se debe aplicar su versión vigente, salvo que el organismo competente establezca otra instrucción.

CÓDIGO		TÍTULO
AASHTO	M148	Norma discontinuada
AASHTO	T48	Standard Method of Test for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup
AASHTO	T165	Norma discontinuada
AASHTO	T170	Recovery of Asphalt Binder from Solution by Abson Method T 170-00 (2009) has been revised in such a manner that it no longer produces atest result. This revised standard has become R 59
AASHTO	R059	Standard Method of Test for Recovery of Asphalt Binder from Solution by Abson Method
AASHTO	T110	Standard Method of Test for Moisture or Volatile Distillates in Hot Mix Asphalt (HMA)
AASHTO	T308	Standard Method of Test for Determining the Asphalt Binder Content of Hot Mix Asphalt (HMA) by the Ignition Method
AASHTO	T304	Standard Method of Test for Uncompacted Void Content of Fine Aggregate
AASHTO	T37	Standard Method of Test for Sieve Analysis of Mineral Filler for Hot Mix Asphalt
AASHTO	T222	Standard Method of Test for Nonrepetitive Static Plate Load Test of Soils and Flexible Pavement Components for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements
AASHTO	T221	Standard Method of Test for Repetitive Static Plate Load Tests of Soils and Flexible Pavement Components for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements
AASHTO	T294	Resilient modulus of unbound granular base/subbase material and subgrade soils-HRP Protocol P46
AASHTO	T307	Standard method of test for determining the Resilient Modulus of soils and aggregate materials
AASHTO	T307	Standard Method of Test for Determining the Resilient Modulus of Soils and Aggregate Materials
AASHTO	TP48	Standard Test Method for Viscosity Determinations of Unfilled Asphalts Using the Brookfield Thermosel Apparatu

5. NORMAS UNE

CÓDIGO		TÍTULO
UNE	146507-1	Ensayos de áridos. Determinación de la reactividad potencial de los áridos. Método químico. Parte 1: Determinación de la reactividad álcali-sílice y álcali-silicato
UNE	933-5	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 5: Determinación del porcentaje de caras de fractura de las partículas de árido grueso
UNE	EN 933-5	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 5: Determinación del porcentaje de caras de fractura de las partículas de árido grueso

6. NORMAS NLT

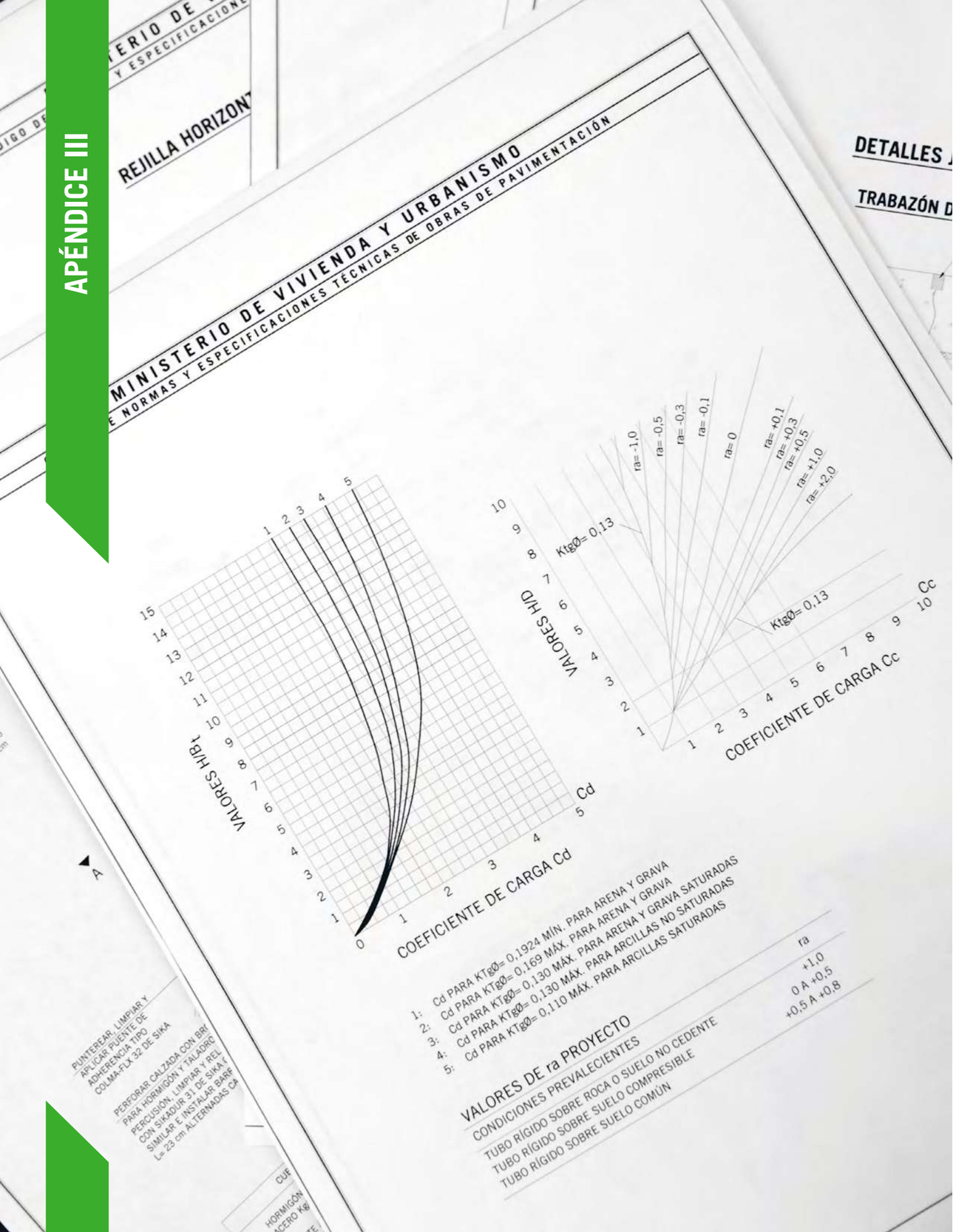
CÓDIGO		TÍTULO
NLT	114	Determinación del contenido en sales solubles de los suelos
NLT	162	Efecto del agua sobre la cohesión de las mezclas asfálticas compactadas (Ensayo de inmersión – compresión)
NLT	164	Contenido de ligante en mezclas bituminosas
NLT	165	Análisis granulométrico de los áridos extraídos de mezclas bituminosas
NLT	168	Densidad y huecos en mezclas bituminosas compactadas
NLT	173	Resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas mediante la pista de ensayo de laboratorio
NLT	174	Pulimento acelerado de los áridos
NLT	175	Densidad y huecos en mezclas bituminosas compactadas
NLT	176	Densidad aparente del polvo mineral en tolueno
NLT	313	Áridos: adhesividad mediante la placa Vialit
NLT	317	Consistencia, con el cono, de las lechadas bituminosas
NLT	320	Abrasión por vía húmeda de las lechadas bituminosas
NLT	323	Método de ensayo para clasificar las lechadas bituminosas por medida del par de torsión, en el cohesiómetro, en función del tiempo de curado
NLT	326	Ensayo de lixiviación en materiales para carreteras (método del tanque)
NLT	327	Permeabilidad in situ de pavimentos drenantes con el Permeámetro LCS
NLT	328	Estabilidad al almacenamiento de betunes asfálticos modificados
NLT	329	Recuperación elástica por torsión de betunes asfálticos modificados
NLT	348	Toma de muestras de mezclas bituminosas para pavimentación
NLT	349	Medida de módulos dinámicos de materiales para carreteras
NLT	352	Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo Cántabro de pérdida por desgaste
NLT	353	Recuperación del ligante de mezclas bituminosas para su caracterización
NLT	354	Índice de lajas y de agujas de los áridos para carreteras
NLT	358	Áridos. Determinación del número de caras de fractura en el machaqueo
NLT	362	Efecto del agua sobre la cohesión de mezclas bituminosas de granulometría abierta, mediante el ensayo Cántabro de pérdida por desgaste
NLT	365	Escurrimiento de ligante en mezclas bituminosas abiertas

7. NORMAS ISSA

CÓDIGO		TÍTULO
ISSA	TB 100	Test Method for Wet Track Abrasion of Slurry Surfaces
ISSA	TB 111	Outline Guide Design Procedure for Slurry Seal

APÉNDICE III
LÁMINAS TIPO

APÉNDICE III

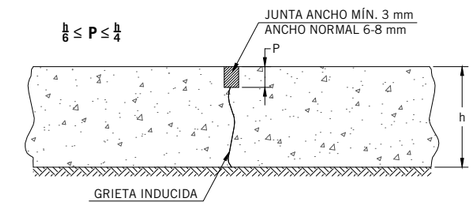


MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

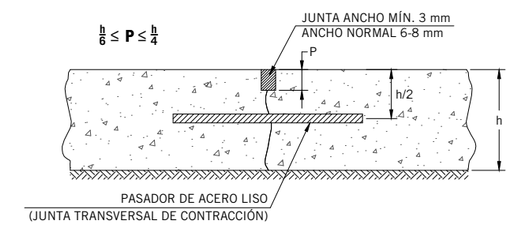
CÓDIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACIÓN

DETALLES JUNTURAS HCV

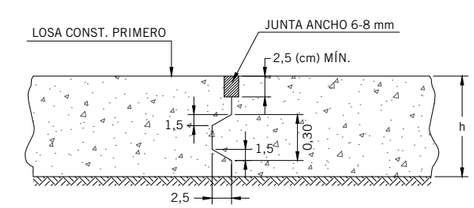
TRABAZÓN DE AGREGADOS



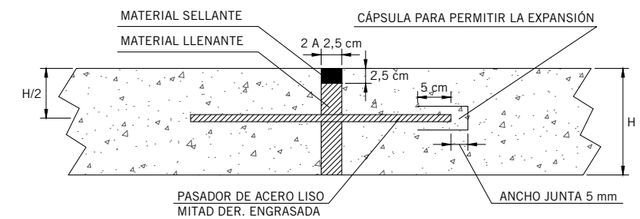
JUNTA CON PASADORES



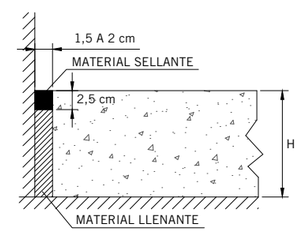
JUNTA LONGITUDINAL MACHIEMBRADA



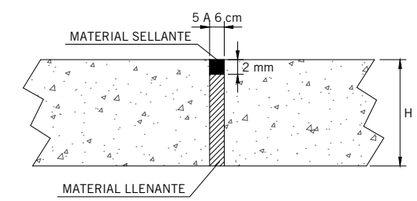
CONTENIDO:	FECHA:	
JUNTAS EN PAVIMENTOS DE HORMIGÓN	2008	LÁMINA N° 4.1



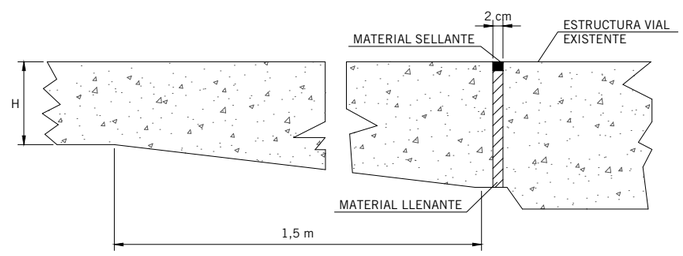
JUNTA EXPANSIÓN TIPO 1



JUNTA EXPANSIÓN TIPO 2



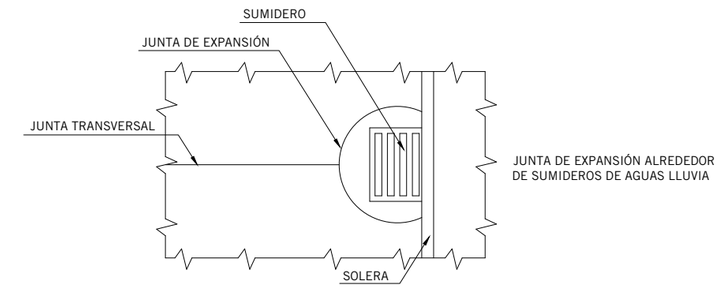
JUNTA EXPANSIÓN TIPO 3

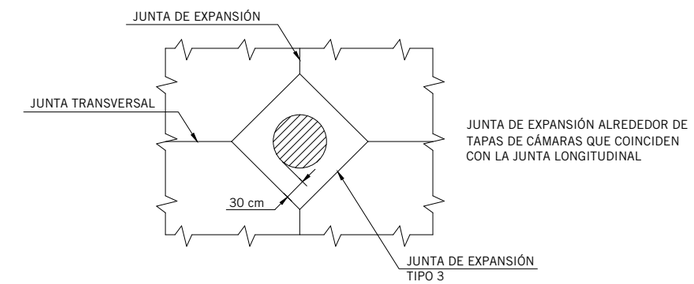


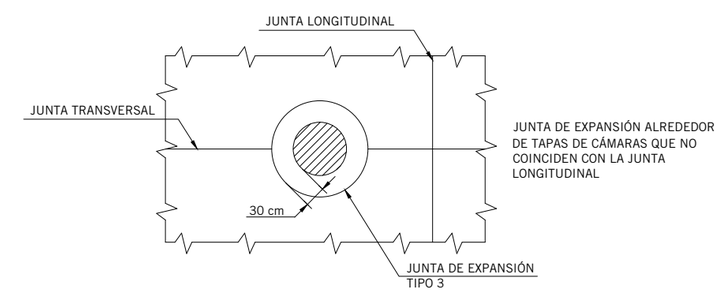
JUNTA EXPANSIÓN TIPO 4

CONTENIDO:	FECHA:	
JUNTAS EN PAVIMENTOS DE HORMIGÓN	2008	LÁMINA N° 4.2

DETALLES JUNTURAS HCV



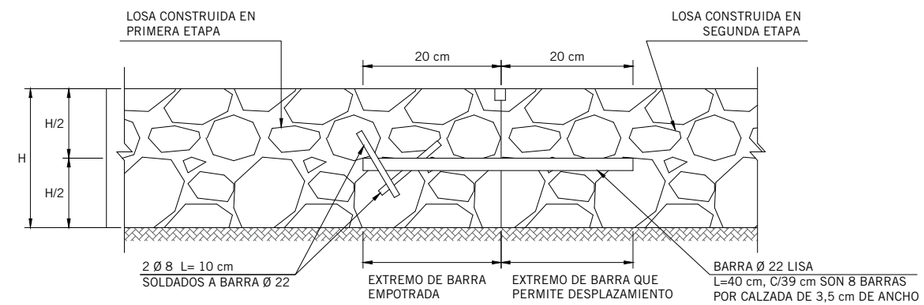




CONTENIDO:	FECHA:	
JUNTAS EN PAVIMENTOS DE HORMIGÓN	2016	LÁMINA N° 4.3

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CÓDIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACIÓN



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

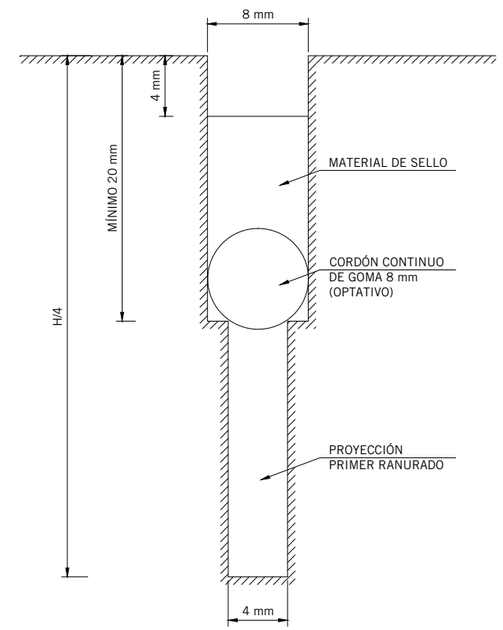
1. ACERO A 440-280 H
2. EL EXTREMO DE LA BARRA QUE QUEDARÁ INSERTA EN LA LOSA QUE SE CONSTRUYE EN LA 2° ETAPA SE DEJA EMBEBIDO EN GRASA Y ENVUELTA EN POLIETILENO, EL CUAL SE RETIRARÁ AL MOMENTO DE VACIADO EL HORMIGÓN

CUBICACIÓN
1. BARRA LISA Ø 22 Kg/CALZADA DE 3,5 m: 9,54 2. BARRA CON RESALTE Ø 8 Kg/CALZADA DE 3,5 m: 0,63

CONTENIDO:	FECHA:	LÁMINA N°
DETALLE JUNTA DE CONSTRUCCIÓN	2008	4.4

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CÓDIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACIÓN



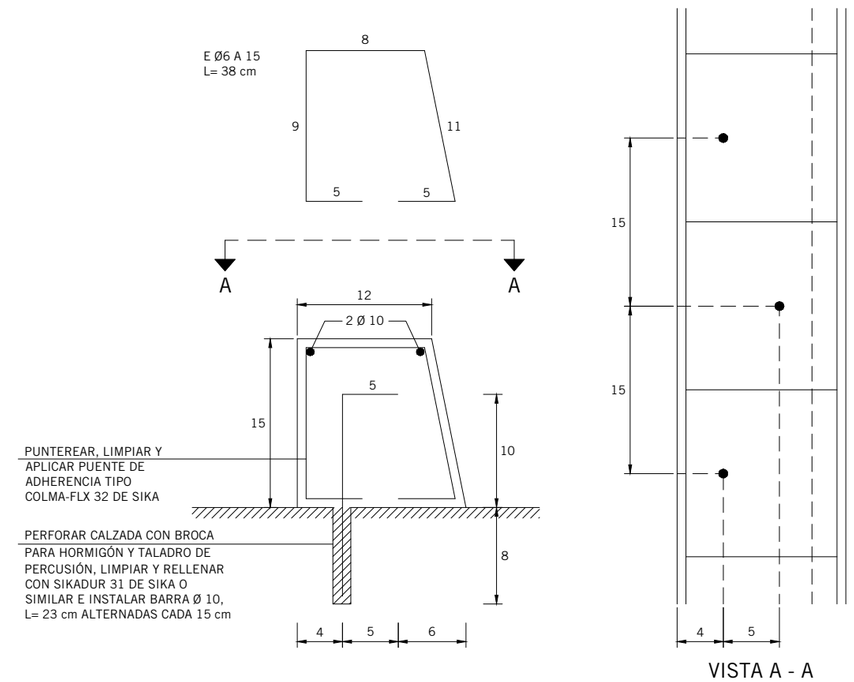
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

1. PRIMER RANURADO DE PROFUNDIDAD H/4 Y ANCHO 4 mm
2. RANURADO DE PROFUNDIDAD MÍNIMA 20 mm Y ANCHO 8 mm

CUBICACIÓN
1. MATERIAL DE SELLO L/m: 0,08
2. CORDÓN DE GOMA m/m: 1,0

CONTENIDO:	FECHA:	LÁMINA N°
DETALLE ASERRADO DE JUNTAS PARA CORDÓN	2008	4.5

SOLERA HECHA EN SITIO SOBRE CALZADA DE HORMIGÓN



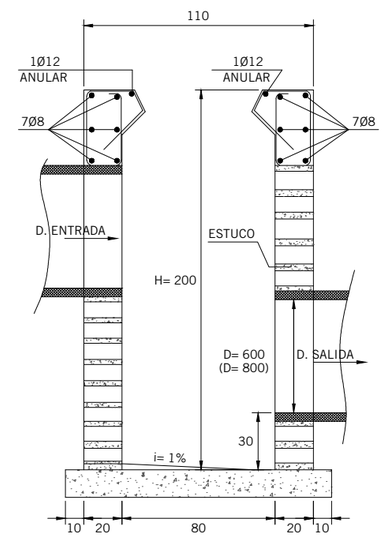
CUBICACIÓN POR ml DE SOLERA	
1. HORMIGÓN m3/m	0,025
2. ACERO Kg/m Ø 8	0,616
Ø 10	
3. PUENTE ADHERENCIA Kg/m	2,19
4. ADHESIVO ANCLAJE Kg/m	0,30

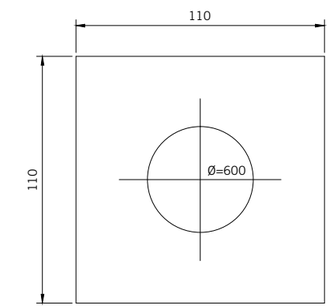
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

1. HORMIGÓN GRADO H-30 CON 20% FD. Y CONSIDERANDO DOSIS MÍNIMA DE CEMENTO DE 340 Kg cem/m3 PREPARADO CON ÁRIDO TAMAÑO MÁXIMO ¾"
2. ACERO A440-280H CON RESALTE SALVO D= 6 mm
3. SE DISPONDRÁ JUNTAS DE DILATACIÓN COINCIDENTES CON LAS JUNTAS DE LA CALZADA Y DE UN ESPESOR DE 5 mm
4. EN EL USO DE LOS MATERIALES EPOXIPOS. CONSIDERAR LAS INSTRUCCIONES DEL FABRICANTE

CONTENIDO:	FECHA:	LÁMINA N°
SOLERA EN SITIO	**2008**	**6.1**

TAPA LOSA H.A.





ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

1. APOYO EN SUELO NATURAL NO REMOVIDO
2. VIGAS DE HORMIGÓN H-30
3. RADIER DE HORMIGÓN H-25
4. ACERO A440-280H D= 8 CON RESALTE

CUBICACIÓN

		H1	H2
1. RADIER			
HORMIGÓN H-25	m3	0,252	0,294
2. HORMIGÓN ARMADO			
HORMIGÓN H-30	m3	0,176	0,205
T. MAX. ¾"			
3. ACERO A440-280H			
D= 6 mm	Kg	3,6	4,0
D= 8	Kg	9,8	11,3
D= 12	Kg	1,6	1,8
4. ESTUCO A GRANO			
PERDIDO (1:3)	GP	GP	GP

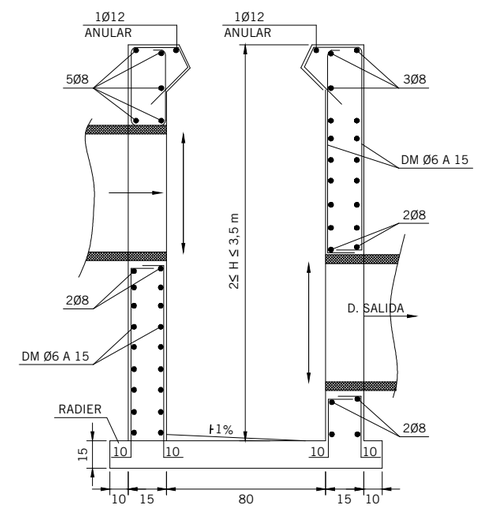
CONTENIDO:
CÁMARA DE INSPECCIÓN SIFÓN H≤ 2 m, D= 600 (800)

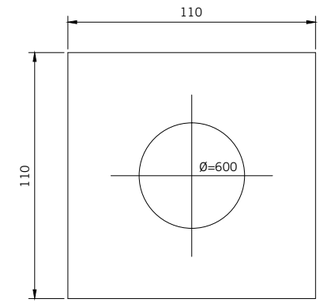
FECHA: 2008

LÁMINA N° 7.1

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CÓDIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACIÓN





ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

1. APOYO EN SUELO NATURAL NO REMOVIDO
2. VIGAS DE HORMIGÓN H-30
3. RADIER DE HORMIGÓN H-25
4. ACERO A440-280H CON RESALTE

CUBICACIÓN		D= 600	D=800
1. RADIER			
HORMIGÓN H-25	m3	0,252	0,294
2. HORMIGÓN ARMADO			
HORMIGÓN H-30	m3	0,176	0,90/1,20
3. ACERO A440-280H			0,50/0,80
D= 6	Kg H1/H2	2,1/2,5	2,0/2,4
D= 8	Kg	24,0	24,8
D= 12	Kg	2,2	2,2

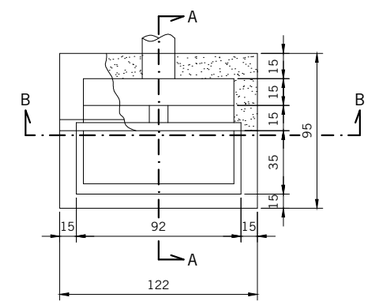
CONTENIDO:
CÁMARA DE INSPECCIÓN SIFÓN > 2 m, D= 600 (800)

FECHA: **2008**

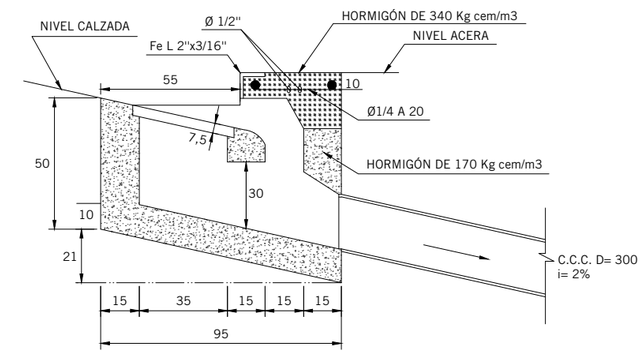
LÁMINA N° **7.2**

SUMIDERO TIPO S-1 CONECTADO A CÁMARA

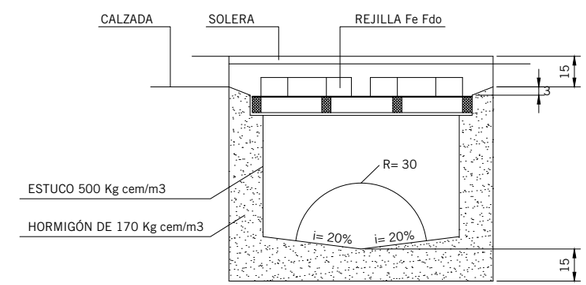
PLANTA



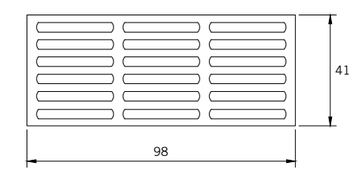
CORTE A-A



CORTE B-B



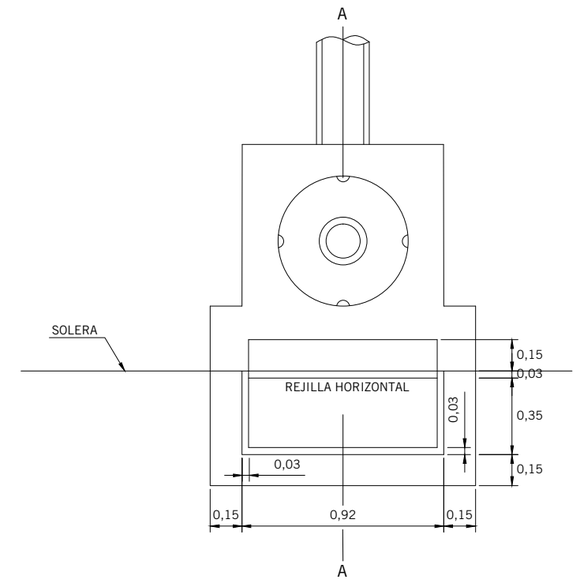
REJILLA DE FIERRO FUNDIDO

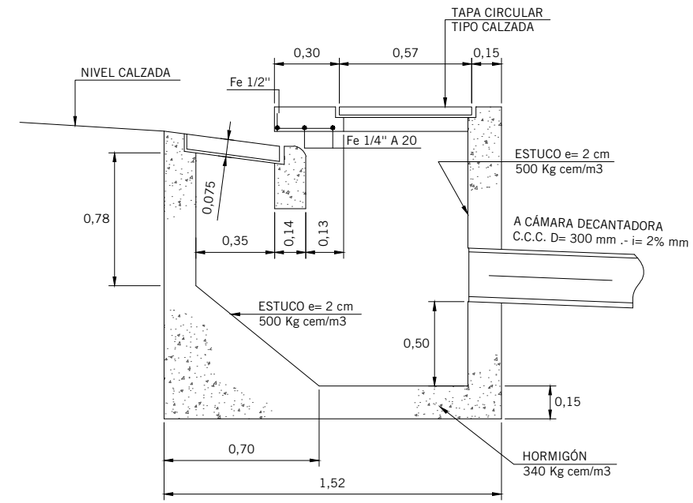


CONTENIDO:	FECHA:	
SUMIDERO GRANDE S1 A CÁMARA	2008	LÁMINA N° 7.3

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

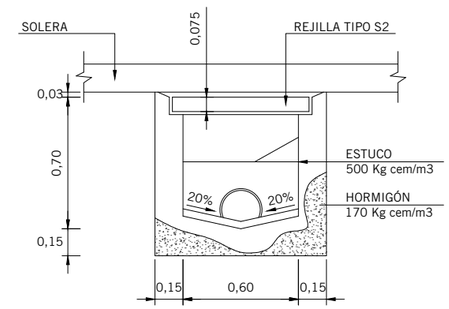
CÓDIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACIÓN



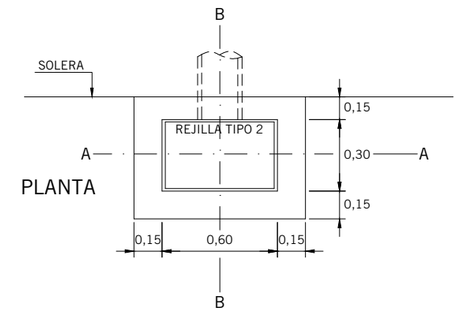


CONTENIDO:	FECHA:	
SUMIDERO TIPO S2 CON CÁMARA DECANTADORA	2008	LÁMINA N° 7.4

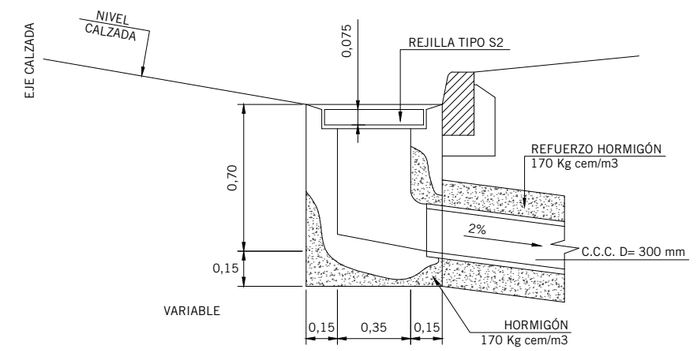
SUMIDERO TIPO S3 CON CÁMARA DECANTADORA



CORTE A-A



PLANTA

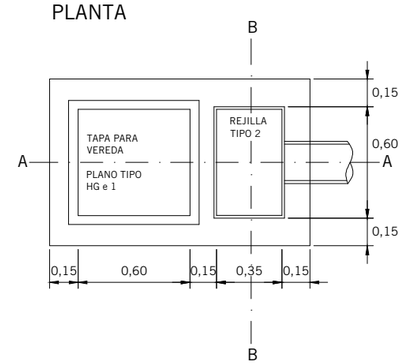


CORTE B-B

CONTENIDO:	FECHA:	LÁMINA N°
SUMIDERO TIPO S3 A CÁMARA	**2008**	**7.5**

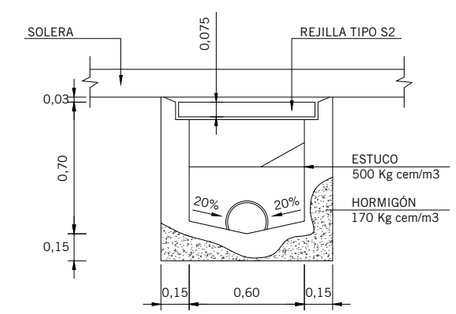
SUMIDERO TIPO S4 A CAÑERÍA

PLANTA

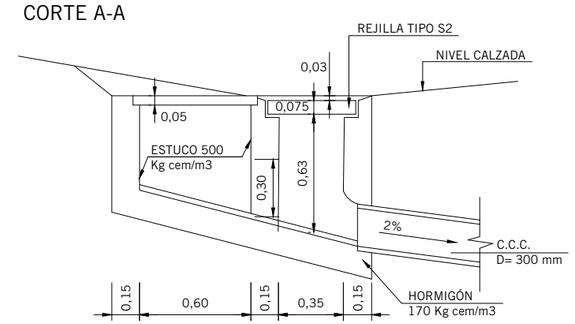


CORTE B-B

ESCALA 1:25



CORTE A-A

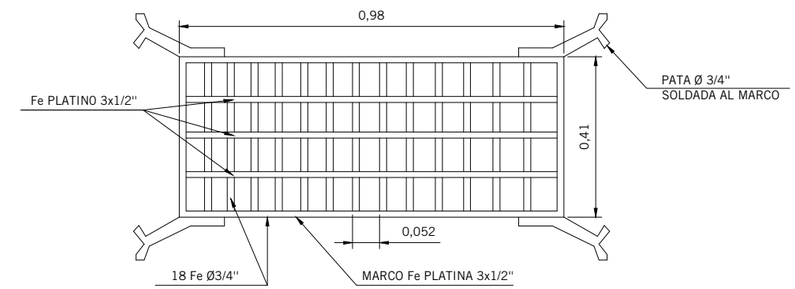


CONTENIDO:	FECHA:	
SUMIDERO TIPO S4 A CAÑERÍA	2008	LÁMINA N° 7.6

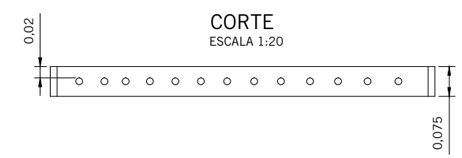
REJILLA HORIZONTAL PARA SUMIDERO GRANDE

FIERRO LAMINADO

PLANTA
ESCALA 1:20

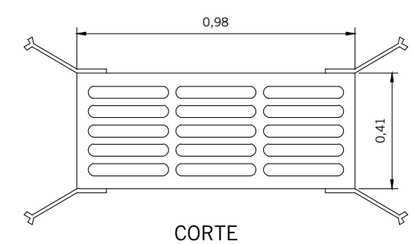


CORTE
ESCALA 1:20

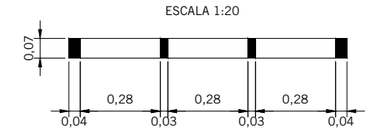


FIERRO FUNDIDO

PLANTA
ESCALA 1:20



CORTE
ESCALA 1:20

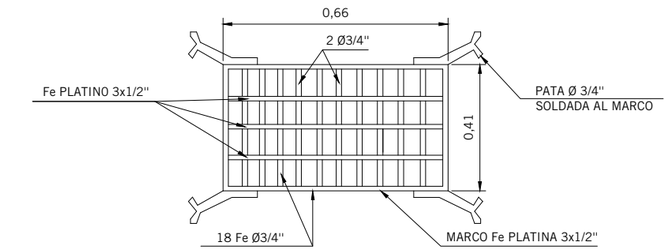


CONTENIDO:	FECHA:	
REJILLA HORIZONTAL PARA SUMIDERO GRANDE	2008	LÁMINA N° 7.7

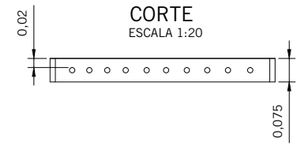
REJILLA HORIZONTAL PARA SUMIDERO CHICO

FIERRO LAMINADO

PLANTA
ESCALA 1:20

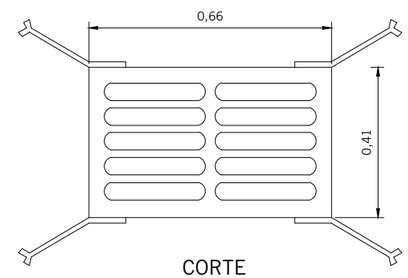


CORTE
ESCALA 1:20

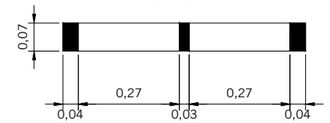


FIERRO FUNDIDO

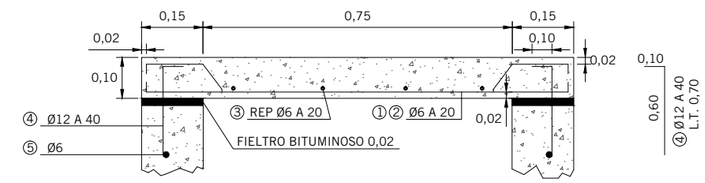
PLANTA
ESCALA 1:20

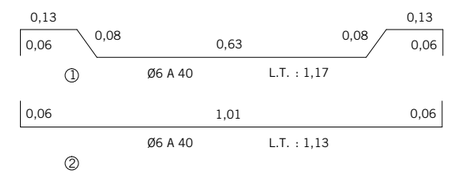


CORTE
ESCALA 1:20



CONTENIDO:	FECHA:	
REJILLA HORIZONTAL PARA SUMIDERO CHICO	2008	LÁMINA N° 7.8





CUBICACIÓN CANTIDADES POR M.L.

ACERO A630-420H						
N°	Ø	Y	D	L	C	P/U	P/T
1	6	A	40	1,17	3	0,29	0,87
2	6	A	40	1,13	2	0,28	0,56
3	6	A	20	1	5	0,25	1,25
4	12	A	40	0,7	5	0,7	3,5
5	6			1	7	0,25	0,5
SUBTOTAL							6,68
DESPUNTE 5%							0,33
TOTAL							7,01

HORMIGÓN H-35 90% N.C. (MÍNIMO): 0,105 m3

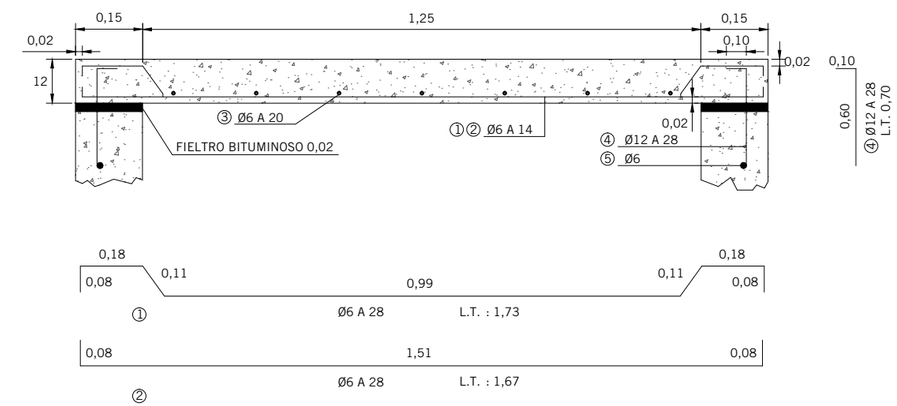
NOTA:
EL DISEÑO PROPUESTO CONSIDERA EL USO PEATONAL DE LAS ACERAS, CON UNA CARGA MÁXIMA 500 (Kg/m2)

NOTA:
LA FABRICACIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO DEBERÁ SATISFACER LAS ESPECIFICACIONES DE LA NORMA NCH.204: ACERO - BARRAS LAMINADAS EN CALIENTE PARA HORMIGÓN ARMADO.
LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEBERÁ HACERSE DE ACUERDO A LA NORMA NCH.200: PRODUCTOS METÁLICOS - ENSAYO DE TRACCIÓN. EL ENSAYO DE DOBLADO SE EFECTUARÁ DE ACUERDO A LO INDICADO EN LA NORMA NCH.201: ACERO - ENSAYO DE DOBLADO DE PLANCHAS DE ESPESOR SUPERIOR O IGUAL A 3 mm BARRAS Y PERFILES.

CONTENIDO:
LOSA DE HORMIGÓN ARMADO DE 0,75 m DE LUZ PARA ACERAS

FECHA: 2008

LÁMINA N° 7.9



CUBICACIÓN CANTIDADES POR M.L.						
ACERO A630-420H						
N°	Ø	Y	D	L	C	P/U	P/T
1	6	A	28	1,73	4	0,41	1,64
2	6	A	28	1,67	3	0,403	1,21
3	6	A	20	1	7	0,25	1,75
4	12	A	28	0,7	7	0,7	4,49
5	6			1	2	0,25	0,5
SUBTOTAL							9,95
DESPUNTE 5%							0,5
TOTAL							10,45

HORMIGÓN H-35 90% N.C. (MÍNIMO): 0,19 m3

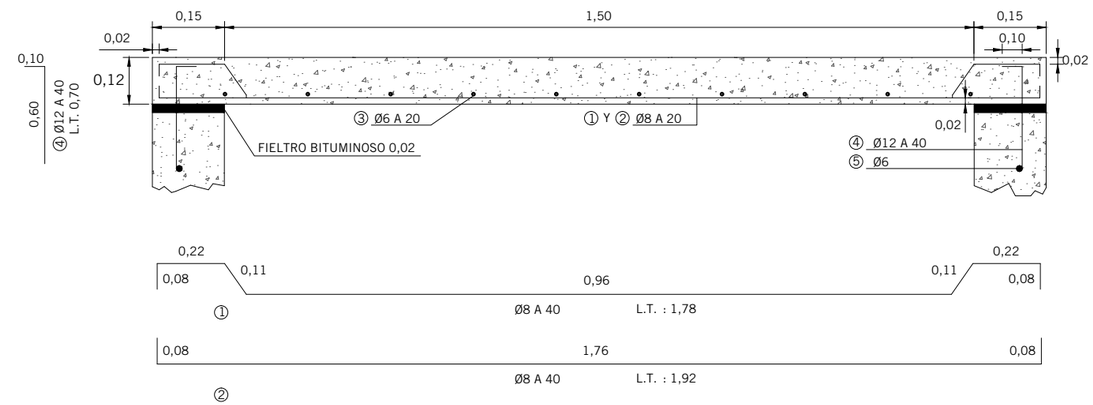
NOTA:
EL DISEÑO PROPUESTO CONSIDERA EL USO PEATONAL DE LAS ACERAS, CON UNA CARGA MÁXIMA 500 (Kg/m2)

NOTA:
LA FABRICACIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO DEBERÁ SATISFACER LAS ESPECIFICACIONES DE LA NORMA NCH.204: ACERO - BARRAS LAMINADAS EN CALIENTE PARA HORMIGÓN ARMADO.
LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEBERÁ HACERSE DE ACUERDO A LA NORMA NCH.200: PRODUCTOS METÁLICOS - ENSAYO DE TRACCIÓN. EL ENSAYO DE DOBLADO SE EFECTUARÁ DE ACUERDO A LO INDICADO EN LA NORMA NCH.201: ACERO - ENSAYO DE DOBLADO DE PLANCHAS DE ESPESOR SUPERIOR O IGUAL A 3 mm BARRAS Y PERFILES.

CONTENIDO:
LOSA DE HORMIGÓN ARMADO DE 1,25 m DE LUZ PARA ACERAS

FECHA: 2008

LÁMINA N° 7.10



CUBICACIÓN CANTIDADES POR M.L.						
ACERO A630-420H						
N°	Ø Y D		L	C	P/U	P/T
1	8	A 40	1,78	3	0,8	2,4
2	8	A 40	1,92	2	0,77	1,54
3	6	A 20	1	8	0,25	1,5
4	12	A 40	0,6	5	0,6	3
5	6		1	2	0,25	0,5
SUBTOTAL						10,94
DESPUNTE 5%						0,55
TOTAL						11,49

HORMIGÓN H-35 90% N.C. (MÍNIMO): 0,214 m3

NOTA:
EL DISEÑO PROPUESTO CONSIDERA EL USO PEATONAL DE LAS ACERAS, CON UNA CARGA MÁXIMA 500 (Kg/m2)

NOTA:
LA FABRICACIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO DEBERÁ SATISFACER LAS ESPECIFICACIONES DE LA NORMA NCH.204: ACERO - BARRAS LAMINADAS EN CALIENTE PARA HORMIGÓN ARMADO.
LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEBERÁ HACERSE DE ACUERDO A LA NORMA NCH.200: PRODUCTOS METÁLICOS - ENSAYO DE TRACCIÓN. EL ENSAYO DE DOBLADO SE EFECTUARÁ DE ACUERDO A LO INDICADO EN LA NORMA NCH.201: ACERO - ENSAYO DE DOBLADO DE PLANCHAS DE ESPESOR SUPERIOR O IGUAL A 3 mm BARRAS Y PERFILES.

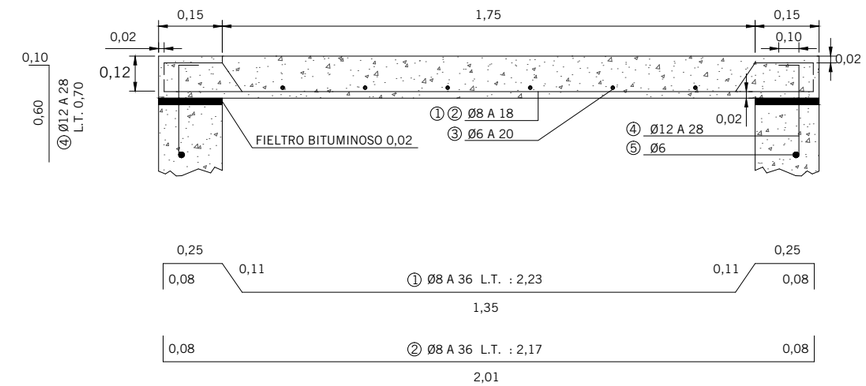
CONTENIDO:
LOSA DE HORMIGÓN ARMADO DE 1,50 m DE LUZ PARA ACERAS

FECHA: **2008**

LÁMINA N° **7.11**

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CÓDIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACIÓN



CUBICACIÓN CANTIDADES POR M.L.						
ACERO A630-420H						
N°	Ø	Y	D	L	C	P/U	P/T
1	8	A	36	2,23	6	0,89	5,34
2	8	A	36	2,17	5	0,87	4,35
3	6	A	20	1	11	0,25	2,75
4	12	A	28	0,7	4	0,7	2,8
5	6			1	2	0,25	0,5
SUBTOTAL							15,74
DESPUNTE 5%							0,79
TOTAL							16,53

HORMIGÓN H-35 90% N.C. (MÍNIMO): 0,25 m3

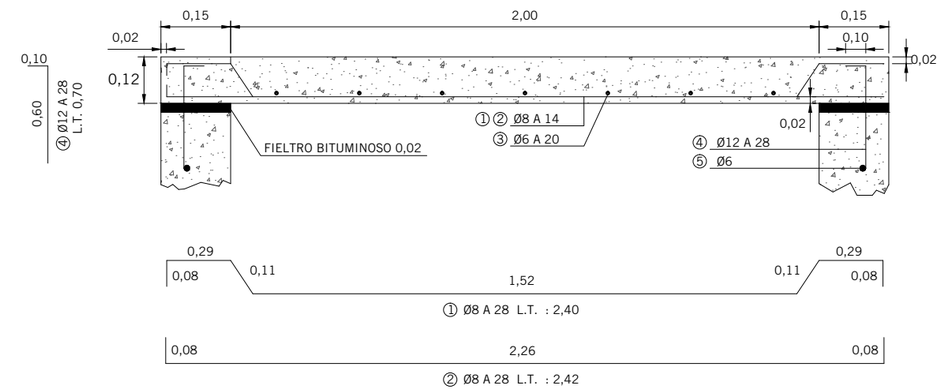
NOTA:
EL DISEÑO PROPUESTO CONSIDERA EL USO PEATONAL DE LAS ACERAS, CON UNA CARGA MÁXIMA 500 (Kg/m2)

NOTA:
LA FABRICACIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO DEBERÁ SATISFACER LAS ESPECIFICACIONES DE LA NORMA NCH.204: ACERO - BARRAS LAMINADAS EN CALIENTE PARA HORMIGÓN ARMADO.
LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEBERÁ HACERSE DE ACUERDO A LA NORMA NCH.200: PRODUCTOS METÁLICOS - ENSAYO DE TRACCIÓN. EL ENSAYO DE DOBLADO SE EFECTUARÁ DE ACUERDO A LO INDICADO EN LA NORMA NCH.201: ACERO - ENSAYO DE DOBLADO DE PLANCHAS DE ESPESOR SUPERIOR O IGUAL A 3 mm BARRAS Y PERFILES.

CONTENIDO:	FECHA:	
LOSA DE HORMIGÓN ARMADO DE 1,75 m DE LUZ PARA ACERAS	**2008**	LÁMINA N° **7.12**

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CÓDIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACIÓN



CUBICACIÓN CANTIDADES POR M.L.

ACERO A630-420H						
N°	Ø	Y	D	L	C	P/U	P/T
1	8	A	28	2,40	4	0,93	3,72
2	8	A	28	2,42	3	0,94	2,82
3	6	A	20	1	13	0,25	3,35
4	12	A	28	0,7	7	0,7	4,9
5	6			1	2	0,25	0,5
SUBTOTAL							15,29
DESPUNTE 5%							0,76
TOTAL							16,05

HORMIGÓN H-35 90% N.C. (MÍNIMO): 0,28 m3

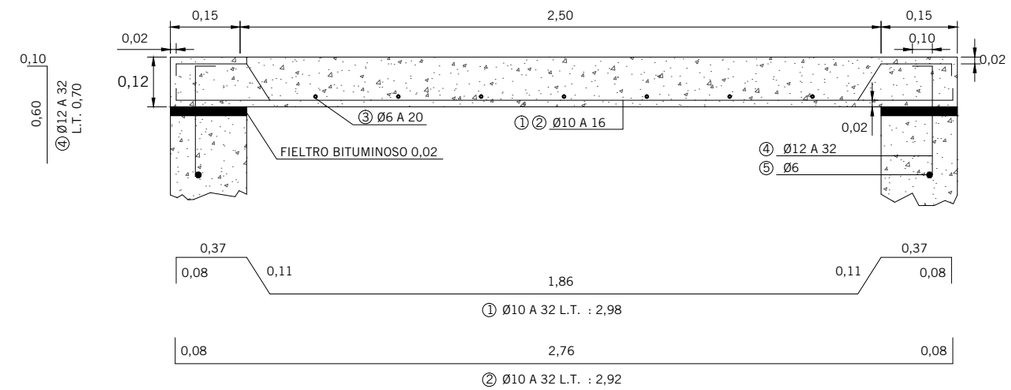
NOTA:
EL DISEÑO PROPUESTO CONSIDERA EL USO PEATONAL DE LAS ACERAS, CON UNA CARGA MÁXIMA 500 (Kg/m2)

NOTA:
LA FABRICACIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO DEBERÁ SATISFACER LAS ESPECIFICACIONES DE LA NORMA NCH.204: ACERO - BARRAS LAMINADAS EN CALIENTE PARA HORMIGÓN ARMADO.
LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEBERÁ HACERSE DE ACUERDO A LA NORMA NCH.200: PRODUCTOS METÁLICOS - ENSAYO DE TRACCIÓN. EL ENSAYO DE DOBLADO SE EFECTUARÁ DE ACUERDO A LO INDICADO EN LA NORMA NCH.201: ACERO - ENSAYO DE DOBLADO DE PLANCHAS DE ESPESOR SUPERIOR O IGUAL A 3 mm BARRAS Y PERFILES.

CONTENIDO:
LOSA DE HORMIGÓN ARMADO DE 2,00 m DE LUZ PARA ACERAS

FECHA: **2008**

LÁMINA N° **7.13**



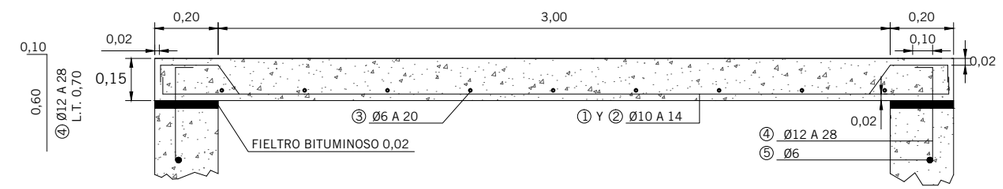
CUBICACIÓN CANTIDADES POR M.L.						
ACERO A630-420H						
N°	Ø Y D		L	C	P/U	P/T
1	10	A 32	2,98	3	1,97	5,91
2	10	A 32	2,92	3	1,93	5,79
3	6	A 20	1	15	0,25	3,75
4	12	A 32	0,7	6	0,7	4,2
5	6		1	2	0,25	0,5
SUBTOTAL						20,15
DESPUNTE 5%						1,05
TOTAL						21,2

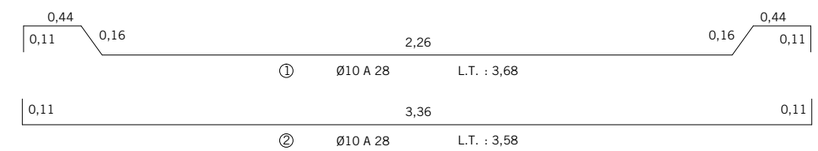
HORMIGÓN H-35 90% N.C. (MÍNIMO): 0,34 m3

NOTA:
EL DISEÑO PROPUESTO CONSIDERA EL USO PEATONAL DE LAS ACERAS, CON UNA CARGA MÁXIMA 500 (Kg/m2)

NOTA:
LA FABRICACIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO DEBERÁ SATISFACER LAS ESPECIFICACIONES DE LA NORMA NCH.204: ACERO - BARRAS LAMINADAS EN CALIENTE PARA HORMIGÓN ARMADO.
LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEBERÁ HACERSE DE ACUERDO A LA NORMA NCH.200: PRODUCTOS METÁLICOS - ENSAYO DE TRACCIÓN. EL ENSAYO DE DOBLADO SE EFECTUARÁ DE ACUERDO A LO INDICADO EN LA NORMA NCH.201: ACERO - ENSAYO DE DOBLADO DE PLANCHAS DE ESPESOR SUPERIOR O IGUAL A 3 mm BARRAS Y PERFILES.

CONTENIDO:	FECHA:	LÁMINA N°
LOSA DE HORMIGÓN ARMADO DE 2,50 m DE LUZ PARA ACERAS	2008	7.14





CUBICACIÓN CANTIDADES POR M.L.						
ACERO A630-420H						
N°	Ø Y D		L	C	P/U	P/T
1	10	A 28	3,68	4	2,42	9,68
2	10	A 28	3,58	3	2,35	7,05
3	6	A 20	1	18	0,25	4,5
4	12	A 28	0,7	7	0,7	4,9
5	6		1	2	0,25	0,5
SUBTOTAL						26,63
DESPUNTE 5%						1,33
TOTAL						27,86

HORMIGÓN H-35 90% N.C. (MÍNIMO): 0,51 m3

NOTA:
EL DISEÑO PROPUESTO CONSIDERA EL USO PEATONAL DE LAS ACERAS, CON UNA CARGA MÁXIMA 500 (Kg/m2)

NOTA:
LA FABRICACIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO DEBERÁ SATISFACER LAS ESPECIFICACIONES DE LA NORMA NCH.204: ACERO - BARRAS LAMINADAS EN CALIENTE PARA HORMIGÓN ARMADO.
LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEBERÁ HACERSE DE ACUERDO A LA NORMA NCH.200: PRODUCTOS METÁLICOS - ENSAYO DE TRACCIÓN. EL ENSAYO DE DOBLADO SE EFECTUARÁ DE ACUERDO A LO INDICADO EN LA NORMA NCH.201: ACERO - ENSAYO DE DOBLADO DE PLANCHAS DE ESPESOR SUPERIOR O IGUAL A 3 mm BARRAS Y PERFILES.

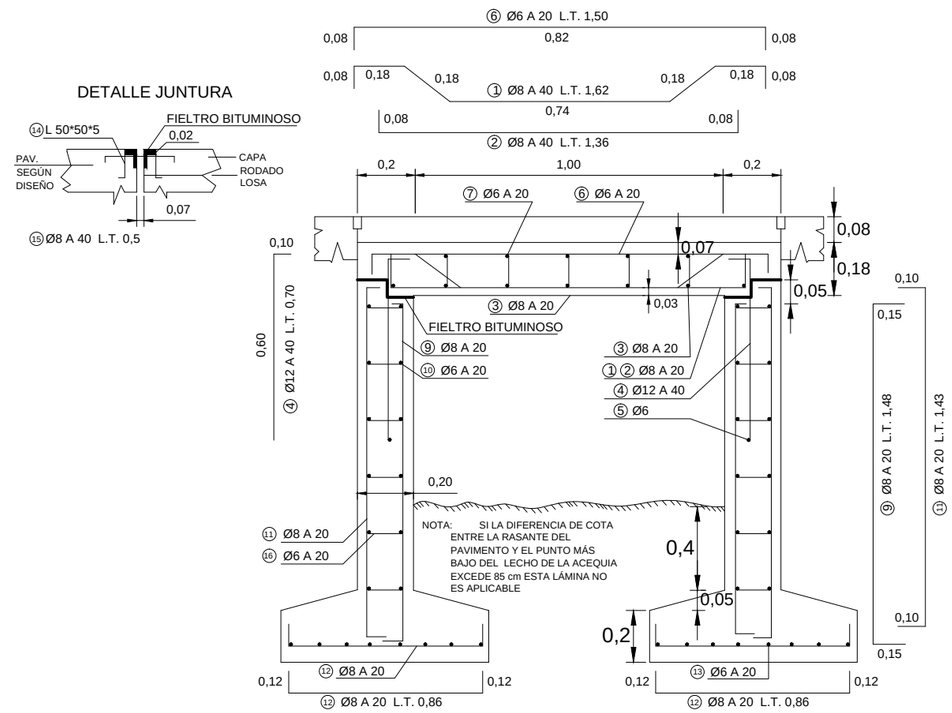
CONTENIDO:
LOSA DE HORMIGÓN ARMADO DE 3,00 m DE LUZ PARA ACERAS

FECHA: **2008**

LÁMINA N° **7.15**

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CÓDIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACIÓN



CUBICACIÓN CANTIDADES POR M.L.

ACERO A630-420H						
N°	Ø	Y	D	L	C	P/U	P/T
1	8	A	40	1,62	5	0,8	4
2	8	A	40	1,36	5	0,66	3,3
3	8	A	20	1	9	0,4	3,6
4	12	A	40	0,2	4	0,2	2,8
5	6			1	2	0,25	0,5
6	6	A	20	1,50	5	0,25	1,25
7	6	A	20	1	9	0,25	2,25
8	6	A	20	0,26	45	0,07	3,15
9	8	A	20	1,48	10	0,47	4,7
10	6	A	20	1	24	0,25	6
11	8	A	20	1,43	10	0,49	4,9
12	8	A	20	0,86	10	0,25	2,5
13	6	A	20	1	8	0,25	2
14	L50*50*5			1	4	3,8	15,2
15	8	A	40	0,5	8	0,2	1,6
16	6	A	20	0,77	60	0,06	3,6
SUBTOTAL							61,4
DESPUNTE 5%							3,07
TOTAL							64,47

HORMIGONES:

a) LOSA Y CARPETA DE RODADO DE 0,08
HORMIGÓN H-35 90% N.C. (MÍNIMO): 0,34 [m3]

b) MUROS Y ZAPATAS
HORMIGÓN H-35 90% N.C. (MÍNIMO): 0,76 [m3]

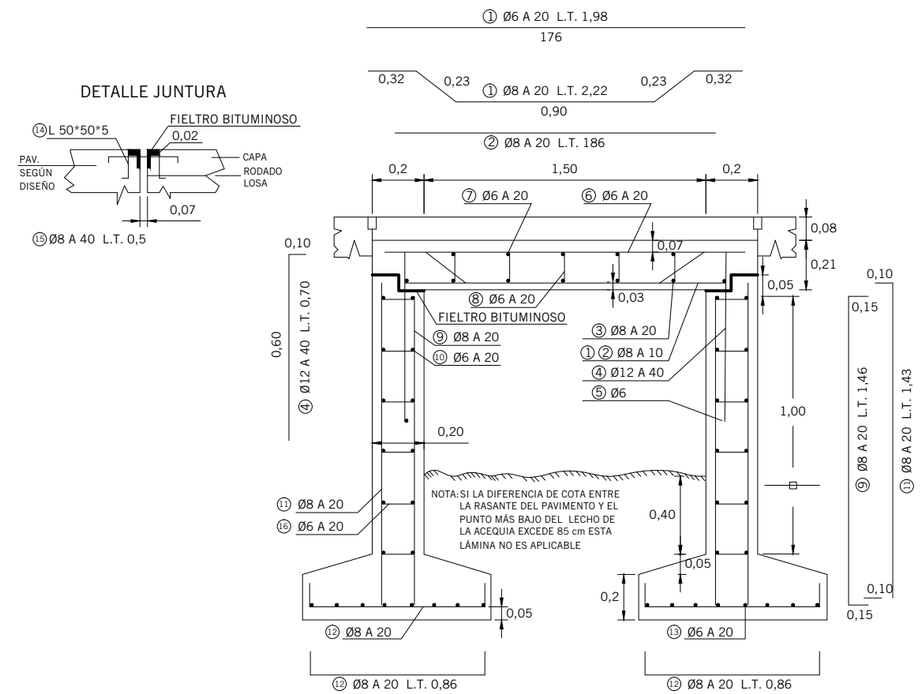
NOTA:
LA FABRICACIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO DEBERÁ SATISFACER LAS ESPECIFICACIONES DE LA NORMA NCH.204: ACERO - BARRAS LAMINADAS EN CALIENTE PARA HORMIGÓN ARMADO.
LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEBERÁ HACERSE DE ACUERDO A LA NORMA NCH.200: PRODUCTOS METÁLICOS - ENSAYO DE TRACCIÓN. EL ENSAYO DE DOBLADO SE EFECTUARÁ DE ACUERDO A LO INDICADO EN LA NORMA NCH.201: ACERO - ENSAYO DE DOBLADO DE PLANCHAS DE ESPESOR SUPERIOR O IGUAL A 3 mm BARRAS Y PERFILES.

NOTA: EL DISEÑO PROPUESTO CONSIDERA UNA CARGA PUNTUAL MÁXIMA DE 5,5 [T]

CONTENIDO:	FECHA:	LÁMINA N°
LOSA DE HORMIGÓN ARMADO DE 1,00 m DE LUZ PARA CALZADAS	2008	7.16

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CÓDIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACIÓN



CUBICACIÓN CANTIDADES POR M.L.

ACERO A630-420H						
N°	Ø	Y	D	L	C	P/U	P/T
1	8	A	20	2,22	5	0,8	4
2	8	A	20	1,88	5	0,66	3,3
3	8	A	20	1	9	0,4	3,6
4	12	A	40	0,2	4	0,2	2,8
5	6			1	2	0,25	0,5
6	6	A	20	1,98	5	0,47	2,35
7	6	A	20	1	9	0,25	2,25
8	6	A	20	0,26	45	0,07	3,15
9	8	A	20	1,46	10	0,47	4,7
10	6	A	20	1	24	0,25	6
11	8	A	20	1,43	10	0,49	4,9
12	8	A	20	0,86	10	0,25	2,5
13	6	A	20	1	8	0,25	2
14	L50*50*5			1	4	3,8	15,2
15	8	A	40	0,5	8	0,2	1,6
16	6	A	20	0,77	60	0,06	3,6
SUBTOTAL							62,5
DESPUNTE 5%							3,12
TOTAL							65,57

HORMIGONES:

a) LOSA Y CARPETA DE RODADO DE 0,08
HORMIGÓN H-35 90% N.C. (MÍNIMO): 0,55 [m3]

b) MUROS Y ZAPATAS
HORMIGÓN H-35 90% N.C. (MÍNIMO): 0,76 [m3]

NOTA:
LA FABRICACIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO DEBERÁ SATISFACER LAS ESPECIFICACIONES DE LA NORMA NCH.204: ACERO - BARRAS LAMINADAS EN CALIENTE PARA HORMIGÓN ARMADO.
LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEBERÁ HACERSE DE ACUERDO A LA NORMA NCH.200: PRODUCTOS METÁLICOS - ENSAYO DE TRACCIÓN. EL ENSAYO DE DOBLADO SE EFECTUARÁ DE ACUERDO A LO INDICADO EN LA NORMA NCH.201: ACERO - ENSAYO DE DOBLADO DE PLANCHAS DE ESPESOR SUPERIOR O IGUAL A 3 mm BARRAS Y PERFILES.

NOTA: EL DISEÑO PROPUESTO CONSIDERA UNA CARGA PUNTUAL MÁXIMA DE 4,0 [T]

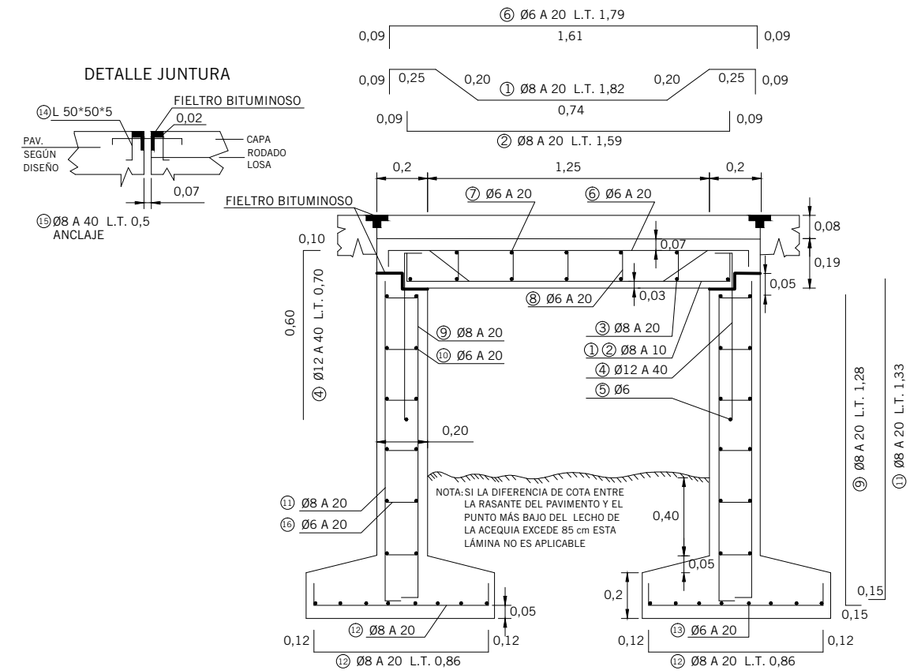
CONTENIDO:
LOSA DE HORMIGÓN ARMADO DE 1,50 m DE LUZ PARA CALZADAS

FECHA: **2008**

LÁMINA N° 7.17

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CÓDIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACIÓN



CUBICACIÓN CANTIDADES POR M.L.

ACERO A630-420H						
N°	Ø	Y	D	L	C	P/U	P/T
1	8	A	20	1,82	10	0,7	7
2	8	A	20	1,59	10	0,64	6,4
3	8	A	20	1	8	0,4	3,2
4	12	A	40	0,2	4	0,7	2,8
5	6			1	2	0,25	0,5
6	6	A	20	1,79	5	0,38	1,9
7	6	A	20	1	8	0,25	2
8	6	A	20	0,26	40	0,06	2,4
9	8	A	20	1,28	10	0,47	4,7
10	6	A	20	1	24	0,25	6
11	8	A	20	1,33	10	0,49	4,9
12	8	A	20	0,86	10	0,25	2,5
13	6	A	20	1	8	0,25	2
14	L50*50*5			1	4	3,8	15,2
15	8	A	40	0,5	8	0,2	1,6
16	6	A	20	0,77	60	0,06	3,6
SUBTOTAL							66,7
DESPUNTE 5%							3,34
TOTAL							70,04

HORMIGONES:

a) LOSA Y CARPETA DE RODADO DE 0,08
HORMIGÓN H-35 90% N.C. (MÍNIMO): 0,44 [m3]

b) MUROS Y ZAPATAS
HORMIGÓN H-35 90% N.C. (MÍNIMO): 0,74 [m3]

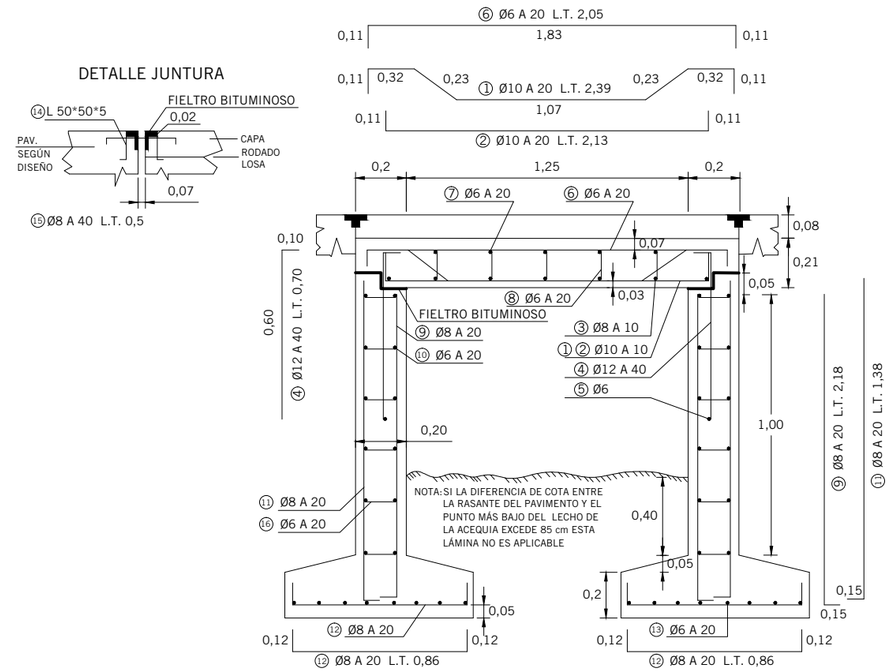
NOTA:
LA FABRICACIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO DEBERÁ SATISFACER LAS ESPECIFICACIONES DE LA NORMA NCH.204: ACERO - BARRAS LAMINADAS EN CALIENTE PARA HORMIGÓN ARMADO.
LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEBERÁ HACERSE DE ACUERDO A LA NORMA NCH.200: PRODUCTOS METÁLICOS - ENSAYO DE TRACCIÓN. EL ENSAYO DE DOBLADO SE EFECTUARÁ DE ACUERDO A LO INDICADO EN LA NORMA NCH.201: ACERO - ENSAYO DE DOBLADO DE PLANCHAS DE ESPESOR SUPERIOR O IGUAL A 3 mm BARRAS Y PERFILES.

NOTA: EL DISEÑO PROPUESTO CONSIDERA UNA CARGA PUNTUAL MÁXIMA DE 4,5 [T]

CONTENIDO:	FECHA:	LÁMINA N°
LOSA DE HORMIGÓN ARMADO DE 1,25 m DE LUZ PARA CALZADAS	**2008**	**7.18**

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CÓDIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACIÓN



CUBICACIÓN CANTIDADES POR M.L.

ACERO A630-420H						
N°	Ø	Y	D	L	C	P/U	P/T
1	10	A	20	2,39	50	1,58	15,8
2	10	A	20	2,13	10	1,34	13,4
3	8	A	10	1	20	0,4	8
4	12	A	40	0,7	8	0,2	5,6
5	6			1	2	0,25	0,5
6	6	A	20	2,05	5	0,55	2,25
7	6	A	20	1	11	0,25	2,75
8	6	A	20	0,26	55	0,03	1,05
9	8	A	20	2,18	10	0,47	4,7
10	6	A	20	1	24	0,25	6
11	8	A	20	1,38	10	0,49	4,9
12	8	A	20	0,86	10	0,31	3,1
13	6	A	20	1	8	0,25	2
14	L50*50*5			1	4	3,8	15,2
15	8	A	40	0,5	8	0,2	1,6
16	6	A	20	0,22	30	0,06	1,8
SUBTOTAL							91,95
DESPUNTE 5%							4,6
TOTAL							96,55

HORMIGONES:

a) LOSA Y CARPETA DE RODADO DE 0,08
HORMIGÓN H-35 90% N.C. (MÍNIMO): 0,62 [m3]

b) MUROS Y ZAPATAS
HORMIGÓN H-35 90% N.C. (MÍNIMO): 0,80 [m3]

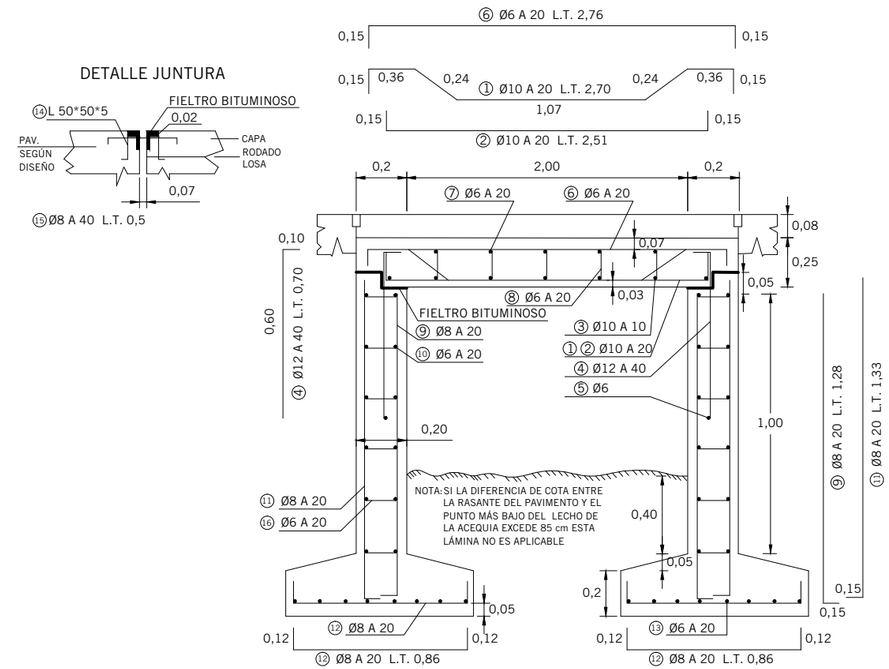
NOTA:
LA FABRICACIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO DEBERÁ SATISFACER LAS ESPECIFICACIONES DE LA NORMA NCH.204: ACERO - BARRAS LAMINADAS EN CALIENTE PARA HORMIGÓN ARMADO.
LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEBERÁ HACERSE DE ACUERDO A LA NORMA NCH.200: PRODUCTOS METÁLICOS - ENSAYO DE TRACCIÓN. EL ENSAYO DE DOBLADO SE EFECTUARÁ DE ACUERDO A LO INDICADO EN LA NORMA NCH.201: ACERO - ENSAYO DE DOBLADO DE PLANCHAS DE ESPESOR SUPERIOR O IGUAL A 3 mm BARRAS Y PERFILES.

NOTA: EL DISEÑO PROPUESTO CONSIDERA UNA CARGA PUNTUAL MÁXIMA DE 5,5 [T]

CONTENIDO:	FECHA:	LÁMINA N°
LOSA DE HORMIGÓN ARMADO DE 1,75 m DE LUZ PARA CALZADAS	**2008**	**7.19**

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CÓDIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACIÓN



CUBICACIÓN CANTIDADES POR M.L.

ACERO A630-420H						
N°	Ø	Y	D	L	C	P/U	P/T
1	10	A	20	2,70	10	1,82	18,2
2	10	A	20	2,51	10	1,54	15,4
3	10	A	10	1	13	0,7	9,1
4	12	A	40	0,7	4	0,7	2,8
5	6			1	2	0,25	0,5
6	6	A	20	2,76	5	0,64	3,2
7	6	A	20	1	13	0,25	3,25
8	6	A	20	0,3	65	0,08	5,2
9	8	A	20	1,28	10	0,47	4,7
10	6	A	20	1	24	0,25	6
11	8	A	20	1,33	10	0,49	4,9
12	8	A	20	0,86	10	0,31	3,1
13	6	A	20	1	8	0,25	2
14	L50*50*5			1	4	3,8	15,2
15	8	A	40	0,5	8	0,2	1,6
16	6	A	20	0,31	65	0,08	5,2
SUBTOTAL							100,4
DESPUNTE 5%							5
TOTAL							105,4

HORMIGONES:

a) LOSA Y CARPETA DE RODADO DE 0,08
HORMIGÓN H-35 90% N.C. (MÍNIMO): 0,78 [m3]

b) MUROS Y ZAPATAS
HORMIGÓN H-35 90% N.C. (MÍNIMO): 0,92 [m3]

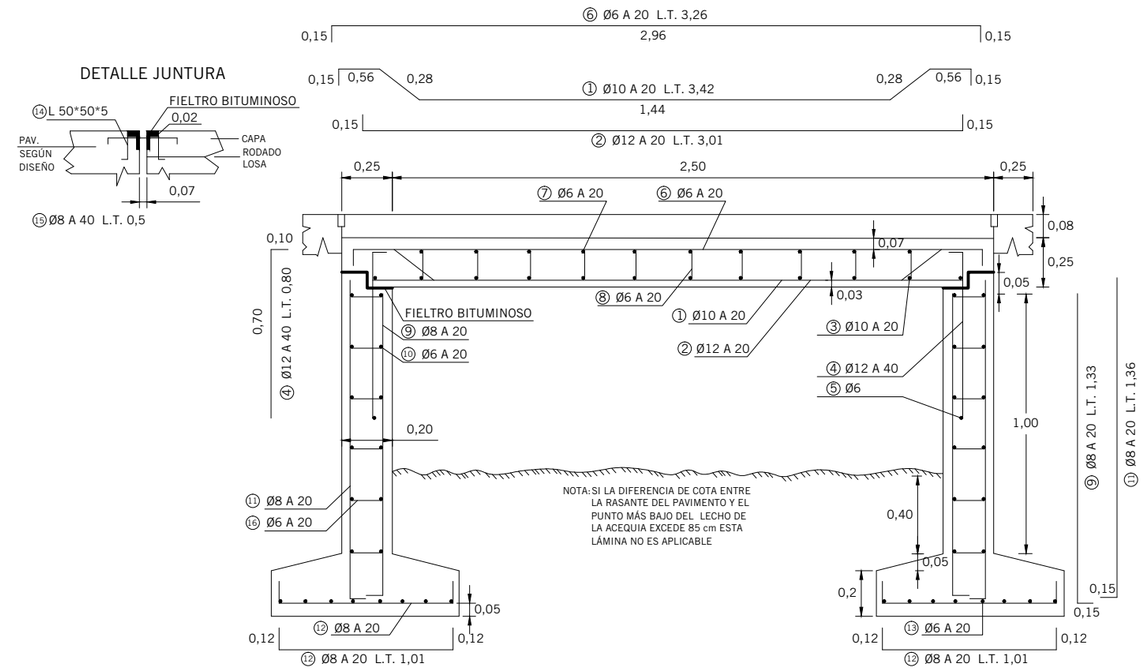
NOTA:
LA FABRICACIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO DEBERÁ SATISFACER LAS ESPECIFICACIONES DE LA NORMA NCH.204: ACERO - BARRAS LAMINADAS EN CALIENTE PARA HORMIGÓN ARMADO.
LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEBERÁ HACERSE DE ACUERDO A LA NORMA NCH.200: PRODUCTOS METÁLICOS - ENSAYO DE TRACCIÓN. EL ENSAYO DE DOBLADO SE EFECTUARÁ DE ACUERDO A LO INDICADO EN LA NORMA NCH.201: ACERO - ENSAYO DE DOBLADO DE PLANCHAS DE ESPESOR SUPERIOR O IGUAL A 3 mm BARRAS Y PERFILES.

NOTA: EL DISEÑO PROPUESTO CONSIDERA UNA CARGA PUNTUAL MÁXIMA DE 6,0 [T]

CONTENIDO:	FECHA:	LÁMINA N°
LOSA DE HORMIGÓN ARMADO DE 2,00 m DE LUZ PARA CALZADAS	**2008**	**7.20**

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CÓDIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACIÓN



CUBICACIÓN CANTIDADES POR M.L.

ACERO A630-420H						
N°	Ø	Y	D	L	C	P/U	P/T
1	10	A	20	3,42	10	2,2	22
2	12	A	20	3,01	10	1,9	19
3	10	A	20	1	14	0,7	9,8
4	12	A	40	0,80	4	0,7	2,8
5	6			1	2	0,25	0,5
6	6	A	20	3,26	5	0,77	3,85
7	6	A	20	1	2	0,25	0,5
8	6	A	20	0,3	70	0,08	5,6
9	8	A	20	1,33	10	0,47	4,7
10	6	A	20	1	24	0,25	6
11	8	A	20	1,38	10	0,49	4,9
12	8	A	20	1,01	10	0,31	3,1
13	6	A	20	1	8	0,25	2
14	L50*50*5			1	4	3,8	15,2
15	8	A	40	0,5	8	0,2	1,6
16	6	A	20	0,31	60	0,08	4,8
SUBTOTAL							106,4
DESPUNTE 5%							5,32
TOTAL							109,7

HORMIGONES:

a) LOSA Y CARPETA DE RODADO DE 0,08
HORMIGÓN H-35 90% N.C. (MÍNIMO): 0,99 [m3]

b) MUROS Y ZAPATAS
HORMIGÓN H-35 90% N.C. (MÍNIMO): 0,92 [m3]

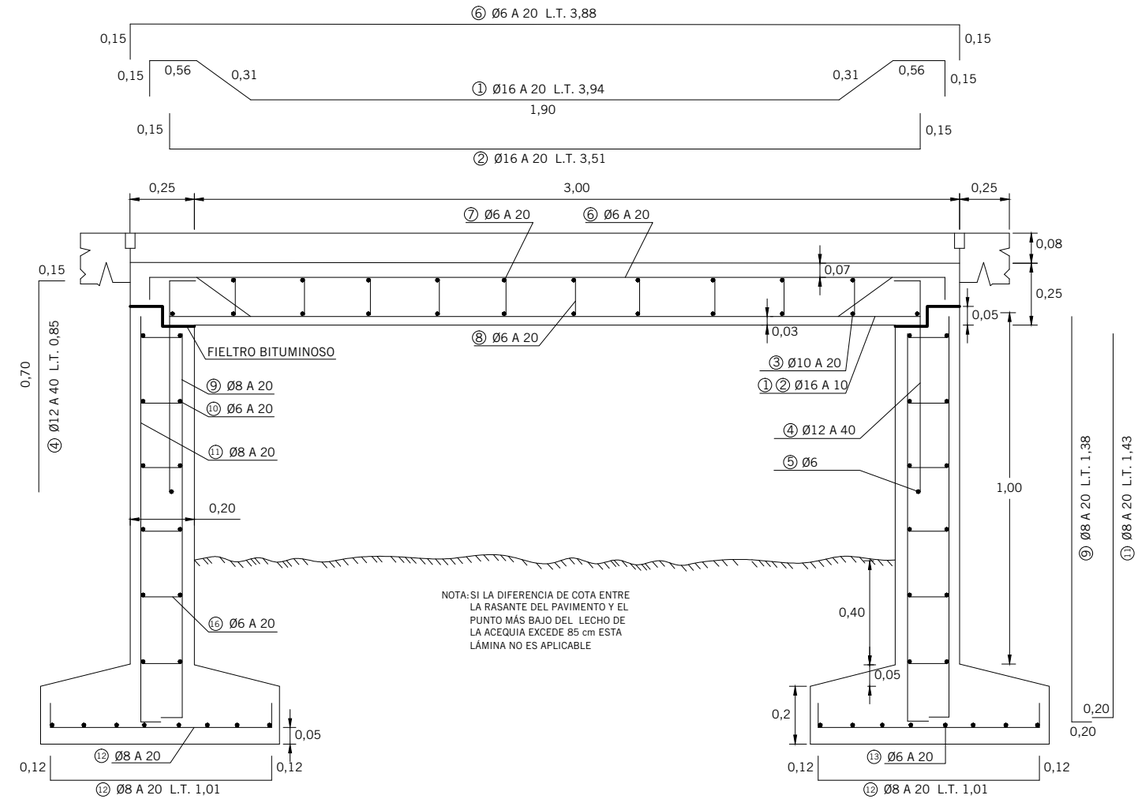
NOTA:
LA FABRICACIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO DEBERÁ SATISFACER LAS ESPECIFICACIONES DE LA NORMA NCH.204: ACERO - BARRAS LAMINADAS EN CALIENTE PARA HORMIGÓN ARMADO.
LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEBERÁ HACERSE DE ACUERDO A LA NORMA NCH.200: PRODUCTOS METÁLICOS - ENSAYO DE TRACCIÓN. EL ENSAYO DE DOBLADO SE EFECTUARÁ DE ACUERDO A LO INDICADO EN LA NORMA NCH.201: ACERO - ENSAYO DE DOBLADO DE PLANCHAS DE ESPESOR SUPERIOR O IGUAL A 3 mm BARRAS Y PERFILES.

NOTA: EL DISEÑO PROPUESTO CONSIDERA UNA CARGA PUNTUAL MÁXIMA DE 5,5 [T]

CONTENIDO:	FECHA:	LÁMINA N°
LOSA DE HORMIGÓN ARMADO DE 2,50 m DE LUZ PARA CALZADAS	**2008**	**7.21**

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

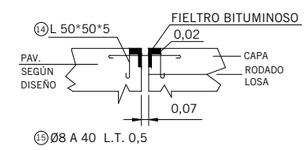
CÓDIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACIÓN



CUBICACIÓN CANTIDADES POR M.L.

ACERO A630-420H						
N°	Ø	Y	D	L	C	P/U	P/T
1	16	A	20	3,94	2	5,82	11,64
2	16	A	20	3,51	2	5,14	10,28
3	10	A	20	1	17	0,7	11,9
4	12	A	40	0,85	4	0,5	2
5	6			1	2	0,25	0,5
6	6	A	20	3,88	5	0,9	4,5
7	6	A	20	1	12	0,25	4,25
8	6	A	20	1,32	85	0,08	6,8
9	8	A	20	1,38	10	0,47	4,22
10	6	A	20	1	24	0,25	6
11	8	A	20	1,43	10	0,49	4,9
12	8	A	20	1,01	10	0,31	3,1
13	6	A	20	1	8	0,25	2
14	L50*50*5			1	4	3,8	15,2
15	8	A	40	0,5	8	0,2	1,6
16	6	A	20	0,31	60	0,08	4,8
SUBTOTAL							94,09
DESPUNTE 5%							4,7
TOTAL							98,79

DETALLE JUNTURA



HORMIGONES:

a) LOSA Y CARPETA DE RODADO DE 0,08
HORMIGÓN H-35 90% N.C. (MÍNIMO): 1,23 [m3]

b) MUROS Y ZAPATAS
HORMIGÓN H-35 90% N.C. (MÍNIMO): 0,97 [m3]

NOTA:
LA FABRICACIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO DEBERÁ SATISFACER LAS ESPECIFICACIONES DE LA NORMA NCH.204: ACERO - BARRAS LAMINADAS EN CALIENTE PARA HORMIGÓN ARMADO.
LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEBERÁ HACERSE DE ACUERDO A LA NORMA NCH.200: PRODUCTOS METÁLICOS - ENSAYO DE TRACCIÓN. EL ENSAYO DE DOBLADO SE EFECTUARÁ DE ACUERDO A LO INDICADO EN LA NORMA NCH.201: ACERO - ENSAYO DE DOBLADO DE PLANCHAS DE ESPESOR SUPERIOR O IGUAL A 3 mm BARRAS Y PERFILES.

NOTA: EL DISEÑO PROPUESTO CONSIDERA UNA CARGA PUNTUAL MÁXIMA DE 11,0 [T]

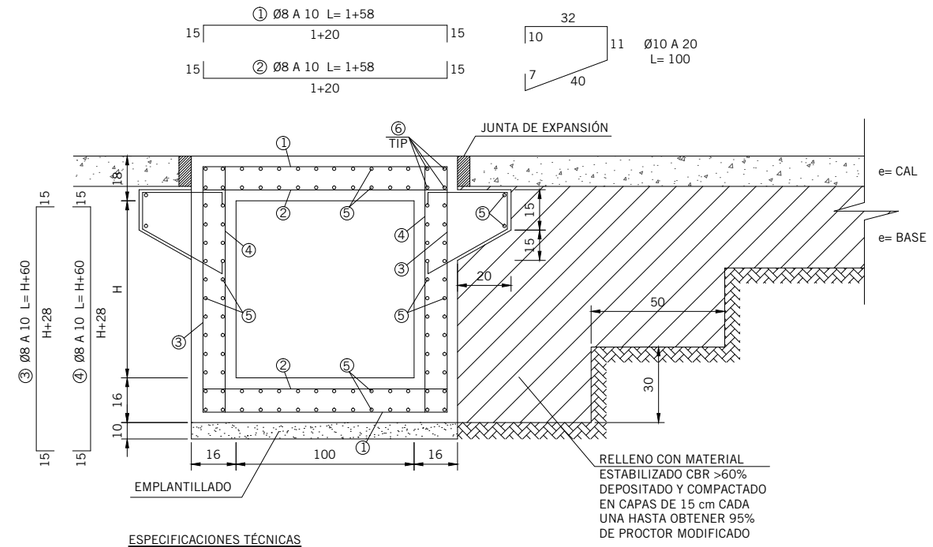
CONTENIDO:
LOSA DE HORMIGÓN ARMADO DE 3,00 m DE LUZ PARA CALZADAS

FECHA: 2008

LÁMINA N° 7.22

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CÓDIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACIÓN



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

1. APOYO EN SUELO NATURAL NO REMOVIDO
2. HORMIGÓN EMPLANTILLADO DE 2 SACOS CEMENTO POR m3
3. HORMIGÓN ARMADO GRADO H-35 CON 20% F.D.
4. ACERO A 630-420 H CON RESALTE SALVO D= 6 mm
5. USAR TRABAS DE D= 6,6 m2
6. RECUBRIMIENTO 2 cm

IDENTIFICACIÓN		H= 0,8 m			H= 1,0 m			H= 1,2 m		
		L=0,8 m	L=1,0 m	L=1,2 m	L=0,8 m	L=1,0 m	L=1,2 m	L=0,8 m	L=1,0 m	L=1,2 m
① Ø8 A 10	CANTIDAD	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	LONGITUD (m)	1,38	1,58	1,78	1,38	1,58	1,78	1,38	1,58	1,78
	LONG. TOTAL (m)	27,6	31,6	35,6	27,6	31,6	35,6	27,6	31,6	35,6
② Ø8 A 10	CANTIDAD	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	LONGITUD (m)	1,38	1,58	1,78	1,38	1,58	1,78	1,38	1,58	1,78
	LONG. TOTAL (m)	27,6	31,6	35,6	27,6	31,6	35,6	27,6	31,6	35,6
③ Ø8 A 10	CANTIDAD	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	LONGITUD (m)	1,4	1,4	1,4	1,6	1,6	1,6	1,8	1,8	1,8
	LONG. TOTAL (m)	28	28	28	32	32	32	36	36	36
④ Ø8 A 10	CANTIDAD	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	LONGITUD (m)	1,4	1,4	1,4	1,6	1,6	1,6	1,8	1,8	1,8
	LONG. TOTAL (m)	28	28	28	32	32	32	36	36	36
⑤ Ø8	CANTIDAD	28	32	36	32	36	40	32	40	44
⑥ Ø8	CANTIDAD	16	16	16	16	16	16	16	16	15
TRABAS Ø6 L= 25	CANTIDAD	16	18	22	18	24	24	20	24	24
HORMIGÓN m3/m		0,73	0,85	0,91	0,84	0,91	0,98	0,91	0,97	1,02
ACERO Kg/m	Ø8	69,2	74	78,7	74	78,7	83,5	77,1	83,5	88,2
	Ø6	0,9	1	1,2	1	1,3	1,3	1,1	1,3	1,3
EMPLANTILLADO m3/m		0,11	0,13							
⑦	CANTIDAD	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	LONGITUD (m)	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	LONG. TOTAL (m)	20	20	20	20	20	20	20	20	20

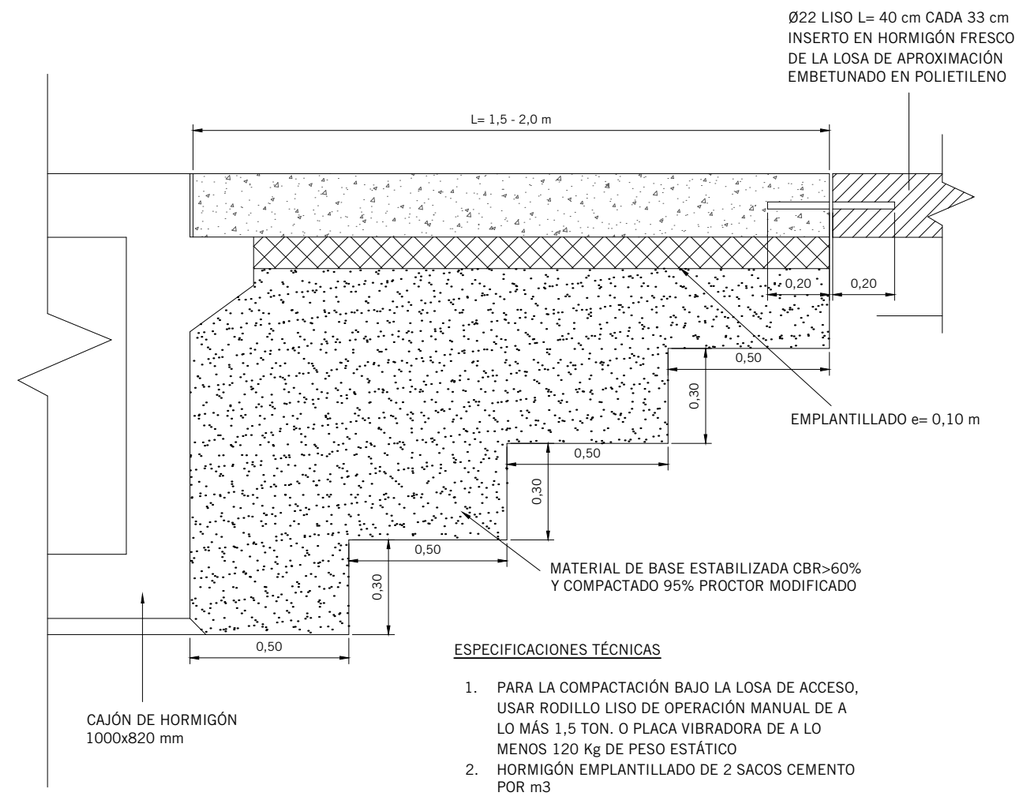
CONTENIDO:
PASO CANAL A NIVEL DE CALZADA

FECHA: 2008

LÁMINA N° 7.23

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CÓDIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACIÓN



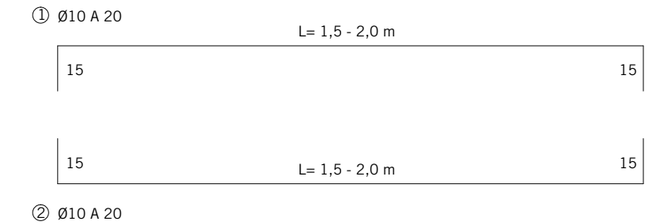
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

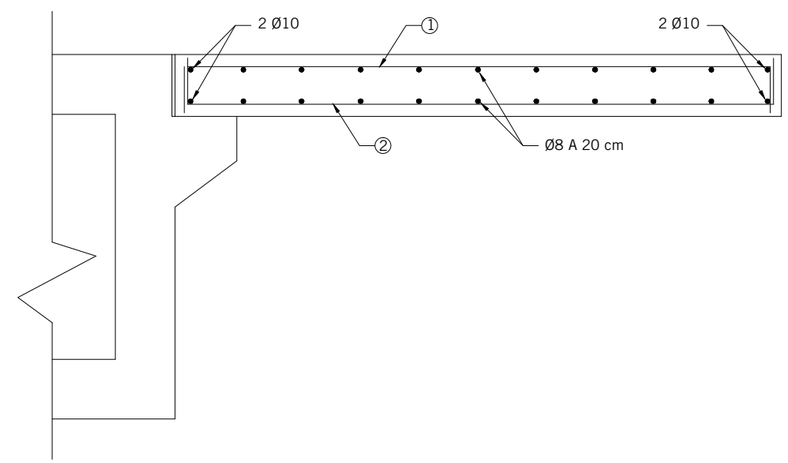
1. PARA LA COMPACTACIÓN BAJO LA LOSA DE ACCESO, USAR RODILLO LISO DE OPERACIÓN MANUAL DE A LO MÁS 1,5 TON. O PLACA VIBRADORA DE A LO MENOS 120 Kg DE PESO ESTÁTICO
2. HORMIGÓN EMPLANTILLADO DE 2 SACOS CEMENTO POR m3
3. HORMIGÓN ARMADO GRADO H-20 CON 20% DE F.D.
4. ACERO A 630-420H CON RESALTE SALVO D= 6 mm
5. USAR TRABAS DE D= 6,6 m2
6. RECUBRIMIENTO SUPERIOR 3 cm, INFERIOR 2 cm

CONTENIDO:	FECHA:	LÁMINA N°
LOSA DE APROXIMACIÓN	**2008**	**7.24**

ENFIERRADURA LOSA DE APROXIMACIÓN

ESC. 1:20





CONTENIDO:	FECHA:	
ENFIERRADURA LOSA DE APROXIMACIÓN	2008	LÁMINA N° 7.25

ROTURA Y REPOSICIÓN DE PAVIMENTOS

HORMIGÓN

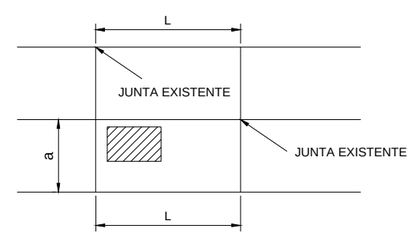
ANCHO DE LA RUPTURA TENDRÁ UN MÍNIMO 2,0 m (SI EL PAÑO A INTERVENIR SE ENCUENTRA EN MALAS CONDICIONES, SE DEBERÁ REPONER ENTRE JUNTAS EXISTENTES).
Y SU REPOSICIÓN DEBE CONSIDERAR LOS SIGUIENTES CASOS:

ROTURA — JUNTAS EXISTENTES

REPOSICIÓN — JUNTAS GENERADA

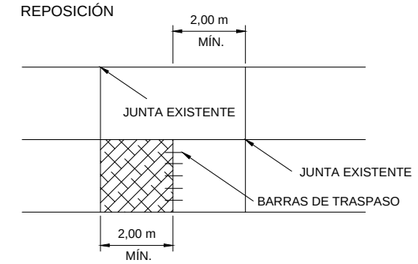
1. ROTURA INTERVIENE UNA PISTA

ROTURA

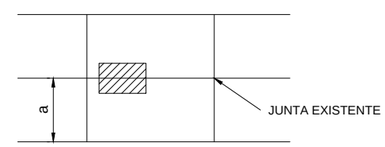


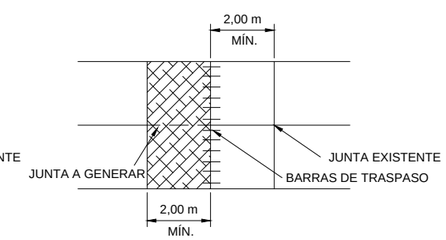
L= LONGITUD DEL PAÑO

REPOSICIÓN



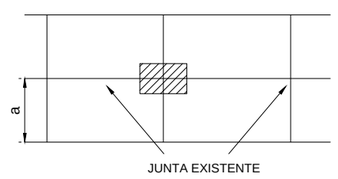
2. ROTURA INTERVIENE 2 PISTAS

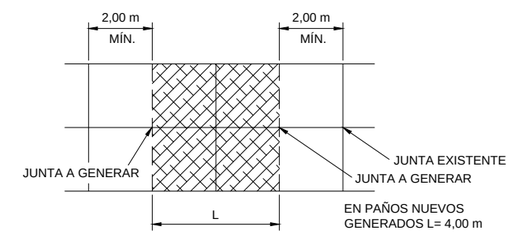




SI LA LONG. DE LA REP.> 2= SE REPONE PAÑO COMPLETO

3. ROTURA INTERVIENE JUNTAS TRANSV. Y 2 PISTAS

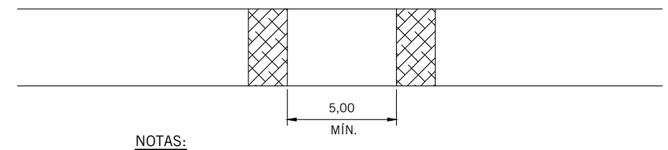




CONSIDERAR CORTES TRATANDO DE MANTENER L/a= 1

CONTENIDO:	FECHA:	
ROTURA Y REPOSICIÓN DE CALZADA DE CONCRETO	2008	LÁMINA N° 8.1

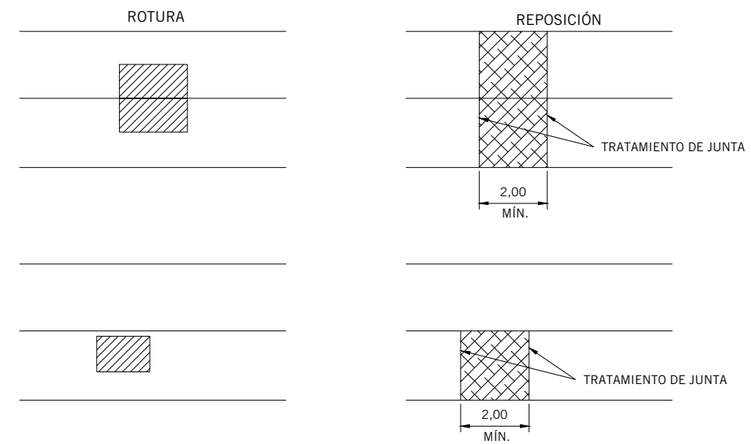
DISTANCIA ENTRE ROT. Y REP. > 5,00 m MEDIDOS EN TERRENO
POR EL INSP. DE OBRAS, SI NO SE REPONE TODO



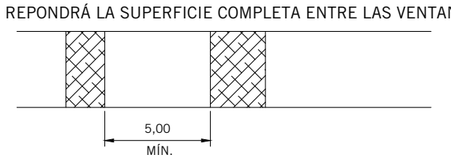
NOTAS:
EL O LOS PAÑOS A INTERVENIR DEBEN ESTAR EN BUEN ESTADO, DE CASO CONTRARIO SE DEBERÁ REPONER EL PAÑO COMPLETO.
SE DEBERÁN REPONER TODAS LAS SOLERAS DEL ÁREA A INTERVENIR

ASFALTO

- ANCHO MÍNIMO DE VENTANAS ES DE 2,00 m
- REPOSICIÓN DE SOLERA A SOLERA
- SE DEBE CONSIDERAR LA REPOSICIÓN DE TODAS LAS SOLERAS DEL ÁREA A INTERVENIR



- DISTANCIA ENTRE ROTURA Y REPOSICIÓN > 5,00 m MEDIDOS EN TERRENO POR EL INSPECTOR DE OBRAS, EN CASO CONTRARIO SE REPONDRÁ LA SUPERFICIE COMPLETA ENTRE LAS VENTANAS



CONTENIDO:
ROTURA Y REPOSICIÓN DE CALZADA DE CONCRETO

FECHA: 2008

LÁMINA N° 8.2

CÓDIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACIÓN
CLASIFICACIÓN DE SUELOS HRB (AASHO)

CLASIFICACIÓN GENERAL	SUELOS GRANULARES (EL 35% COMO MÁXIMO PASA MALLA N°200)							SUELOS LIMO-ARCILLA (MÁS DEL 35% PASA MALLA N°200)			
GRUPO DE SUELO	A-1			A-2							A-7
	A-1a	A-1b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5 A-7-6
PASA LA MALLA N°											
10	MÁX 50										
40	MÁX 30	MÁX 50	MÁX 51								
200	MÁX 15	MÁX 25	MÁX 10	MÁX 35	MÁX 35	MÁX 35	MÁX 35	MÍN 36	MÍN 36	MÍN 36	MÍN 36
FRACCIÓN BAJO LA MALLA N40											
LÍMITE LÍQUIDO				MÁX 40	MÁX 41	MÁX 40	MÁX 41	MÁX 40	MÁX 41	MÁX 40	MÁX 41
ÍNDICE PLASTICIDAD	MÁX 6		NO PLÁSTICA	MÁX 10	MÁX 10	MÍN 11	MÍN 11	MÁX 10	MÁX 10	MÍN 11	MÍN 11
ÍNDICE DE GRUPO I.G.	0		0	0		MÁX 40		MÁX 8	MÁX 12	MÁX 16	MÁX 20
PRINCIPALES MATERIALES CONSTITUYENTES	GRAVAS ARENAS		ARENA FINA	GRAVAS Y ARENAS LIMOSAS Y ARCILLOSAS				SUELOS LIMOSOS		SUELOS ARCILLOSOS	
COMPORTAMIENTO COMO INFRAESTRUCTURA DE PAVIMENTO	EXCELENTE A BUENO					REGULAR A MALO					

CONTENIDO:
CLASIFICACIÓN DE SUELOS H.R.B.

FECHA: **2008**

LÁMINA N° **12.1**

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN USCS

GRUESOS (< 50% PASA 0,08 mm)

TIPO DE SUELO	SÍMBOLO	% RET. EN 5 mm	% PASA* 0,08 mm	CU	CC	** IP
GRAVAS	GW	≥ 50% DE LO RETENIDO EN 0,08 mm	< 5	> 4	1 a 3	
	GP			≥ 4	< 1 ó > 3	
	GM		> 12			< 0,73 (W_L - 20) ó < 4
	GC					> 0,73 (W_L - 20) y > 7
ARENAS	SW	< 50% DE LO RETENIDO EN 0,08 mm	< 5	> 6	1 a 3	
	SP			≤ 6	< 1 ó > 3	
	SM		> 12			< 0,73 (W_L - 20) ó < 4
	SC					> 0,73 (W_L - 20) y > 7

* ENTRE 5 Y 12 % USAR SÍMBOLO DOBLE COMO **GW-GC, GP-GM, SW-SM, SP-SC**

** SI IP = 0,73 (W_L - 20) ó SI IP ENTRE 4 Y 7
E IP > 0,73 (W_L - 20), USAR SÍMBOLO DOBLE: **GM-GC, SM-SC**

EN CASOS DUDOSOS FAVORECER CLASIFICACIÓN MENOS PLÁSTICA, EJ.: GW-GM EN VEZ DE GW-GC

$$CU = \frac{Ø\,60}{Ø\,10} \qquad CC = \frac{Ø\,30^2}{Ø\,60 \cdot Ø10}$$

CONTENIDO:
CLASIFICACIÓN UNIFICADA DE SUELO

FECHA: 2008

LÁMINA N° 12.2

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN USCS

FINOS (≥ 50% PASA 0,08 mm)

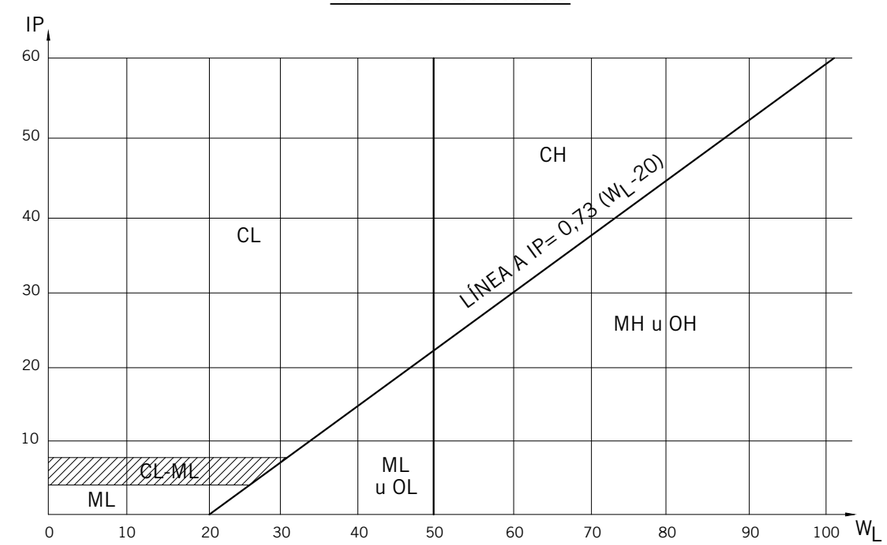
TIPO DE SUELO	SÍMBOLO	Lím. Líq. W_L	ÍNDICE DE PLASTICIDAD * IP
LIMOS INORGÁNICOS	ML	< 50	< 0,73 (W_L - 20) ó < 4
	MH	> 50	< 0,73 (W_L - 20)
ARCILLAS INORGÁNICAS	CL	< 50	> 0,73 (W_L - 20) y > 7
	CH	> 50	> 0,73 (W_L - 20)
LIMO O ARCILLAS ORGÁNICAS	OL	< 50	** W_L SECO AL HORNO ≤ 75 % DEL W_L SECO AL AIRE
	OH	> 50	
ALTAMENTE ORGÁNICOS	P1	MATERIA ORGÁNICA FIBROSA SE CARBONIZA, SE QUEMA O SE PONE INCANDESCENTE	

* SI IP = 0,73 (W_L - 20) ó SI IP ENTRE 4 Y 7
E IP > 0,73 (W_L - 20), USAR SÍMBOLO DOBLE: **CL-ML, CH-OH**

** SI TIENE OLOR ORGÁNICO DEBE DETERMINARSE ADICIONALMENTE W_L SECO AL HORNO

EN CASOS DUDOSOS FAVORECER CLASIFICACIÓN MÁS PLÁSTICA, EJ.: CH-MH
EN VEZ DE CL-ML

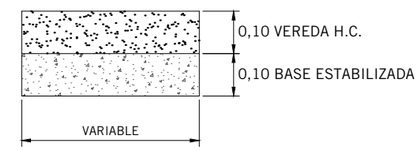
CARTA DE PLASTICIDAD



CONTENIDO:	FECHA:	
CLASIFICACIÓN UNIFICADA DE SUELO	**2008**	LÁMINA N° **12.3**

DETALLE VEREDA REFORZADA

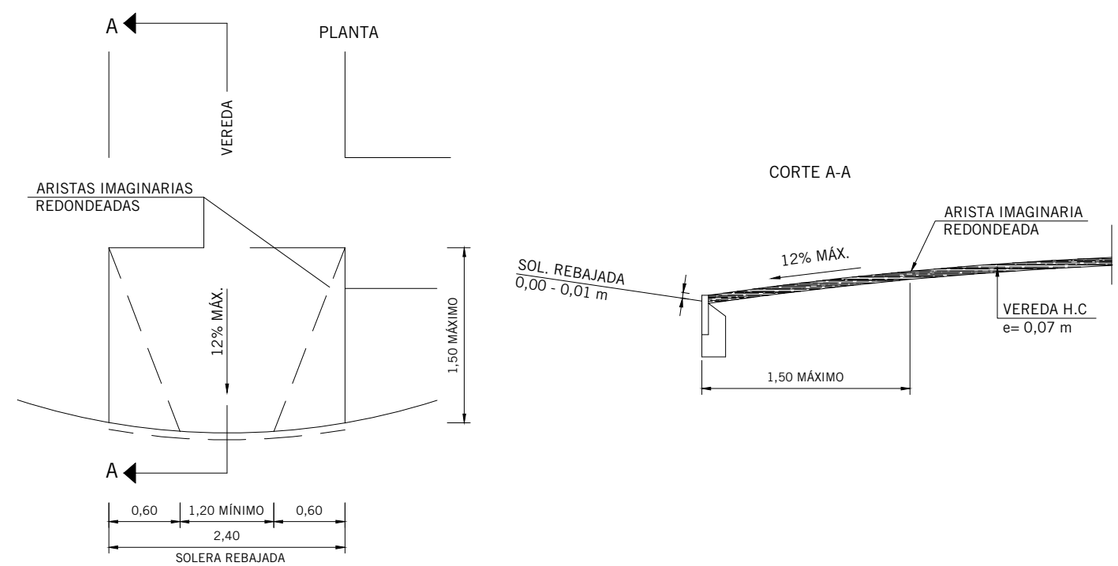
CORTE TIPO A-A
ESCALAS H= 1:100/ V= 1:20



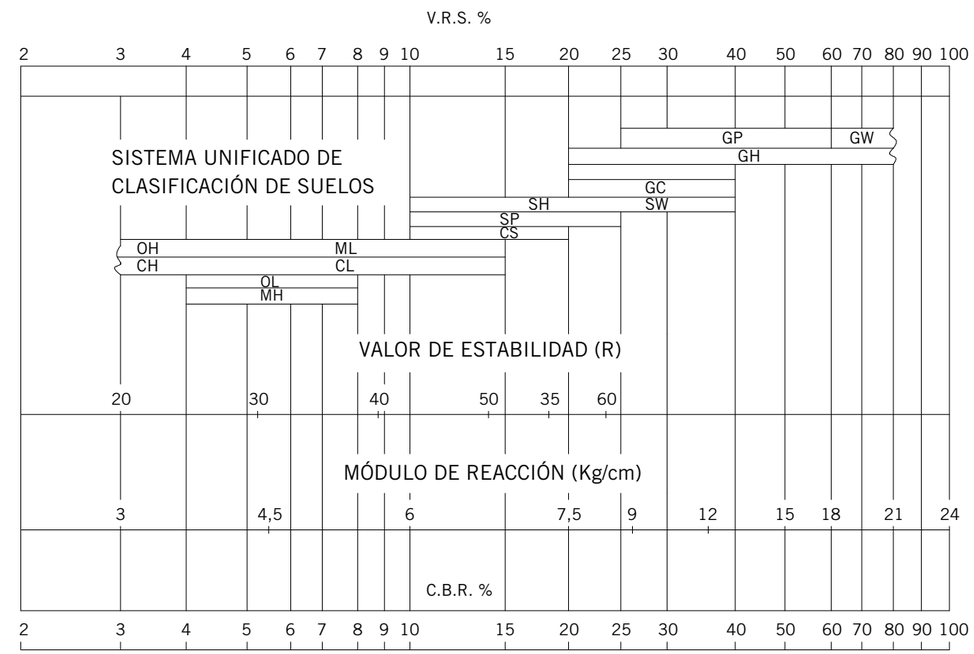
CONTENIDO:	FECHA:	
DETALLE VEREDA REFORZADA	2008	LÁMINA N° 14.1

DETALLE RAMPA ANTIDESLIZANTE

ESCALAS H= 1:50



CONTENIDO:	FECHA:	
DETALLE ACCESO MINUSVÁLIDOS	2016	LÁMINA N° 14.2

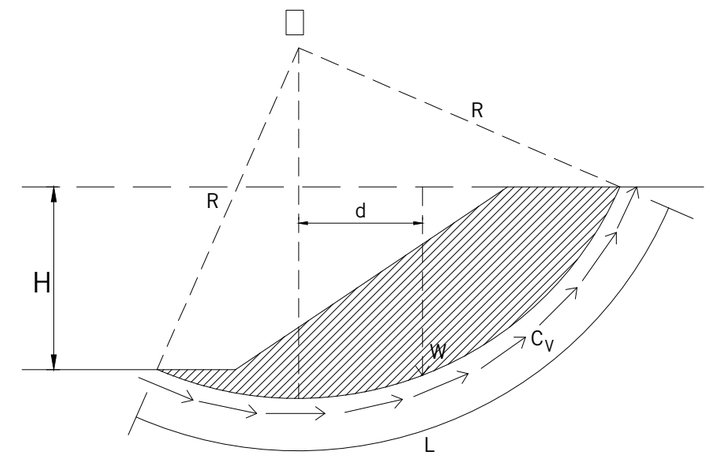


CONTENIDO:
MÓDULO DE REACCIÓN K Y SUS RELACIONES CON OTROS PARÁMETROS

FECHA: 2008

LÁMINA Nº 15.1

CÁLCULO DE TALUDES FALLA ROTACIONAL



CASO 1: $\zeta = C_u$

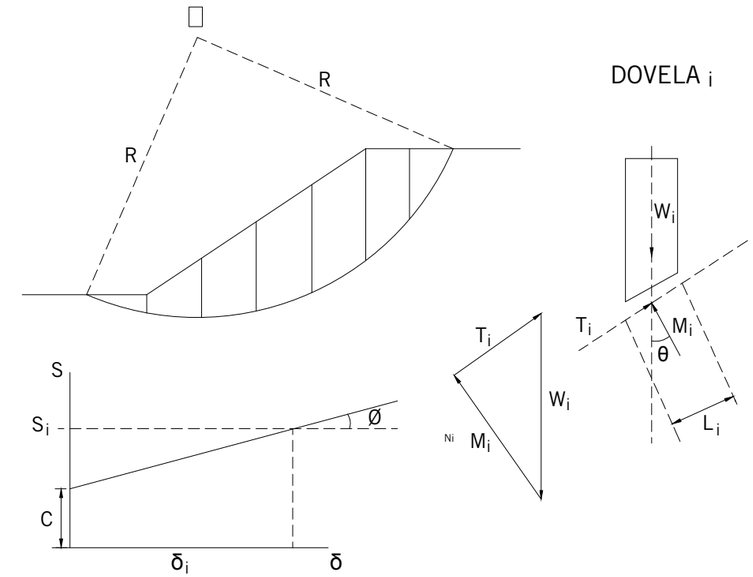
R = RADIO DEL CÍRCULO DE FALLA
W = PESO DE LA MASA DE TIERRA

MOMENTO DE LAS FUERZAS MOTORAS: $M_m = W_d$

MOMENTO DE LAS FUERZAS RESISTENTES: $M_r = C_u L R$

FACTOR DE SEGURIDAD: $F = \frac{M_r}{M_m} = \frac{C_u L R}{W_d}$

CONTENIDO:	FECHA:	
DISEÑO DE TALUDES FALLA ROTACIONAL	2008	LÁMINA N° 18.1



CÁLCULO DE TALUDES: FALLA ROTACIONAL

CASO 2: $\zeta = C_u + \delta \, tg\phi_u$

MÉTODO DE LAS DOVELAS DE FELLENIUS

Wi= PESO DE LA DOVELA DE ORDEN i

Ti= COMPONENTE TANGENCIAL DE Wi

Ni= COMPONENTE NORMAL DE Wi

Li= ANCHO DE LA DOVELA PARALELO A SU BASE

Si= ESFUERZO DE CORTE EN LA BASE DE LA DOVELA i

(DETERMINADO ENGRÁFICO DE ACUERDO A VALORES DE C, Ø CONOCIDOS Y δi CALCULADO)

ESQUEMA DE CÁLCULO

DOVELA	Wi	Ni	ITiI	$\delta = \frac{Ni}{Li}$	Si	Si Li
1 2 . . n						

MOMENTO MOTOR: $M_m = R \sum ITi \, L$

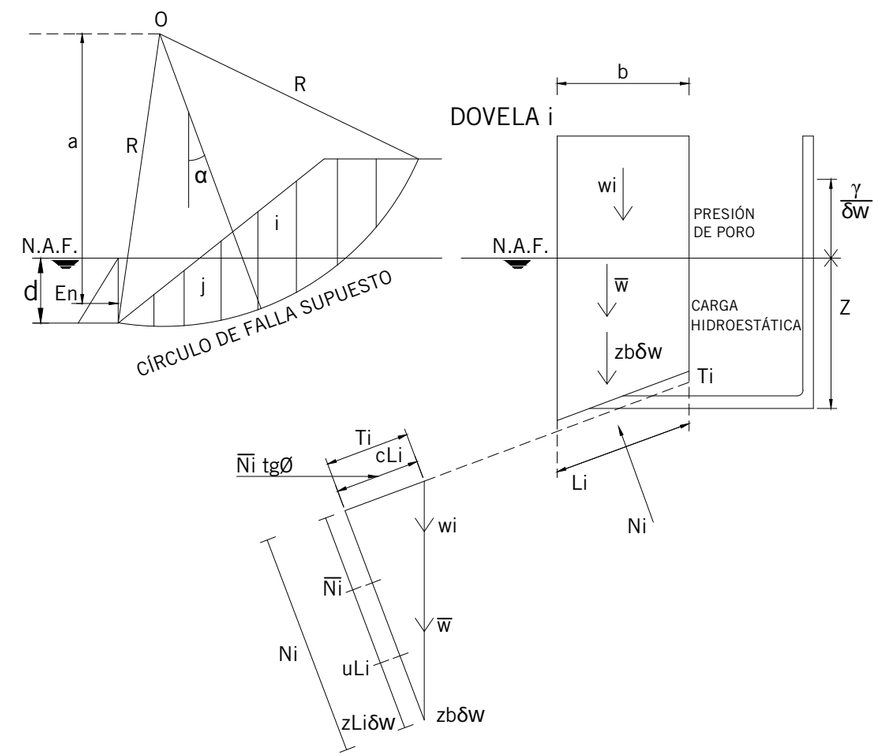
MOMENTO RESISTENTE: $M_r = R \sum Si \, Li$

MOMENTO DE SEGURIDAD: $Fs = \frac{M_r}{M_m} = \frac{\sum Si \, Li}{\sum ITi \, L}$

CONTENIDO:
DISEÑO DE TALUDES FALLA ROTACIONAL

FECHA: 2008

LÁMINA N° 18.2



CÁLCULO DE TALUDES: FALLA ROTACIONAL

MÉTODO DE LAS DOVELAS DE FELLENIUS

Wi= PESO DE LA DOVELA DE ORDEN i

Wi= $\mathbf{wi + \overline{w} + zb\delta w}$

wi= PESO DE PARTE DE LA DOVELA SITUADA SOBRE EL NIVEL DE LA NAPA FREATICA (N.A.F.)

W= PESO DE PARTE DE LA DOVELA SITUADA BAJO EL NIVEL DE LA NAPA FREATICA (N.A.F.), (PESO ESPECÍFICO SATURADO δw)

δw= PESO ESPECÍFICO DEL AGUA

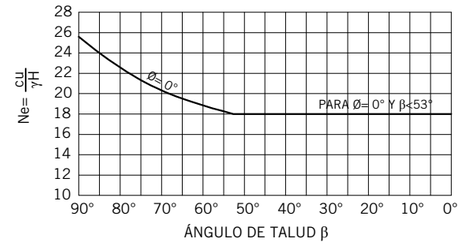
MOMENTO MOTOR= $\mathbf{Mm = \sum i(wi + \overline{w})\ R sen\alpha}$

$\mathbf{Mm = R \sum Ti}$

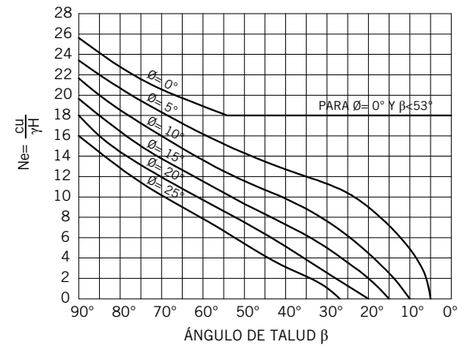
MOMENTO RESISTENTE= $\mathbf{\sum SiLiR}$

Si= RESISTENCIA AL MOMENTO CORTANTE

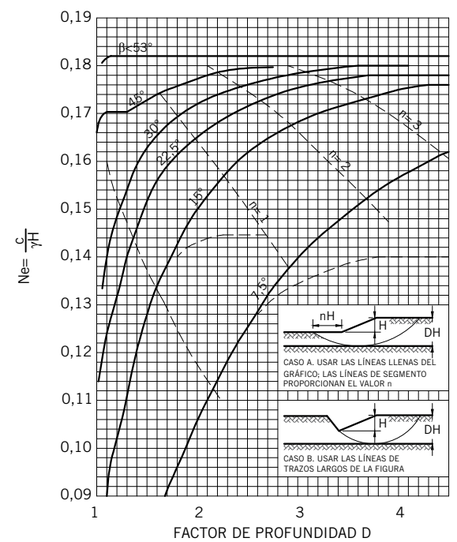
CONTENIDO:	FECHA:	
DISEÑO DE TALUDES FALLA ROTACIONAL	**2008**	LÁMINA N° **18.3**

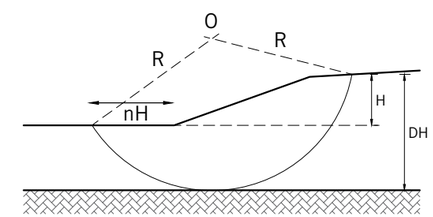


A) GRÁFICO DE TAYLOR PARA DETERMINAR LOS NÚMEROS DE ESTABILIDAD EN TALUDES DE MATERIALES COHESIVOS HOMOGENOS CON EL TERRENO DE CIMENTACIÓN



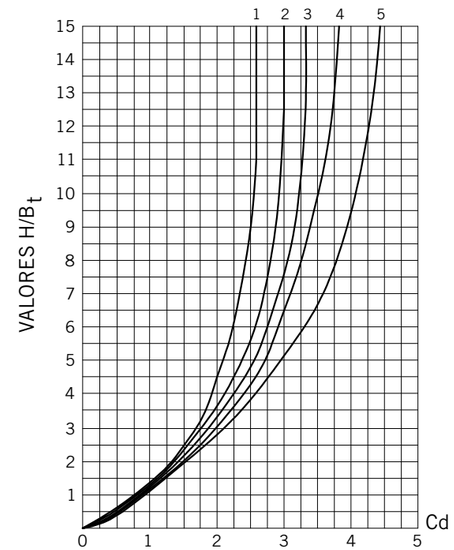
B) GRÁFICO DE TAYLOR PARA DETERMINAR LOS NÚMEROS DE ESTABILIDAD EN MATERIALES CON COHESIÓN Y FRICCIÓN



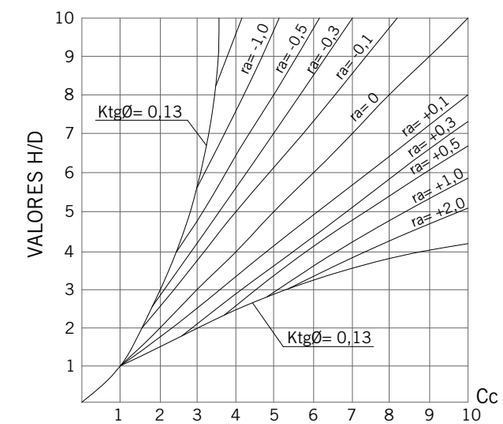


C) GRÁFICO DE TAYLOR PARA DETERMINAR EL NÚMERO DE ESTABILIDAD Y EL FACTOR DE ALEJAMIENTO EN CÍRCULOS TANGENTES A UN ESTRATO RESISTENTE

CONTENIDO:	FECHA:	
DISEÑO DE TALUDES MÉTODO DE TAYLOR	2008	LÁMINA N° 18.4



COEFICIENTE DE CARGA Cd



COEFICIENTE DE CARGA Cc

1: Cd PARA KTgØ= 0,1924 MÍN. PARA ARENA Y GRAVA
2: Cd PARA KTgØ= 0,169 MÁX. PARA ARENA Y GRAVA
3: Cd PARA KTgØ= 0,130 MÁX. PARA ARENA Y GRAVA SATURADAS
4: Cd PARA KTgØ= 0,130 MÁX. PARA ARCILLAS NO SATURADAS
5: Cd PARA KTgØ= 0,110 MÁX. PARA ARCILLAS SATURADAS

VALORES DE r_a PROYECTO

CONDICIONES PREVALECIENTES	r_a
TUBO RÍGIDO SOBRE ROCA O SUELO NO CEDENTE	+1,0
TUBO RÍGIDO SOBRE SUELO COMPRESIBLE	0 A +0,5
TUBO RÍGIDO SOBRE SUELO COMÚN	+0,5 A +0,8

CONTENIDO:
GRÁFICOS PARA EL DISEÑO DE ALCANTARILLAS

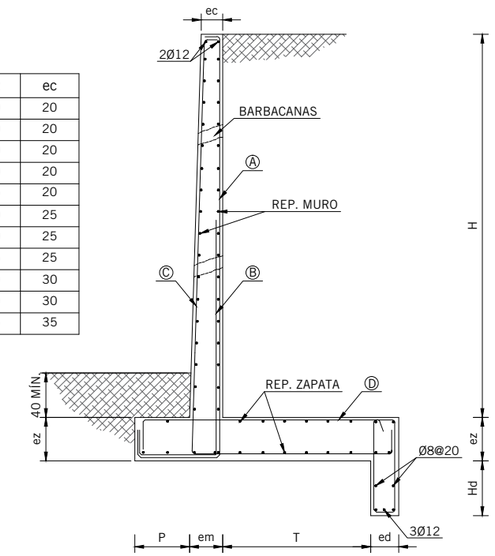
FECHA: 2008

LÁMINA N° 19.1

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

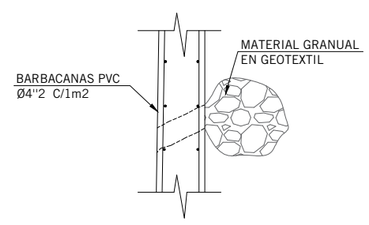
CÓDIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACIÓN

H	Hd	P	em	T	ed	ez	ec
100	0	25	20	25	0	30	20
150	0	35	20	45	0	30	20
200	0	35	20	70	0	30	20
250	20	50	20	65	20	30	20
300	30	60	25	80	20	35	20
350	35	65	30	100	20	40	25
400	55	75	35	100	30	40	25
450	55	90	40	115	30	45	25
500	70	100	50	115	35	50	30
550	70	110	50	135	35	50	30
600	70	110	60	155	35	55	35

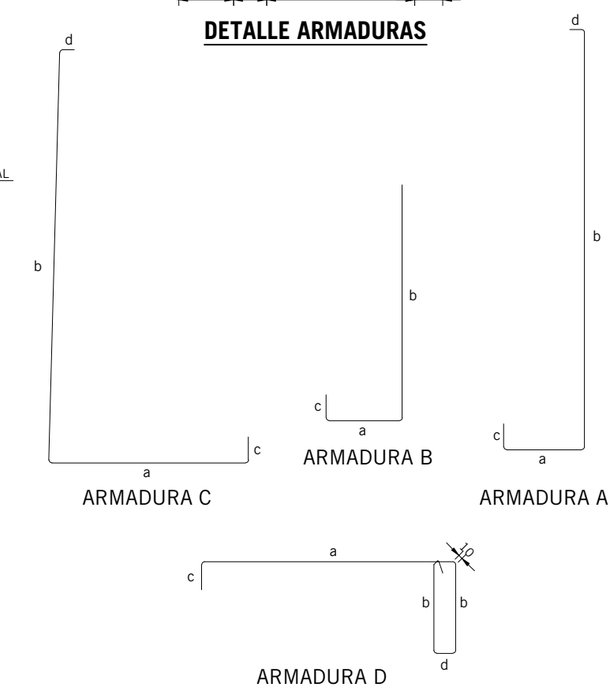


H: ALTURA DEL RELLENO SOBRE LA ZAPATA
Hd: ALTURA DEL DIENTE
P: DIMENSIÓN DEL PIE
em: ESPESOR DEL MURO EN LA BASE
ec: ESPESOR DEL MURO EN EL CORONAMIENTO
T: DIMENSIÓN DEL TALÓN
ed: ESPESOR DEL DIENTE
ez: ESPESOR DE LA ZAPATA

DETALLE ARMADURAS



DETALLE BARBACANAS



CONTENIDO:	FECHA:	
GEOMETRÍA MUROS	**2008**	LÁMINA N° **20.1**

ESPECIFICACIONES

1. MATERIALES

1.1.- HORMIGÓN :H-30 90% N.C. (MÍNIMO).

1.2.- EMPLANTILLADO :H-5, ESPESOR MÍNIMO 5 cm.

1.3.- ACERO :A630-420H.

1.4.- SELLANTE ASFÁLTICO EN JUNTAS DE DILATACIÓN.

1.5.- VERIFICAR LAS PROPIEDADES DEL SUELO, MEDIANTE LA ELABORACIÓN DE UN ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS.

2. CONSTRUCTIVAS

2.1.- RECUBRIMIENTOS: 5 cm.

2.2.- SISTEMA DE DRENAJE SEGÚN DETALLE ADJUNTO.

2.3.- EL SELLO DE FUNDACIÓN DEBERÁ SER RECIBIDO POR UN MECÁNICO DE SUELOS.

2.4.- EL PARAMENTO VERTICAL DEL MURO, CONTRA TERRENO, DEBERÁ LLEVAR UNA MANO DE IMPERMEABILIZANTE ASFÁLTICO.

2.5.- LOS DIÁMETROS DE DOBLADO PARA LAS ARMADURAS DE REFUERZO, DEBERÁN REALIZARSE SEGÚN LO INDICADO EN EL CAPÍTULO 7.2.1 DEL CÓDIGO AC1318.

2.6.- COTAS EN CENTÍMETROS.

3. BASES DE CÁLCULO

3.1.- TENSIONES ADMISIBLES MÍNIMAS DEL SUELO:

σest = 2.0 Kg/cm²

σdin = 2.6 Kg/cm²

3.2.- EL DISEÑO PRESENTADO, ES APTO PARA SUELOS GRANULARES, CATALOGADOS COMO GRAVA ARENOSA.

3.3.- ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNO DEL SUELO **Ø = 37°**

3.4.- PESO ESPECÍFICO DEL RELLENO ESTRUCTURAL **γ = 2.0 T/m³.**

3.5.- COEFICIENTE DE ACELERACIÓN **C = 0.20**

CONTENIDO:	FECHA:	LÁMINA N°
MUROS DE CONTENCIÓN ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	**2008**	**20.2**

	ARMADURA	a	b	c	d	LT	CUANTÍA	REP. MURO	REP. ZAPATA	H-25 m³	ACERO (Kg)
H = 100	A	35	123	20	12	190	Ø8@20	Ø8@20	Ø10@20	0.41	17.3
	B	0	0	0	0	0	-				
	C	35	123	20	12	190	Ø8@20				
	D	60	0	20	0	190	Ø10@20				
H = 150	A	45	173	20	12	250	Ø8@20	Ø8@20	Ø10@20	0.60	22.9
	B	0	0	0	0	0	-				
	C	55	173	20	12	260	Ø8@20				
	D	90	0	20	0	130	Ø10@20				
H = 200	A	45	223	20	12	300	Ø10@20	Ø8@20	Ø10@20	0.78	32.4
	B	45	158	20	0	223	Ø10@20				
	C	80	223	20	12	335	Ø10@20				
	D	115	0	20	0	155	Ø10@20				
H = 250	A	60	273	20	12	365	Ø10@20	Ø10@20	Ø10@20	0.97	49.5
	B	60	192	20	0	272	Ø12@20				
	C	95	273	20	12	400	Ø10@20				
	D	145	40	20	10	265	Ø10@20				
H = 300	A	75	328	25	12	440	Ø12@20	Ø10@20	Ø10@20	1.32	69.1
	B	75	230	25	0	330	Ø12@20				
	C	115	328	25	12	480	Ø10@20				
	D	175	110	40	25	585	Ø10@20				
H = 350	A	85	383	30	17	515	Ø12@16	Ø10@20	Ø10@20	1.82	98.2
	B	85	268	30	0	383	Ø12@16				
	C	140	383	30	17	570	Ø10@20				
	D	205	65	30	10	385	Ø12@20				

CONTENIDO:
MUROS DE CONTENCIÓN CUADRO DE ARMADURAS

FECHA: 2008

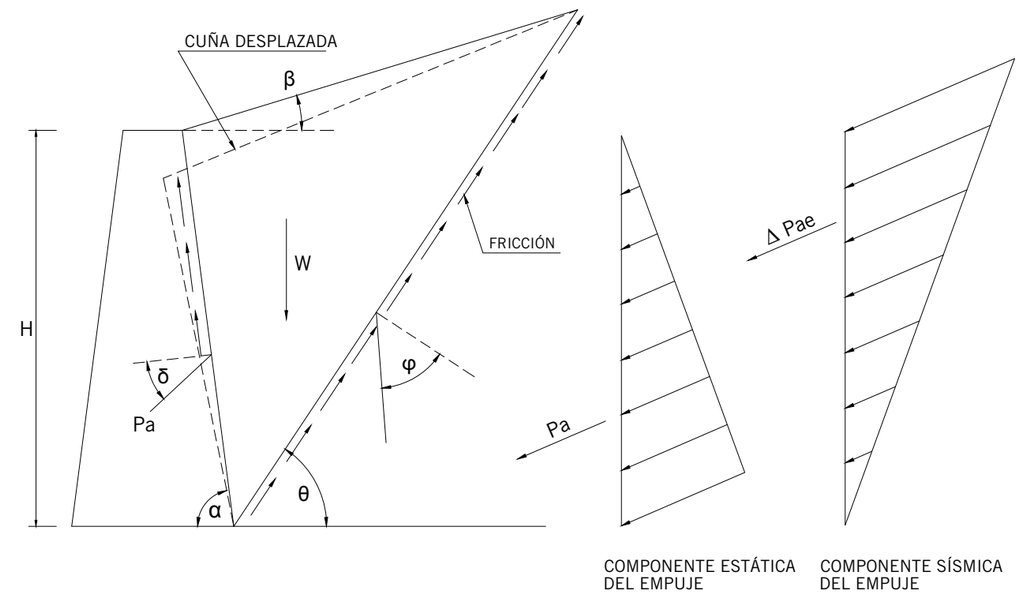
LÁMINA N° 20.3

	ARMADURA	a	b	c	d	LT	CUANTÍA	REP. MURO	REP. ZAPATA	H-25 m³	ACERO (Kg)
H = 400	A	100	433	30	17	580	Ø12@18	Ø10@20	Ø10@20	2.16	132.6
	B	100	302	30	0	432	Ø16@18				
	C	155	433	30	17	635	Ø12@20				
	D	230	85	30	20	460	Ø12@14				
H = 450	A	120	488	35	17	660	Ø16@18	Ø10@20	Ø10@20	2.70	178.7
	B	120	340	35	0	495	Ø16@18				
	C	175	488	35	17	715	Ø12@20				
	D	265	90	35	20	510	Ø16@20				
H = 500	A	140	543	40	22	745	Ø16@16	Ø10@20	Ø10@20	3.50	218.8
	B	140	378	40	0	558	Ø16@16				
	C	190	543	40	22	795	Ø12@20				
	D	290	110	40	25	585	Ø16@20				
H = 550	A	150	593	40	22	805	Ø18@20	Ø10@15	Ø10@20	3.85	294.6
	B	150	412	40	0	602	Ø22@20				
	C	210	593	40	22	865	Ø12@15				
	D	320	110	40	25	615	Ø16@15				
H = 600	A	160	648	45	27	880	Ø18@18	Ø10@15	Ø10@15	4.83	351.6
	B	160	450	45	0	655	Ø22@18				
	C	240	648	45	27	960	Ø12@15				
	D	350	115	45	25	660	Ø18@15				

CONTENIDO:
MUROS DE CONTENCIÓN CUADRO DE ARMADURAS

FECHA: 2008

LÁMINA N° 20.4



MÉTODO DE COULOMB. EMPUJE ACTIVO E INCREMENTO SÍSMICO EN SUELOS CON FRICCIÓN

$$P_a = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \cdot \frac{\operatorname{sen}^2(\alpha + \varnothing)}{\operatorname{sen}^2\alpha \cdot \operatorname{sen}(\alpha+\delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\operatorname{sen}(\varnothing+\delta)\cdot\operatorname{sen}(\varnothing-\beta)}{\operatorname{sen}(\alpha-\delta)\cdot\operatorname{sen}(\alpha+\beta)}}\right]^2} \qquad (1)$$

$$P_{aE} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_{aE} \cdot (1 - k_v)$$

$$K_{aE} = \frac{\cos^2(\varnothing - \alpha_a - \theta)}{\cos\theta \cdot \cos^2\alpha_a \cdot \cos(\delta + \alpha_a + \theta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\operatorname{sen}(\varnothing+\delta)\cdot\operatorname{sen}(\varnothing-\beta-\theta)}{\cos(\delta+\alpha_a+\theta)\cdot\cos(\beta-\alpha_a)}}\right]^2} \qquad (2)$$

$$\Delta P_{aE} = P_a - P_{aE}$$

CONTENIDO:	FECHA:	
MÉTODO DE COULOMB Y MONONOBE-OKABE	2008	LÁMINA N° 20.5

CON:

Ø: ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA.

β: ÁNGULO DE INCLINACIÓN DEL TALUD A TRASDÓS.

α: ÁNGULO DE INCLINACIÓN DEL MURO A TRASDÓS. (α = 90° - α).

δ: ÁNGULO DE ROCE MURO-SUELO RETENIDO.

θ: $\mathbf{arctg}\left(\frac{K_h}{1 - K_v}\right)$

K : ACELERACIÓN SÍSMICA HORIZONTAL. PARA ESTE CAPÍTULO SE CONSIDERA $\mathbf{k_h = 0.20}$

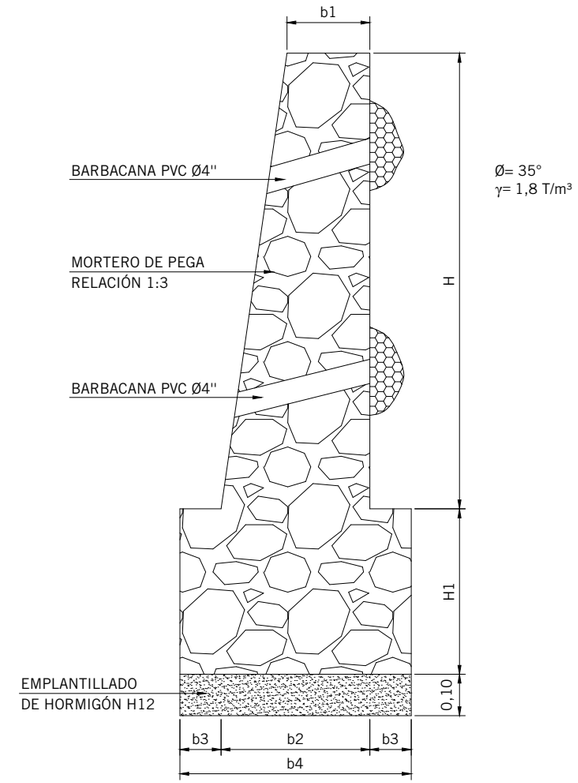
K : ACELERACIÓN SÍSMICA VERTICAL. $\mathbf{k_v = \frac{2}{3} k_h}$

LA FÓRMULA 1 ENTREGA EL EMPUJE DE TIERRAS ACTIVO, OBTENIDO MEDIANTE EL MÉTODO DE COULOMB.

LA FÓRMULA 2 ENTREGA EL EMPUJE TOTAL, INCLUYENDO EL EMPUJE ACTIVO, SEGÚN LA FÓRMULA DE MONONOBE Y OKABE.

CONTENIDO:	FECHA:	
MÉTODO DE COULOMB Y MONONOBE-OKABE	2008	LÁMINA N° 20.6

DETALLE MURO DE MAMPOSTERÍA DE PIEDRA



H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
b1	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
b2	0,6	0,8	0,9	1,2	1,5	1,7	2,0	2,2
b3	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5
b4	0,8	1	1,35	1,7	2,1	2,5	3	3,2
H1	0,50	0,60	0,70	0,75	1,10	1,10	1,30	1,30
m³/ml	**0,85**	**1,43**	**2,20**	**3,28**	**5,16**	**6,43**	**8,90**	**10,24**
FS VOLCAMIENTO SIN SISMO	4,09	3,02	3,24	3,3	3,24	3,46	3,78	3,49
FS VOLCAMIENTO CON SISMO	1,94	1,44	1,54	1,56	1,54	1,64	1,79	1,66
FS DESPLAZAMIENTO SIN SISMO	4,45	3,61	3,43	3,26	3,46	3,3	3,46	3,21
FS DESPLAZAMIENTO CON SISMO	2,87	2,32	2,21	2,1	2,23	2,12	2,23	2,07
σ ESTÁTICO:	0,49	0,76	0,84	0,96	1,26	1,25	1,37	1,54
% COMPRIMIDO	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
σ DINÁMICO:	0,87	2,17	1,90	2,03	2,87	2,50	2,50	3,0
% COMPRIMIDO	66%	35%	50%	54%	48%	69%	69%	62%
V BASE-MURO [Kg/cm²]	0,16	0,22	0,35	0,35	0,44	0,49	0,55	0,59

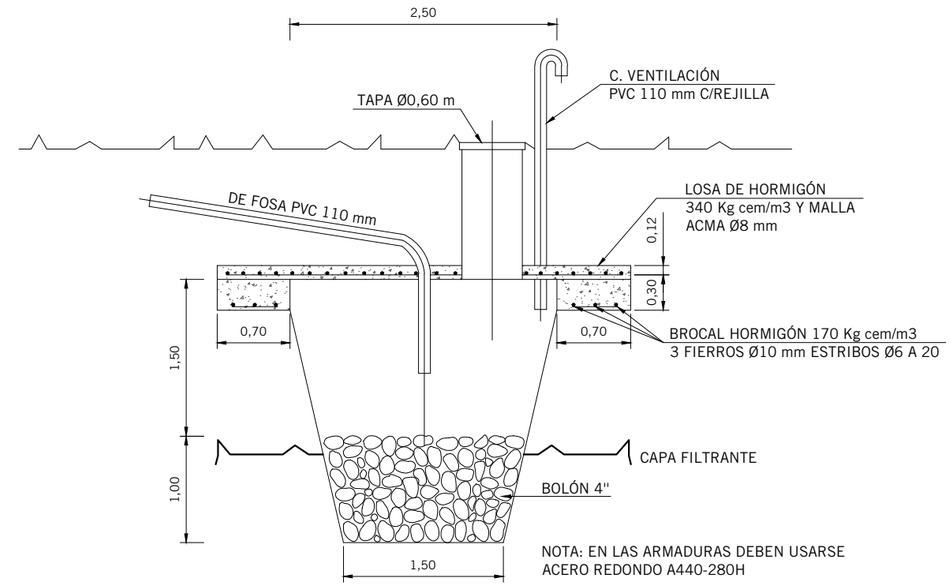
CONTENIDO:
DETALLE MURO DE MAMPOSTERÍA DE PIEDRA

FECHA: **2008**

LÁMINA N° **20.7**

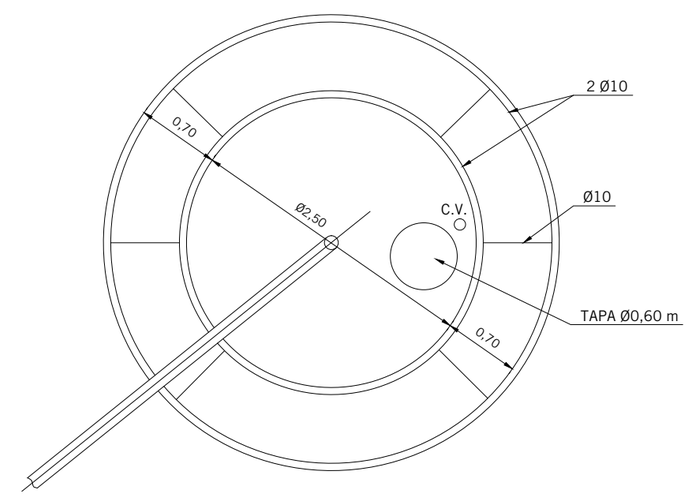
DETALLE TIPO POZO ABSORBENTE

ESC. 1:50



PLANTA ANILLO (BROCAL)

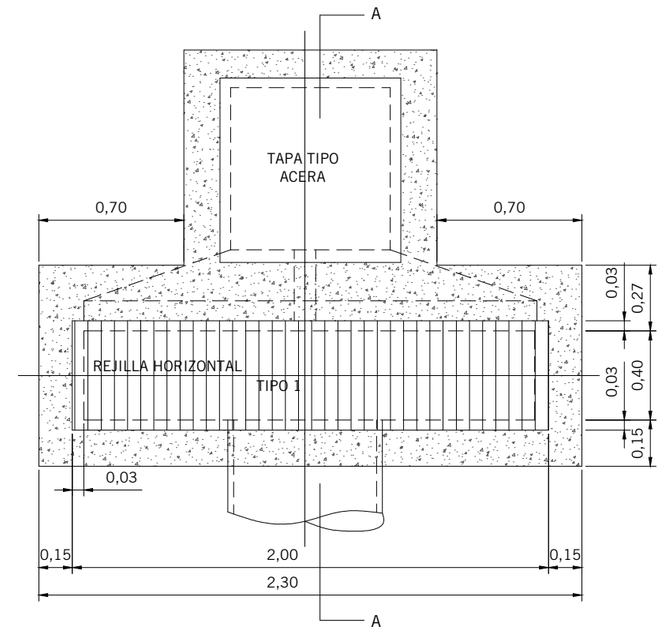
ESC. 1:50



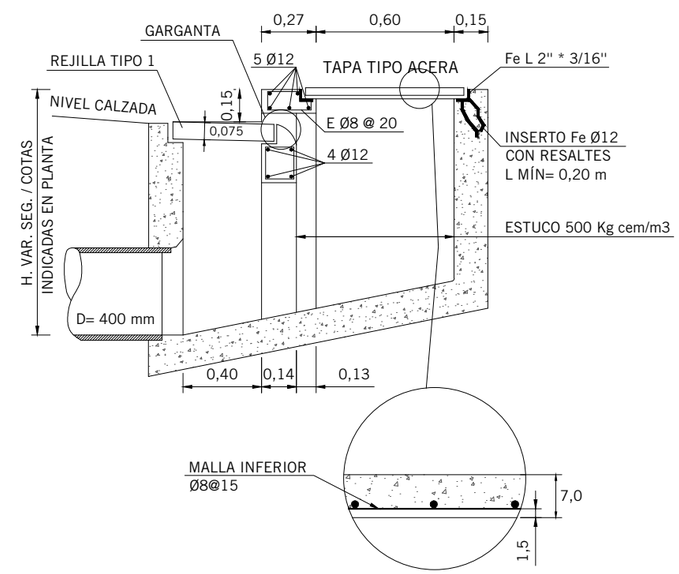
CONTENIDO:	FECHA:	
POZO ABSORBENTE	2008	LÁMINA N° 21.1

SUMIDERO TIPO SERVIU

PLANTA



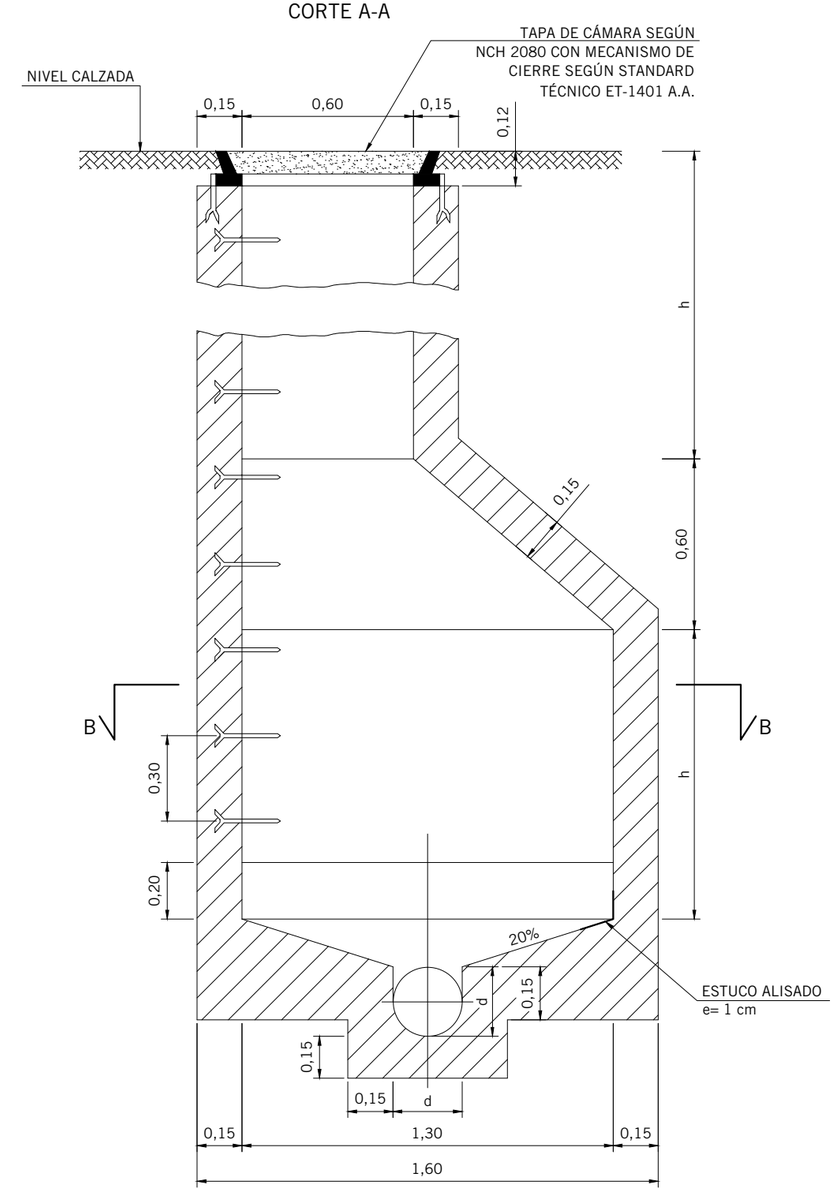
CORTE A-A



CONTENIDO:	FECHA:	
SUMIDERO TIPO SERVIU	**2008**	LÁMINA N° **22.1**

CÁMARA TIPO a

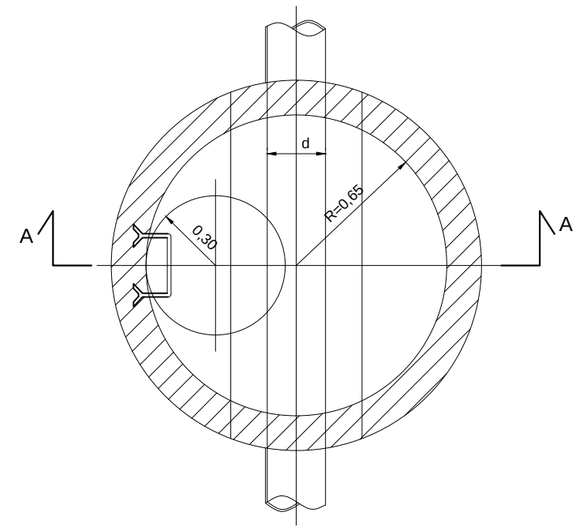
CORTE A-A



CONTENIDO:	FECHA:	
CÁMARA TIPO a	2008	LÁMINA N° 22.2

RADIER N°1

CORTE B-B



CUBICACIONES

HORMIGÓN DE 170 Kg cem/m3 PARA EL CONO
HORMIGÓN DE 170 kg cem/m3 MT LINEAL DE CHIMENEA
HORMIGÓN DE 170 Kg cem/m3 MT LINEAL DE CUERPO
FIERRO PARA D= 130= 21 Kg
FIERRO PARA D= 180= 40 Kg

D= 1,30 m	D=1,80 m
0,31 m3	0,48 m3
0,36 m3	0,48 m3
0,68 m3	0,90 m3

ESPECIFICACIONES

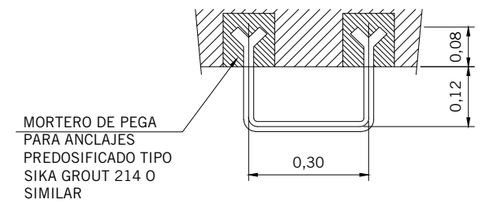
1. LAS CÁMARAS SE DESIGNARAN CON UNA LETRA PARA IDENTIFICAR SU TIPO Y CON UN NÚMERO PARA IDENTIFICAR EL TIPO DE RADIER EJ. a-1 a-2. EL TIPO "a" SE REFIERE A CÁMARAS CON CONO Y CHIMENEA.
2. LAS CÁMARAS DEL TIPO "a" SE ADOPTARAN SIEMPRE QUE LA ALTURA H DISPONIBLE DESDE EL RADIER DE LA CÁMARA HASTA EL NIVEL DE LA CALZADA SEA IGUAL O SUPERIOR A LOS VALORES QUE SE INDICAN EN EL CUADRO SIGUIENTE.

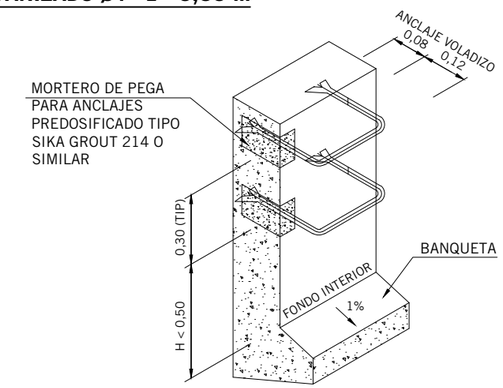
H= ALTURA DISPONIBLE SOBRE RADIER	d= DIÁMETRO MÁXIMO EN LA CANALETA
165 m	175 m
170 m	200 m
180 m	300 m
185 m	350 m
190 m	400 m
195 m	450 m
200 m	500 m

3. EN LAS CÁMARAS TIPO a EL VALOR MÍNIMO DE H (ALTURA DEL CUERPO DE LA CÁMARA) SERÁ DE 0,60 m Y EL MÁXIMO DE 1,10 m EN LAS CÁMARAS TIPO "a" SE FIJARÁ H DE MODO QUE SU VALOR TIENDA AL MÁXIMO DE 1,10 m.
4. PARA d DIÁMETRO MÁXIMO EN LA CANALETA IGUAL O MENOR QUE 0,50 m SE FIJARÁ EL DIÁMETRO D DEL CUERPO DE LA CÁMARA EN 1,30 m PARA VALORES MAYORES DE d SE FIJARÁ D= 180 SIEMPRE QUE HAYA CURVA.
5. LOS ESCALINES IRÁN A 0,30 UNO DE OTRO A PARTIR DESDE EL NIVEL DE LA CALZADA, LA ALTURA MÁXIMA DEL ÚLTIMO ESCALIN SOBRE EL RADIER DE LA CÁMARA SERÁ DE 0,50 m SOBRE EL RADIER Y SE REPARTIRÁ EL EXCESO AUMENTANDO LA DISTANCIA ENTRE LOS ESCALINES.
6. LA DOSIS DEL HORMIGÓN SERÁ DE 170 Kg cem/m3 CUANDO LAS CÁMARAS DEBAN CONSTRUIRSE EN TERRENO SECO Y EN DOSIS DE 234 Kg cem/m3 DE HORMIGÓN CUANDO SE CONSTRUYAN EN TERRENO CON AGUA.
LA DOSIS DE LOS MORTEROS PARA LOS ESTUCOS SERÁ DE 510 Kg cem/m3 DE MORTERO.
EN LAS CÁMARAS QUE SE CONSTRUYAN EN TERRENO SECO EL ESTUCO TENDRÁ 0,20 DE ALTURA SOBRE EL PUNTO MÁS ALTO DE LA BANQUETA Y SU ESPESOR DE 1 cm.
EN LAS CÁMARAS QUE VAYAN EN TERRENO CON AGUA EL ESPESOR SERÁ DE 2 cm Y CUBRIRÁ HASTA LA ALTURA MÁXIMA DE LA NAPA.
7. EL ESPESOR DE LA LOSA Y LA DISTRIBUCIÓN DEL FIERRO SON IGUALES PARA D= 130 Y D= 180.

CONTENIDO:	FECHA:	LÁMINA N°
CÁMARA TIPO a	2008	22.3

DETALLE ESCALINALES DE FIERRO GALVANIZADO
ESCALINES DE FIERRO GALVANIZADO Ø1" L= 0,80 m





NOTA
1. LOS ESCALINES DEBEN SER DE ACERO A37-24 ES GALVANIZADO EN BAÑO A RAZÓN DE 600 gr/m2 2. LOS ESCALINES DEBEN TENER UN EMPOTRAMIENTO MÍN. DE 8 cm Y UN VOLADIZO DE 12 cm

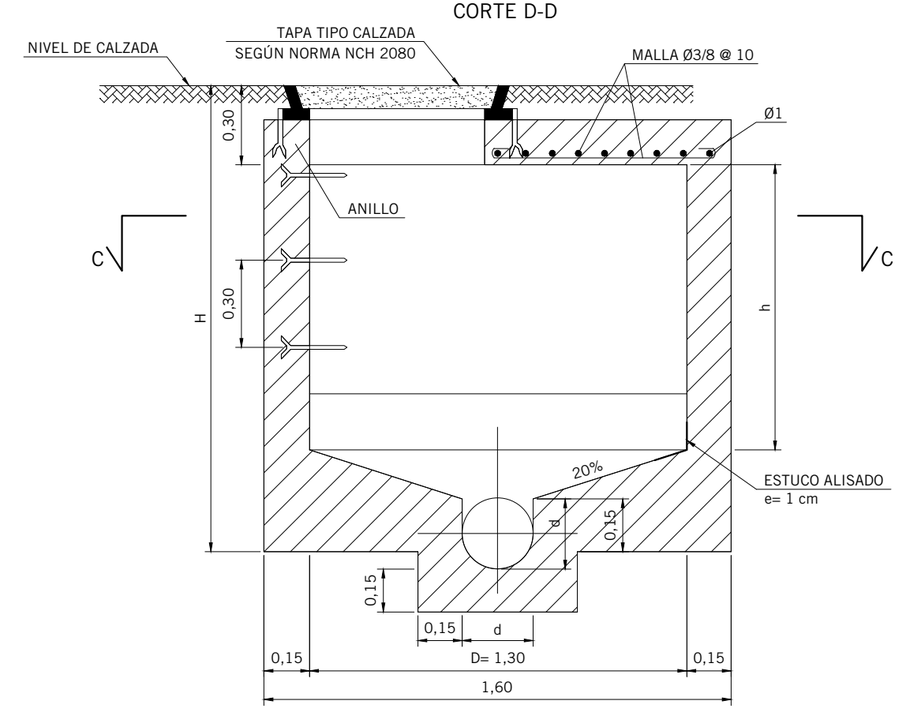
CONTENIDO:	FECHA:	LÁMINA N°
CÁMARA TIPO a	2008	22.4

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CÓDIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACIÓN

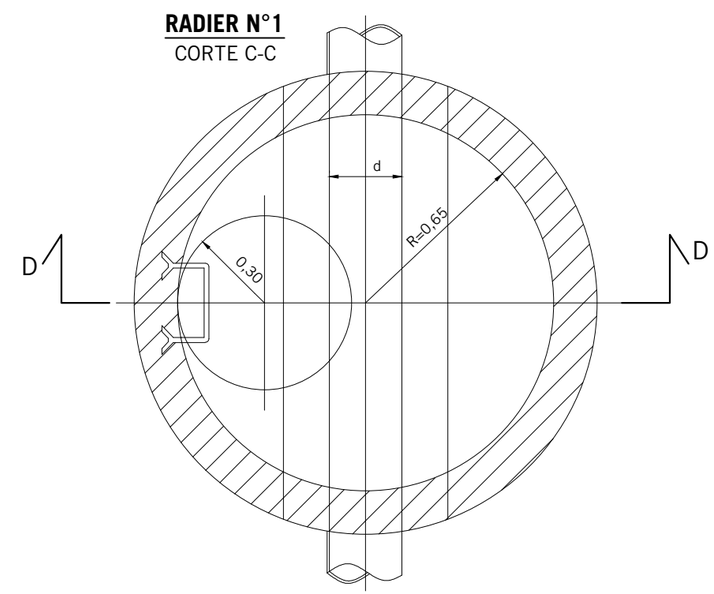
CÁMARA TIPO b

CORTE D-D



RADIER N°1

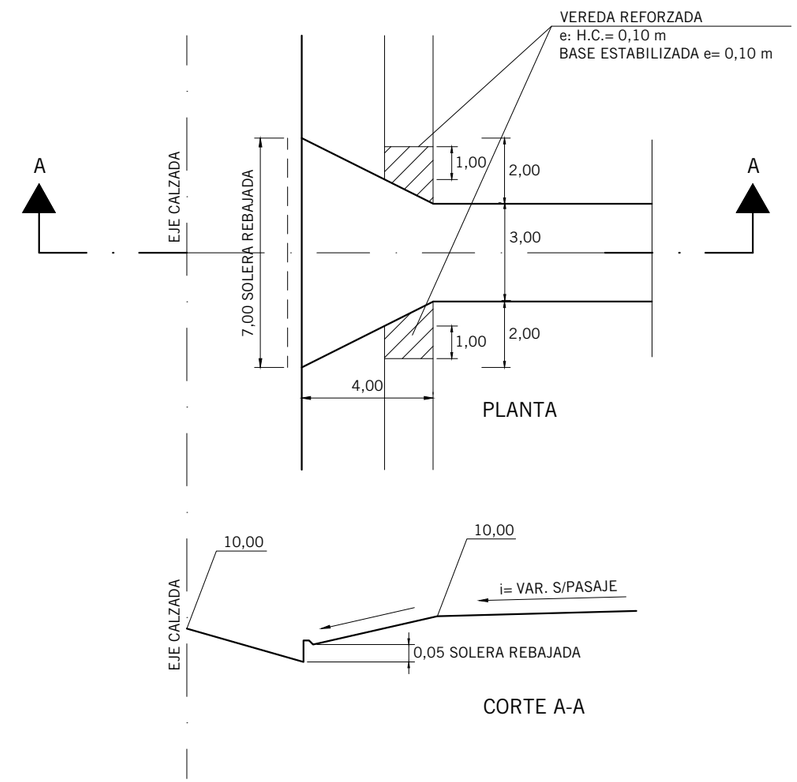
CORTE C-C



CONTENIDO:	FECHA:	
CÁMARA TIPO b	**2008**	LÁMINA N° **22.5**

DETALLE ENCUENTRO CALLE-PASAJE

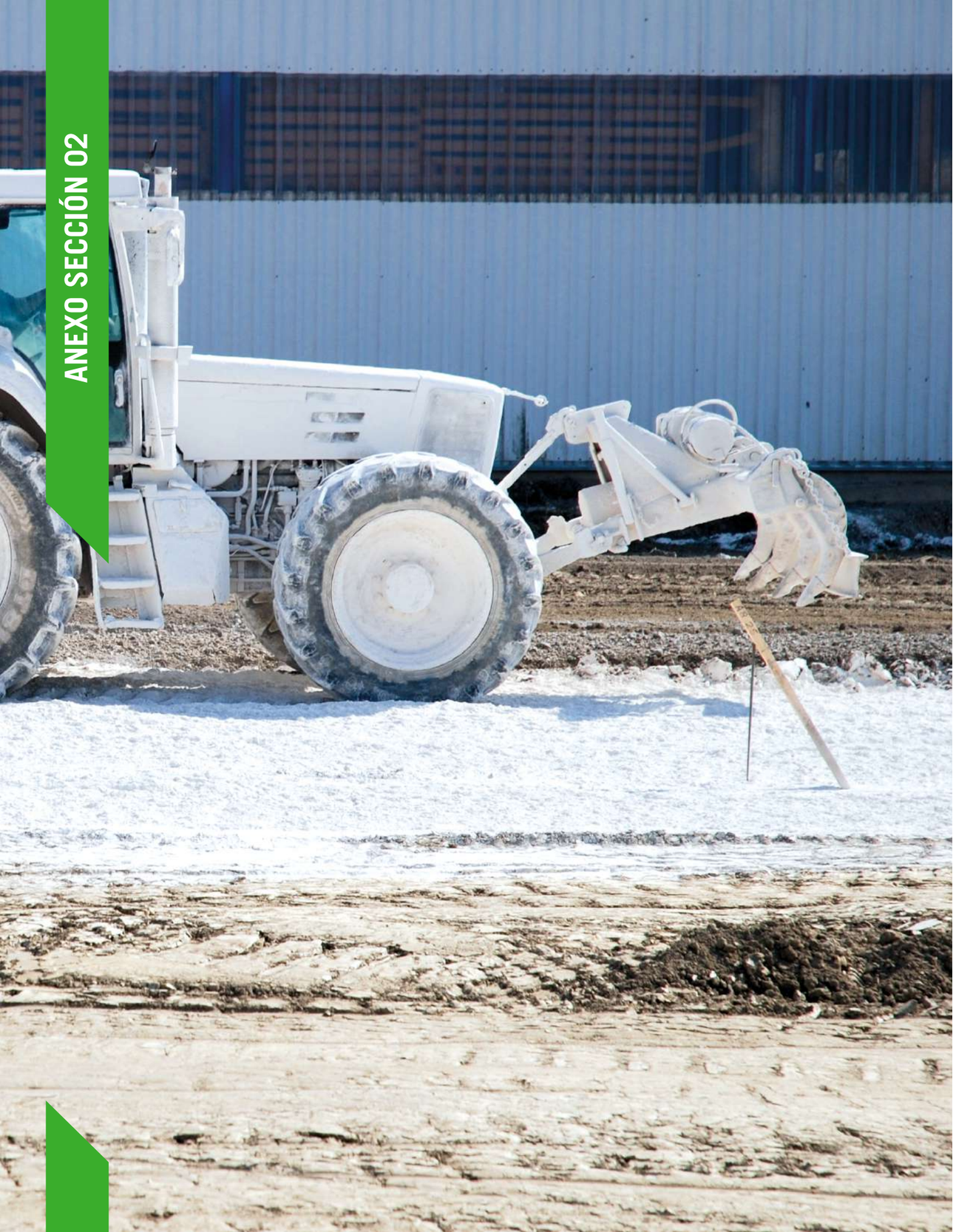
ESCALA 1:200



CONTENIDO:	FECHA:	LÁMINA N°
DETALLE ENCUENTRO PASAJE CON CALLE	2008	APÉNDICE 1.1

ANEXOS

SECCIÓN 2



ANEXO SECCIÓN 02

ANEXO SECCIÓN 02

Las especificaciones técnicas de este Anexo son una adaptación del artículo 512 de las especificaciones técnicas españolas del año 2002.

ART. A 2.1 SUELOS DE SUBRASANTE ESTABILIZADOS EN SITIO CON CEMENTO O CAL

A 2.1.1 DEFINICIÓN

Se define como suelo estabilizado en sitio, a la mezcla homogénea y uniforme de un suelo con cal o con cemento y eventualmente agua, en la misma obra, la cual convenientemente compactada, tiene por objeto disminuir la susceptibilidad al agua del suelo o aumentar su resistencia, para su uso en la formación de subrasantes.

La ejecución de un suelo estabilizado en sitio incluye las siguientes operaciones:

- Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.
- Preparación de la superficie existente.
- Disgregación del suelo.
- Humectación o desecación del suelo.
- Distribución de la cal o del cemento.
- Ejecución de la mezcla.
- Compactación.
- Terminación de la superficie.
- Curado y protección superficial.

Según sus características finales, se establecen tres tipos de suelos estabilizados en sitio, denominados respectivamente: S-EST1, S-EST2 y S-EST3. Los dos primeros se pueden conseguir con cal o con cemento y pueden emplearse en subrasantes para aumentar la capacidad de soporte, mientras que el tercer tipo se tiene que realizar necesariamente con cemento y puede emplearse como subbase o base en vías de Servicio, Locales o Pasajes.

A 2.1.2 MATERIALES

Lo dispuesto en este artículo respeta lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, seguridad, salud, almacenamiento y transporte de productos de la construcción.

A 2.1.2.1 CAL

Salvo justificación en contrario, para la estabilización de suelos se usan cales aéreas hidratadas de acuerdo la NCh 2120.

Las Especificaciones Técnicas Especiales, o en su defecto el fiscalizador o profesional responsable, fijan la clase de cal según el tipo de suelo que se vaya a estabilizar.

A 2.1.2.2 CEMENTO

El cemento a utilizar se emplea de acuerdo a la NCh 147. No se emplean cementos de aluminato de calcio, ni mezclas de cemento con adiciones que no hayan sido realizadas en la fábrica.

Si el contenido de sulfatos solubles (SO_3) es superior al cinco por mil (0,5%) en masa, se emplea un cemento resistente a los sulfatos.

El fraguado no puede tener lugar antes de las dos horas (2 h). No obstante, si la estabilización se realizase con temperatura ambiente superior a treinta grados Celsius (30ºC), el principio de fraguado, se determina con dicha norma, pero realizando los ensayos a una temperatura de cuarenta más menos dos grados Celsius (40 ± 2ºC), y no puede tener lugar antes de una hora (1 h).

A 2.1.2.3 SUELO

A 2.1.2.3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

a. Los materiales que se vayan a estabilizar en sitio con cal o con cemento son suelos de la subrasante u otros materiales locales que no contengan en ningún caso materia orgánica, sulfatos, sulfuros, fosfatos, nitratos, cloruros u otros compuestos químicos en cantidades perjudiciales (en especial para el fraguado, en el caso de que se emplee cemento).

b. Si el contenido de sulfatos solubles (SO_3) en el suelo que se vaya a estabilizar, determinado según la NCh 1444, fuera superior al cinco por mil (0,5%) en masa, se emplea un cemento resistente a los sulfatos.

c. Es necesario que los materiales que se vayan a estabilizar con cemento no presenten reactividad potencial con los álcalis de este. En materiales sobre los que no exista suficiente experiencia en su comportamiento en mezclas con cemento, realizado el análisis químico de la concentración de SiO_2 y de la reducción de la alcalinidad R (según la UNE 146507-1), el material es considerado potencialmente reactivo si:

- $SiO_2 > R$ cuando $R \geq 70$
- $SiO_2 > 35 + 0{,}5R$ cuando $R < 70$

A 2.1.2.3.2 GRANULOMETRÍA

Se requiere que los suelos que se vayan a estabilizar en sitio con cal, cumplan lo indicado en la Tabla A 2.1.

TABLA A 2.1
GRANULOMETRÍA DEL SUELO EN LAS ESTABILIZACIONES CON CAL

TIPO DE SUELO ESTABILIZADO	Abertura de los tamices (mm)	
	80	0,08
	% que pasa (en masa)	% que pasa (en masa)
S-EST1 y S-EST2	100	≥ 15

Por su parte, se requiere que los suelos que se vayan a estabilizar en sitio con cemento, cumplan, en su estado natural o bien tras un tratamiento previo con cal, lo indicado en la Tabla A 2.2.

TABLA A 2.2
GRANULOMETRÍA DEL SUELO EN LAS ESTABILIZACIONES CON CEMENTO

TIPO DE SUELO ESTABILIZADO	Abertura de los tamices (mm)		
	80	2	0,08
	% que pasa (en masa)	% que pasa (en masa)	% que pasa (en masa)
S-EST1 y S-EST2	100	> 20	< 50
S-EST3			< 35

A 2.1.2.3.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA

Es necesario que los suelos que se vayan a estabilizar en sitio, con cal o cemento, cumplan lo indicado en la Tabla A 2.3.

TABLA A 2.3
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL SUELO

CARACTERÍSTICAS	NORMA	TIPO DE SUELO ESTABILIZADO		
		S-EST 1	S-EST 2	S-EST 3
		< 2	< 1	
Materia Orgánica (MO) (% en masa)	ASTM C40 Of. 04	< 1		
Sulfatos Solubles (SO_3) (% en masa)	NCh. 1444			

A 2.1.2.3.4 PLASTICIDAD

Se requiere que los suelos que se vayan a estabilizar en sitio con cal, cumplan lo indicado en la Tabla A 2.4.

TABLA A 2.4
PLASTICIDAD DEL SUELO EN LAS ESTABILIZACIONES CON CAL

TIPO DE SUELO ESTABILIZADO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP) (UNE 103104)
S-EST 1	≥ 12
S-EST 2	≥ 12 y ≤ 40

Si el índice de plasticidad fuera superior a cuarenta (40), las Especificaciones Técnicas Especiales, o en su defecto el fiscalizador o profesional responsable, puede ordenar que la mezcla del suelo con la cal se realice en dos (2) etapas.

Por su parte, se requiere que los suelos que se vayan a estabilizar en sitio con cemento, cumplan lo indicado en la Tabla A 2.5.

TABLA A 2.5
PLASTICIDAD DEL SUELO EN LAS ESTABILIZACIONES CON CEMENTO

CARACTERÍSTICAS	NORMA	TIPO DE SUELO ESTABILIZADO		
		S-EST 1	S-EST 2	S-EST 3
LÍMITE LÍQUIDO (LL)	NCH 1517 / 1		< 40	
ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP)	NCH 1517 / 2	< 15		

Cuando interese utilizar suelos con un índice de plasticidad superior al indicado, las Especificaciones Técnicas Especiales, o en su defecto el fiscalizador técnico de la obra o el profesional responsable puede ordenar un tratamiento previo con cal, con una dotación mínima del uno por ciento (1%) en masa del suelo seco, de manera que el índice de plasticidad satisfaga las exigencias de la Tabla A 2.5.

A 2.1.2.4 AGUA

Se requiere que el agua cumpla lo estipulado en la NCh 1498.

A 2.1.3 TIPO Y COMPOSICIÓN DEL SUELO ESTABILIZADO

A 2.1.3.1 CONSIDERACIONES

En las Especificaciones Técnicas Especiales se define el tipo y la composición del suelo estabilizado. Es recomendable que su contenido de cal o cemento y resistencia a la compresión no confinada, cumplan lo indicado en la Tabla A 2.6.

Se requiere que los suelos estabilizados no sean susceptibles de ningún tipo de meteorización o de alteración física o química apreciables, bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en el lugar de empleo y que tampoco den origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras o a otras capas del pavimento o contaminar los suelos o corrientes de agua.

TABLA A 2.6
ESPECIFICACIONES DEL SUELO ESTABILIZADO EN SITIO

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	NORMA	TIPO DE SUELO ESTABILIZADO		
			S-EST 1	S-EST 2	S-EST 3
Contenido de cal o cemento	% en masa en suelo seco		≥ 2	≥ 3	
Compresión simple a 7 días	Mpa	NCH 1037	-	-	≥ 1,5; ≤ 4,5

En el caso de los suelos estabilizados con cal (las probetas fabricadas son similares a las empleadas para la realización del ensayo Proctor modificado [*] según la NCh 1534/2), entre la mezcla del suelo con cal y la compactación, transcurre un tiempo semejante al previsto entre esas mismas operaciones, en el proceso de ejecución de las obras.

El suelo estabilizado en sitio con cemento, tiene un plazo de trabajabilidad tal, que permita completar la compactación de una franja, antes de que haya finalizado dicho plazo en la franja adyacente estabilizada previamente, no pudiendo ser inferior al indicado en la Tabla A 2.7.

[*] Técnica adoptada internacionalmente para medir el comportamiento de estabilizaciones, aunque el ensayo es de suelos.

TABLA A 2.7
PLAZO MÍNIMO DE TRABAJABILIDAD (t_{pm}) DEL SUELO ESTABILIZADO EN SITIO CON CEMENTO

TIPO DE OBRA	t_{pm} (mín.)
Anchura completa	120
Por franjas	180

A 2.1.4 EQUIPO NECESARIO PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

A 2.1.4.1 EQUIPOS

Se recomienda cumplir, en todo caso, lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad y salud y de transporte, en lo referente a los equipos empleados en la ejecución de las obras.

No se utiliza en la ejecución de los suelos estabilizados en sitio con cal o con cemento, ningún equipo que no haya sido previamente aprobado por el fiscalizador o profesional responsable.

Para la ejecución de los suelos estabilizados en sitio, se emplean equipos mecánicos. Estos son equipos independientes, que realizan por separado las operaciones de disgregación, distribución de la cal o del cemento, humectación, mezcla y compactación, o bien equipos que realizan dos o más de estas operaciones, excepto la compactación, de forma simultánea.

La mezcla en sitio del suelo con cal o con cemento se hace mediante equipos autopropulsados que permitan una suficiente disgregación de aquel hasta la profundidad establecida en los Planos. Si dicha disgregación no hubiera sido previamente obtenida por escarificación y una mezcla uniforme de ambos materiales en una sola pasada, dicho equipo cuenta con una unidad específica para realizar estas operaciones de forma secuencial, disponiendo además de los sistemas de control y de regulación de la profundidad de mezcla y de un sistema de inyección del agua o de la lechada.

En zonas tales que, por su reducida extensión, su pendiente o su proximidad a obras de paso o de drenaje, a muros o estructuras, no permitan el empleo del equipo que normalmente se esté utilizando, se emplean los medios adecuados a cada caso, de forma que las características obtenidas no difieran de las exigidas en las demás zonas.

A 2.1.4.2 DISTRIBUCIÓN A MANO

En zonas en que, por su reducida extensión, no se justifique el empleo de maquinaria, el cemento se puede distribuir a mano. Para ello los sacos se colocan sobre el suelo, formando filas longitudinales y transversales, a una distancia adecuada unos de otros, según la dosificación que corresponda. La distancia entre las filas longitudinales es aproximadamente igual a la distancia entre las transversales. Las operaciones de distribución se suspenden en caso de viento fuerte. El cemento extendido que haya sido desplazado se reemplaza antes del mezclado.

Se acepta una dosificación en polvo en obras de menos de 70.000 m^2 o cuando sea conveniente una reducción de la humedad natural del suelo, siempre que lo autorice expresamente el Inspector Técnico de la Obra o el Profesional Responsable. En este caso y siempre que se cumplan los requisitos de la legislación ambiental, seguridad y salud, se emplean equipos con dosificación ligada a la velocidad de avance, que pueden consistir en camiones-silo o en estanques remolcados con tolvas acopladas en la parte posterior, con compuerta regulable. Si la descarga del cemento o de la cal sobre el suelo a estabilizar se realiza desde una altura superior a diez centímetros (10 cm), el dispositivo de descarga se protege con faldones cuya parte inferior diste más de diez centímetros (10 cm) de la superficie.

A 2.1.4.3 DOSIFICACIÓN

Salvo justificación en contrario, el cemento o la cal se dosifican como lechada. Si así ocurre, el equipo para su fabricación tiene un mezclador con alimentación volumétrica de agua y dosificación ponderal del conglomerante. El equipo de estabilización está provisto de un dosificador-distribuidor volumétrico de lechada, con bomba de caudal variable y dispositivo de rociado, así como de control automático programable de dosificación, que permita adecuar las dosificaciones a la fórmula de trabajo correspondiente, según la profundidad y la anchura de la capa que se vaya a estabilizar y según el avance de la máquina, con las tolerancias fijadas en las Especificaciones Técnicas Especiales.

A 2.1.4.4 COMPACTADORES

Se recomienda que:

- Todos los compactadores sean autopropulsados, tengan inversores del sentido de la marcha de acción suave y estén dotados de dispositivos para mantenerlos húmedos en caso necesario. La composición del equipo de compactación posee como mínimo un (1) compactador vibratorio de rodillo metálico y un (1) compactador de neumáticos.
- El compactador vibratorio disponga de un rodillo metálico con una carga estática sobre la generatriz, no inferior a trescientos newtons por centímetro (300 N/cm) y capaz de alcanzar una masa de al menos quince toneladas (15 t) con amplitudes y frecuencias de vibración adecuadas. El compactador de neumáticos es capaz de alcanzar una masa de al menos de veintiuna toneladas (21 t) y una carga por rueda de cinco toneladas (5 t), con una presión de inflado que pueda alcanzar al menos ocho décimas de megapascal (0,8 MPa).
- Los compactadores de rodillos metálicos no presenten surcos ni irregularidades en ellos.
- Los compactadores vibratorios tengan dispositivos automáticos para eliminar la vibración al invertir el sentido de la marcha.

- Los de neumáticos tengan ruedas lisas, en número, tamaño y configuración tales que permitan el solape de las huellas delanteras con las huellas traseras.
- El ITO o Profesional Responsable apruebe el equipo de compactación que se vaya a emplear, su composición y las características de cada uno de sus componentes, que sean las necesarias para conseguir una densidad adecuada y homogénea del suelo estabilizado en todo su espesor.
- En los lugares inaccesibles para los equipos de compactación normales, se empleen otros de tamaño y diseño adecuados para la labor que se pretenda realizar.

A 2.1.5 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

A 2.1.5.1 ESTUDIO DE LA MEZCLA Y OBTENCIÓN DE LA FÓRMULA DE TRABAJO

La estabilización de suelos en sitio con cal o con cemento, no se puede iniciar en tanto que el ITO o Profesional Responsable no haya aprobado la correspondiente fórmula de trabajo, previo estudio en laboratorio inscrito en el Minvu.

Se recomienda que:

- La dosificación mínima de conglomerante referida a la masa total de suelo seco y, en su caso, por metro cuadrado (m^2) de superficie, no sea inferior a la mínima fijada en la Tabla A 2.6.
- El contenido de humedad del suelo se determine inmediatamente antes de su mezcla con la cal o con el cemento y el de la mezcla, en el momento de su compactación.
- La resistencia a compresión simple a la misma edad, según el tipo de suelo estabilizado, cumpla lo fijado en la Tabla A 2.6.
- El plazo de trabajabilidad en el caso de las estabilizaciones con cemento, cumpla lo indicado en la Tabla A 2.7.
- Si la marcha de los trabajos lo aconsejase, el fiscalizador o profesional responsable puede modificar la fórmula de trabajo, a la vista de los resultados obtenidos de los ensayos, pero respetando la dosificación mínima de cal o de cemento, la resistencia a compresión simple a los siete días (7 d), y las demás especificaciones fijadas en este artículo para la unidad terminada. En todo caso, se estudia y aprueba otra fórmula de trabajo, de acuerdo con lo indicado en este apartado, cada vez que varíen las características del suelo a estabilizar, o de alguno de los componentes de la estabilización, o si varían las condiciones ambientales.
- La tolerancia admisible, respecto a la fórmula de trabajo del contenido de humedad del suelo estabilizado en el momento de su compactación, es de dos puntos (± 2%) respecto a la humedad óptima definida en el ensayo Proctor modificado.
- En el caso de suelos inadecuados o marginales susceptibles de hinchamiento o colapso, la humedad de la mezcla y grado de compactación más conveniente, sea objeto de estudio especial para determinar la humedad de compactación.

A 2.1.5.2 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE EXISTENTE

Si se añade suelo de aportación para corregir las características del existente, se mezclan ambos en todo el espesor de la capa que se vaya a estabilizar, antes de iniciar la distribución de la cal o del cemento. Si el suelo que se va a estabilizar fuera en su totalidad de aportación, se comprueba, antes de extenderlo, que la superficie subyacente tenga la densidad exigida y las rasantes indicadas en el Proyecto, con las tolerancias establecidas en la especificación correspondiente. Si en dicha superficie existieran irregularidades que excedan de las mencionadas tolerancias, se corrigen de acuerdo con las especificaciones de la unidad de obra correspondiente.

A 2.1.5.3 DISGREGACIÓN DEL SUELO

Cuando se estabilice el suelo de la subrasante de la calle, este se disgrega en toda la anchura de la capa que se vaya a estabilizar, y hasta la profundidad necesaria para alcanzar, una vez compactada, el espesor de estabilización señalado en los Planos.

El suelo que se vaya a estabilizar se disgrega hasta conseguir una eficacia mínima del cien por ciento (100%), referida al tamiz 25 mm de la NCh 1022, y del ochenta por ciento (80%) en estabilizaciones para obtener S-EST-3 y S-EST-2, y del sesenta por ciento (60%) en estabilizaciones S-EST-1, referida al tamiz 5 mm de la NCh 1022.

La eficacia de disgregación se define por la relación entre el tamizado en obra del material húmedo y el tamizado en laboratorio de ese mismo material desecado y desmenuzado, por el tamiz al que se refiere.

Es recomendable que el suelo disgregado no presente en ninguna circunstancia, elementos ni grumos de tamaño superior a los ochenta milímetros (80 mm). La disgregación se puede hacer en una sola etapa, pero en algunos tipos de suelos puede haber dificultades para alcanzar el grado de disgregación necesario, por exceso o por defecto de humedad, o por un índice de plasticidad elevado. En el primer caso, se corrige el grado de humedad del suelo, según el apartado A 2.1.5.4.

En los casos de estabilización con cal de suelos con índice de plasticidad elevado, en los que no se consiga la eficacia de disgregación requerida, puede ser necesario realizar la disgregación, distribución y mezcla de la cal en dos etapas, de manera que la cal añadida en la primera etapa contribuya a hacer el suelo más fiable y a conseguir el grado de finura deseado en la mezcla final. Salvo justificación en contrario, en esa primera etapa basta con que la totalidad de los grumos tengan un tamaño inferior a cincuenta milímetros (50 mm) y puede ser conveniente elevar la humedad del suelo entre dos y diez (2 a 10) puntos porcentuales por encima de la óptima de compactación.

En la mezcla inicial con cal, el material tratado se compacta ligeramente para evitar variaciones de humedad y reducir la carbonatación de la cal y se deja curar de veinticuatro a cuarenta y ocho horas (24 a 48 h). Este plazo de curado puede ser aumentado hasta siete días (7 d). Tras los 7 días (7 d), a criterio del fiscalizador técnico de las obras o profesional responsable, si el índice de plasticidad del suelo (NCh 1517/2), fuera superior a cuarenta (40), transcurrido este plazo de curado inicial se procede a la realización de la segunda etapa, en la que se llevan a cabo todas las operaciones de disgregación, corrección de humedad, distribución de cal, mezcla, compactación, terminación y curado final, de manera similar a como se prescriben para las estabilizaciones convencionales realizadas en una sola etapa.

A 2.1.5.4 HUMECTACIÓN O DESECACIÓN DEL SUELO

La humedad del suelo es tal que permite que, con el equipo que se vaya a realizar la estabilización, se consiga el grado de disgregación requerido y su mezcla con la cal o con el cemento sea total y uniforme. En el caso de ser necesaria la incorporación de agua a la mezcla para alcanzar el valor de humedad fijado por la fórmula de trabajo, se consideran las posibles evaporaciones o precipitaciones que puedan tener lugar durante la ejecución de los trabajos. Dicha incorporación se realiza, preferentemente, por el propio equipo de mezcla.

El fiscalizador o profesional responsable puede autorizar el empleo de un estanque regador independiente; en este caso, el agua se agrega uniformemente, disponiéndose los equipos necesarios para asegurar la citada uniformidad e incluso realizando un desmenuzamiento previo del suelo si fuera necesario. Es recomendable evitar que el agua escurra por las roderas dejadas por el estanque regador, o se acumule en ellas. Asimismo, no se permiten paradas del equipo mientras esté regando, con el fin de evitar la formación de zonas con exceso de humedad.

Previa aceptación del fiscalizador o profesional responsable, los suelos cohesivos se humedecen, en su caso, el día anterior al de la ejecución de la mezcla, para que la humedad sea uniforme.

En los casos en que la humedad natural del material sea excesiva, se toman las medidas adecuadas para conseguir el grado de disgregación y la compactación previstos, pudiéndose proceder a su desecación por oreo o a la adición y mezcla de materiales secos; o se puede realizar, previa autorización del fiscalizador técnico de la obra o profesional responsable, una etapa previa de disgregación y mezcla con cal para la corrección del exceso de humedad del suelo, tanto si finalmente se va a estabilizar con cal como si se va a estabilizar con cemento.

A 2.1.5.5 DISTRIBUCIÓN DE LA CAL O DEL CEMENTO

La cal o el cemento se distribuyen uniformemente, mediante equipos mecánicos con la dosificación fijada en la fórmula de trabajo, en forma de lechada y directamente en el mezclador.

Antes de iniciar el proceso en obra se purgan y ponen a punto las bombas y los dispersores de agua y de lechada, fuera del lugar de empleo, para garantizar las dotaciones establecidas en la fórmula de trabajo de manera continua y uniforme. En cada parada del equipo se realiza una limpieza de los difusores y, como mínimo, dos (2) veces al día.

El fiscalizador o profesional responsable puede autorizar la distribución de la cal o del cemento en seco en obras de menos de 70.000 m^2, o cuando sea conveniente por el exceso de humedad natural del suelo.

a. En el caso de que la dosificación se realice en seco, se coordinan adecuadamente los avances del equipo de dosificación de conglomerante y del de mezcla, no permitiéndose que haya entre ambos un desfase superior a veinte metros (20 m). La extensión se detiene cuando la velocidad del viento fuera excesiva, a juicio del fiscalizador o profesional responsable, cuando supere los diez metros por segundo (10 m/s), o cuando la emisión de polvo afecte a zonas pobladas, ganaderas, o especialmente sensibles. No puede procederse a la distribución de la cal o del cemento en seco mientras queden concentraciones superficiales de humedad.
b. Solo en zonas de reducida extensión, no accesibles a los equipos mecánicos o bien en áreas inferiores a 70.000 m^2, el ITO o Profesional Responsable puede autorizar la distribución manual. Para ello, se puede emplear sacos de cal o de cemento que se colocan sobre el suelo formando una cuadrícula de lados aproximadamente iguales, correspondientes a la dosificación aprobada. Una vez abiertos los sacos, su contenido es distribuido rápida y uniformemente mediante rastrillos manuales o rastras de púas remolcadas.

En la distribución del conglomerante se toman las medidas adecuadas para el cumplimiento de la legislación que, en materia ambiental, de seguridad laboral y de transporte y almacenamiento de materiales, estuviese vigente.

A 2.1.5.6 EJECUCIÓN DE LA MEZCLA

Inmediatamente después de la distribución del conglomerante, se procede a su mezcla con el suelo. Se obtiene una dispersión homogénea, lo que se reconoce por un color uniforme de la mezcla y la ausencia de grumos. Todo el conglomerante se mezcla con el suelo disgregado antes de haber transcurrido una hora (1 h) desde su aplicación.

El equipo de mezcla cuenta con los dispositivos necesarios para asegurar un amasado homogéneo en toda la anchura y profundidad del tratamiento. Si se detectaran segregaciones, partículas sin mezclar o diferencias de contenido de cemento, de cal o de agua en partes de la superficie estabilizada, se detiene el proceso y se realizan las oportunas correcciones hasta solucionar las deficiencias.

El material estabilizado con cemento no puede permanecer más de media hora (1/2 h) sin que se proceda al inicio de la compactación.

A 2.1.5.7 COMPACTACIÓN

En el momento de iniciar la compactación, la mezcla está disgregada en todo su espesor y se recomienda que su grado de humedad sea el correspondiente al de la humedad óptima, obtenida en forma similar a la del ensayo Proctor modificado, con las tolerancias admitidas en el apartado A 2.1.5.1.

Se compacta en una sola vez y se continúa hasta alcanzar la densidad especificada. En el caso de las estabilizaciones con cemento, el proceso completo desde la mezcla del cemento con el agua hasta la terminación de la superficie, se realiza dentro del plazo de trabajabilidad de la mezcla.

La compactación se realiza de manera continua y uniforme. Si el proceso completo de ejecución, incluida la mezcla, se realiza por franjas, al compactar una de ellas se amplía la zona de compactación para que incluya, al menos, quince centímetros (15 cm) de la anterior. Se dispone en los bordes una contención lateral adecuada.

Los rodillos llevan su rueda motriz del lado más cercano al equipo de mezcla. Los cambios de dirección de los compactadores se realizan sobre mezcla ya compactada, y los cambios de sentido se efectúan con suavidad. Los elementos de compactación se conservan siempre limpios y, si fuera preciso, húmedos.

Durante la compactación, la superficie del suelo estabilizado en sitio se conforma con motoniveladora, eliminando irregularidades, huellas o discontinuidades, para lo cual el Inspector Técnico de la Obra o Profesional Responsable puede verificar si es necesario hacer una ligera escarificación de la superficie y su posterior recompactación, previa adición del agua necesaria, que en el caso de estabilizar con cemento tiene en cuenta el plazo de trabajabilidad.

A 2.1.5.8 TERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE

Una vez terminada la compactación no se permite aumentar el espesor. Sin embargo, siempre que esté dentro del plazo de trabajabilidad de la mezcla, se puede hacer un perfilado con motoniveladora hasta conseguir la rasante y sección definidas en los Planos del proyecto, con las tolerancias establecidas en este artículo. A continuación, se procede a eliminar de la superficie todo el material suelto, por medio de barredoras mecánicas de púas no metálicas y a la recompactación posterior del área corregida.

Los materiales procedentes del perfilado son retirados a vertedero, según lo dispuesto en la legislación vigente sobre medio ambiente.

A 2.1.5.9 EJECUCIÓN DE JUNTAS

Después de haber extendido y compactado una franja, se realiza la siguiente, mientras el borde de la primera se encuentre en condiciones de ser compactado; en caso contrario, se ejecuta una junta longitudinal, lo cual se evita en la medida de lo posible.

Entre las sucesivas pasadas del equipo de estabilización se produce un solape transversal, con el fin de evitar la existencia de zonas insuficientemente tratadas o la acumulación de segregaciones. Este solape viene impuesto por las anchuras de las máquinas y de la franja a tratar y generalmente está comprendido entre quince y veinticinco centímetros (15 a 25 cm). Se recomienda que la máquina dosificadora-mezcladora tenga cerrados los difusores de cal o de cemento y de agua correspondientes a la franja de solape para evitar la producción de suelo estabilizado con dotaciones distintas de la especificada.

En estabilizaciones con cemento, se disponen juntas transversales de trabajo cuando el proceso constructivo se interrumpe más del tiempo de trabajabilidad de la mezcla. Las juntas transversales de

trabajo se efectúan disgregando el material de una zona ya tratada en la longitud suficiente, en general, no menos de un diámetro del rotor-fresador, bajando hasta la profundidad especificada sin avanzar, para que pueda regularse con precisión la incorporación de la cal o del cemento en la zona no tratada.

A 2.1.5.10 CURADO Y PROTECCIÓN SUPERFICIAL

Una vez finalizada la compactación, y siempre dentro de la misma jornada de trabajo, se aplica un riego de curado. Hasta la aplicación del riego de curado se mantiene la superficie constantemente húmeda, para lo cual se riega con la debida frecuencia, pero teniendo cuidado para que no se produzcan encharcamientos.

Cuando la capa de suelo estabilizado no constituya la coronación de la explanada, puede prescindirse del riego de curado siempre que se mantenga la superficie húmeda durante un periodo mínimo de tres a siete días (3 a 7 d) a partir de su terminación, y previa autorización del ITO o Profesional Responsable.

Si se prevé la posibilidad de heladas dentro de un plazo de siete días (7 d), a partir de la terminación, el suelo estabilizado se protege contra aquellas, siguiendo las instrucciones del ITO o del Profesional Responsable.

En los suelos estabilizados con cemento, mientras no se hayan finalizado la compactación, la terminación de la superficie y el curado final del suelo estabilizado en sitio con cemento, se prohíbe todo tipo de circulación que no sea imprescindible para dichas operaciones. Una vez ejecutado el riego de curado, no pueden circular sobre él, vehículos ligeros en los tres (3) primeros días, ni vehículos pesados en los siete primeros días (7 d), salvo con autorización expresa del fiscalizador o profesional responsable y estableciendo previamente una protección del riego de curado, mediante la extensión de una capa de árido de cobertura. Dicha protección, garantiza la integridad del riego de curado durante un período mínimo de siete días (7 d) y se barre antes de ejecutar otra unidad de obra sobre el suelo estabilizado. Se procura una distribución uniforme del tráfico de obra en toda la anchura de la vía.

En el caso de las estabilizaciones con cal y si se hubieran empleado para la compactación rodillos cuyo peso individual fuera superior a veintiuna toneladas (21 t), el fiscalizador o profesional responsable puede autorizar la puesta en obra de la siguiente capa de firme, inmediatamente después de la terminación de la superficie, prescindiendo del curado final.

En el caso de estabilizaciones con cemento, el fiscalizador o profesional responsable fija en función de los tipos, ritmos y programa de trabajo, un plazo para la extensión de la capa superior, que es el mayor posible, siempre que se impida la circulación del tráfico de obra sobre la capa estabilizada. Se recomienda que en ningún caso el plazo de extensión de las capas superiores sea inferior a siete días (7 d).

A 2.1.6 ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD TERMINADA

A 2.1.6.1 RESISTENCIA

Es preciso que la resistencia a la compresión simple no confinada del suelo estabilizado en sitio, con cal o cemento, cumpla lo especificado en la Tabla A 2-6, según el tipo de suelo y estabilización que se pretenda conseguir.

A 2.1.6.2 TERMINACIÓN, RASANTE, ANCHURA Y ESPESOR

Es preciso que:

- La superficie de la capa estabilizada terminada presente un aspecto uniforme, exenta de segregaciones y de ondulaciones y con las pendientes adecuadas.
- La rasante de la superficie terminada no supere a la teórica en ningún punto, ni quede por debajo de ella en más de treinta milímetros (30 mm), en estabilizaciones de fondos de desmonte y formación de núcleos, de lo especificado de acuerdo a su empleo.
- En todos los semiperfiles se compruebe la anchura de la capa estabilizada, que en ningún caso sea inferior, ni supere en más de diez centímetros (10 cm) a la establecida en los Planos de secciones tipo.
- El espesor de la capa no sea inferior en ningún punto al previsto para ella en los Planos de secciones tipo.

A 2.1.6.3 LIMITACIONES DE LA EJECUCIÓN

Se recomienda que, salvo autorización expresa del Inspector Técnico de Obras o Profesional Responsable, no se dé inicio de la estabilización en sitio:

a. Cuando la temperatura ambiente a la sombra sea superior a los treinta y cinco grados Celsius (35ºC).

b. Cuando la temperatura ambiente a la sombra sea inferior a cinco grados Celsius (5ºC) y exista previsión de heladas, el Inspector Técnico de la Obra o Profesional Responsable puede bajar este límite, a la vista de los resultados de compactación obtenidos.

c. Cuando se produzcan precipitaciones atmosféricas intensas.

En los casos en los que el fiscalizador o profesional responsable autorice la extensión de la cal o del cemento en seco, su distribución se interrumpe cuando la fuerza del viento sea excesiva, a juicio de aquel, teniendo siempre en cuenta las medidas necesarias para el cumplimiento de la legislación que, en materia ambiental, de seguridad laboral, de transporte y almacenamiento de materiales, esté vigente.

A 2.1.6.4 CONTROL

Las Especificaciones Técnicas Especiales fijan, para cada caso, el método de control, tamaño del lote, tipo y el número de ensayos a realizar. También se establecen los métodos rápidos de control que puedan emplearse y las condiciones básicas de empleo.

La realización de los ensayos en sitio y la toma de muestras se realiza en puntos previamente seleccionados mediante muestreo aleatorio, tanto en sentido longitudinal como transversal; de tal forma que haya al menos una toma o un ensayo por cada 100 metros lineales.

A 2.1.6.4.1 CONTROL DE PROCEDENCIA DE LOS MATERIALES

a. Cal: Se siguen las especificaciones de la NCh 2120.

b. Cemento: Se siguen las especificaciones de la NCh 147.

c. Suelo.

Antes de iniciar la estabilización, se identifica cada tipo de suelo, determinando su aptitud. El reconocimiento se realiza de la forma más representativa posible, mediante sondeos, calicatas u otros métodos de toma de muestras.

De cada tipo de suelo y sea cual fuere la cantidad que se va a estabilizar, se toman como mínimo cuatro (4) muestras, añadiéndose una (1) más por cada cinco mil metros cúbicos (5.000 m^3), o fracción, de exceso sobre veinte mil metros cúbicos (20.000 m^3) de suelo.

Sobre cada muestra se realizan los siguientes ensayos:
a. Granulometría por tamizado, según NCh 1533.

b. Límite líquido e índice de plasticidad, según las NCh 1517/1 y NCh 1517/2.

c. Contenido de materia orgánica, según ASTM C40.

d. Contenido de sulfatos solubles (expresados en SO3), según la NCh 1444.

e. Resistencia a la Compresión no Confinada a los 7 días. En el caso de estabilización con cemento, el ensayo debe ser ejecutado de acuerdo a la Norma ASTM D1633-00; mientras que si corresponde a estabilización con cal, el ensayo debe realizarse según la Norma ASTM D5102-04.

El fiscalizador técnico de la obra o profesional responsable puede ordenar la repetición de estos ensayos con nuevas muestras, así como la realización de ensayos adicionales. Se comprueba, además, la retirada de todo el material no apto y la exclusión de vetas no utilizables.

A 2.1.6.5 CONTROL DE EJECUCIÓN

Se desechan los suelos que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo admisible.

Se toma diariamente un mínimo de dos (2) muestras del suelo antes de mezclarlo con la cal o con el cemento, una por la mañana y otra por la tarde, sobre las que se determina su humedad natural, según la NCh 1515.

Se comprueba la eficacia de disgregación, pasando la disgregadora sin mezclar con el conglomerante, del orden de veinte metros (20 m), una vez al día. Se considera que se mantienen los resultados de eficacia de disgregación, mientras no cambie el tipo de suelo o el contenido de humedad de forma significativa y se mantenga la velocidad de avance y la velocidad del rotor del equipo de disgregación. La frecuencia de ensayo puede ser disminuida por el fiscalizador técnico de la obra o profesional responsable, si se observa que la eficacia de disgregación es correcta y no cambia de unos días a otros.

Al menos dos (2) veces al día (mañana y tarde), se controla el funcionamiento de las boquillas de inyección de la lechada de cal o de cemento. Asimismo, se controla diariamente el consumo efectivo de cal o de cemento con la información proporcionada por el equipo para el control del volumen de lechada añadido. En el caso de distribución en seco, se comprueba la dotación de cal o de cemento utilizada mediante el pesaje de bandejas metálicas u otros dispositivos similares colocados sobre la superficie.

Por cada lote de los definidos en el apartado A 2.1.6.6, se toman cinco (5) muestras aleatorias del suelo recién mezclado con la cal o con el cemento, sobre las que se determina la resistencia a compresión simple, según la NCh 1037 para los suelos S-EST3. Las probetas se confeccionan según un procedimiento similar al descrito, usando los procedimientos del Proctor modificado NCh 1534/2, con la densidad exigida en obra.

Por cada diez mil metros cúbicos (10.000 m^3) de suelo estabilizado en sitio con cal o con cemento, o una (1) vez a la semana si se estabiliza una cantidad menor, se realiza un ensayo de densidad de la mezcla, según la NCh 1534/2.

El fiscalizador o profesional responsable puede reducir la frecuencia de ensayos a la mitad (1/2) si considerase que los materiales son suficientemente homogéneos, o si en el control de recepción de la unidad terminada (apartado A 2.1.6.6.) se hubiera aprobado diez (10) lotes consecutivos.

Se realizan determinaciones de humedad y de densidad en emplazamientos aleatorios, con una frecuencia mínima de siete (7), por cada lote de los definidos en el apartado A 2.1.6.6. En el caso de que se empleen sondas u otros métodos rápidos de control, es preceptiva la calibración y contraste de estos equipos, con los ensayos de determinación de humedad natural, según la NCh 1515 y de densidad en sitio, según la NCh 1516.

En caso de que las densidades obtenidas fuesen inferiores a las especificadas, se prosigue el proceso de compactación hasta alcanzar los valores prescritos, lo que solo sería posible en el caso de las estabilizaciones con cemento, si se estuviera dentro del plazo de trabajabilidad.

Durante la ejecución de las obras, se comprueba con la frecuencia necesaria, a juicio del ITO o Profesional Responsable:

a. La temperatura y la humedad relativa del aire, mediante un termohigrógrafo registrador.

b. El espesor estabilizado, mediante un punzón graduado u otro procedimiento aprobado por el ITO o Profesional Responsable.

c. La humedad del suelo, mediante un procedimiento aprobado por el Inspector Técnico de las Obras o Profesional Responsable.

d. La composición y forma de actuación del equipo, utilizado en la ejecución de la estabilización, verificando:

e. Que el número y el tipo de los equipos sean los aprobados.

f. En su caso, el funcionamiento de los dispositivos de disgregación, humectación, limpieza y protección.

g. El lastre y el peso total de los compactadores.

h. La presión de inflado en los compactadores de neumáticos.

i. La frecuencia y la amplitud en los compactadores vibratorios.

j. El número de pasadas de cada equipo, especialmente de los compactadores.

k. Se realiza como mínimo un (1) control diario de la dotación de emulsión asfáltica empleada para el riego de curado o protección.

A 2.1.6.6 CONTROL DE RECEPCIÓN DE LA UNIDAD TERMINADA

Si durante la construcción apareciesen defectos localizados, como áreas blandas, estas se corrigen antes de iniciar el muestreo.

Se considera como lote de recepción, que se acepta o rechaza en bloque, al menor que resulte de aplicar los siguientes criterios, a una (1) sola capa de suelo estabilizado en sitio con cal o con cemento:

a. Doscientos metros cúbicos (200m^3).

b. La fracción construida diariamente.

c. La fracción construida con el mismo material, de la misma procedencia y con el mismo equipo y procedimiento de ejecución.

Se asignan a cada lote de recepción las probetas fabricadas durante el control de ejecución que le correspondan. En los puntos donde se realice el control de la compactación, se determina el espesor de la capa de suelo estabilizado en sitio con cal o con cemento.

Se compara la rasante de la superficie terminada con la teórica establecida en los Planos del Proyecto, en el eje, encuentros de peralte sin transición -si existieran- y bordes de perfiles transversales, cuya separación no exceda de la mitad de la distancia entre los perfiles del Proyecto. En todos los semiperfiles se comprueba la anchura de la capa.

ART. A 2.2 SUELOS DE SUBRASANTE CON ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN SITIO

A 2.2.1 DEFINICIÓN

Se define como suelo estabilizado químicamente en sitio, a la mezcla homogénea y uniforme de un suelo con algún aditivo y, eventualmente, agua con algún aditivo, en la propia subrasante, la cual convenientemente compactada, tiene por objeto disminuir la susceptibilidad al agua del suelo o aumentar su resistencia, para su uso en subrasantes.

La ejecución de un suelo estabilizado en sitio incluye las siguientes operaciones:

- Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.
- Preparación de la superficie existente.
- Disgregación del suelo.
- Humectación o desecación del suelo.
- Distribución del estabilizador y aditivo sólido.
- Ejecución de la mezcla.
- Compactación.
- Terminación de la superficie.
- Curado y protección superficial.

Según sus características finales, se establecen dos tipos de suelos estabilizados en sitio, denominados respectivamente S-EST1 y S-EST2. Pueden emplearse en subrasantes para aumentar la capacidad de soporte. Los suelos estabilizados S-EST3 se pueden emplear como bases.

Se verifica que los agentes químicos utilizados en la estabilización, cumplan con las especificaciones entregadas por el fabricante o distribuidor, así como los ensayos para evaluar las propiedades de desempeño del suelo, de acuerdo a lo establecido en la NCh 2505.

Es preciso comprobar que las tecnologías químicas tengan un impacto neutro en los suelos tratados y en el entorno de estos, mediante técnicas de “Difracción de Rayos X” y “Lixiviación”, a suelos en estado natural y tratados con el estabilizador químico, demostrando que no exista contaminación. La técnica de “Lixiviación” se puede aplicar según Norma DIN 38411-S4 y TCLP (Procedimiento de Lixiviación Característico de Toxicidad).

A 2.2.2 MATERIALES

Lo dispuesto en este artículo se ajusta a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad, salud, almacenamiento y transporte de productos de la construcción.

A 2.2.2.1 ADITIVO SÓLIDO DEL ESTABILIZADOR QUÍMICO

Su característica se fija en las Especificaciones Técnicas Especiales del estabilizador, siempre que se requieran. Sus características se verifican según el procedimiento establecido en la NCh 2505.

A 2.2.2.2 ADITIVO LÍQUIDO DEL ESTABILIZADOR QUÍMICO

Sus características se fijan en las Especificaciones Técnicas Especiales del estabilizador y se verifican, según el procedimiento establecido en la NCh 2505.

A 2.2.2.3 PROPIEDADES DE DESEMPEÑO DEL ESTABILIZADOR

La efectividad de un estabilizador químico se determina mediante ensayos realizados sobre probetas estabilizadas químicamente y sobre probetas no tratadas químicamente, de manera de comprobar si las propiedades de desempeño de las primeras mejoran con respecto a las segundas.

A 2.2.2.3.1 TRABAJABILIDAD

De acuerdo a la NCh 2505 se recomienda evaluar esta propiedad mediante uno o más de los ensayos indicados en Tabla A 2.8.

TABLA A 2.8
TRABAJABILIDAD-MÉTODOS DE ENSAYO

PROPIEDAD	MÉTODO DE ENSAYO
DENSIDAD MÁXIMA EN LABORATORIO (1)	
Relación Humedad / Densidad (ensayo proctor normal)	NCh 1534-1 (2)
Relación Humedad / Densidad (ensayo proctor modificado)	NCh 1534-2 (2)
Densidad máxima y mínima de suelos no cohesivos	NCh 1726
DENSIDAD MÁXIMA ENTRE TERRENO (1)	
Densidad en terreno (método cono de arena)	NCh 1516 (3)
Humedad	NCh 1515 (4)
Densidad por métodos nucleares	ASTM D 2922 (5)
Humedad por métodos nucleares	ASTM D 3017
Fuente: Norma Chilena 2505	

(1) Queda a criterio del proyectista determinar qué valor mínimo de incremento en el nivel de compactación se puede considerar satisfactorio.
(2) Para suelos con partículas de tamaño superior a 3/4 y hasta un 30% de partículas retenidas en el tamiz, se debe realizar una corrección de los pesos unitarios y humedades de acuerdo a ASTM D 4914.
(3) Si se tienen partículas con tamaño máximo superior a 2”, se deben usar aparatos con mayores dimensiones y perforaciones de mayor volumen, tal como se indica en ASTM D 4914.
(4) Se deben considerar las cantidades mínimas de muestra, que permitan obtener resultados representativos, de acuerdo a lo indicado en ASTM D 2216.
(5) Para ensayos con retrodispersión el volumen de suelo a ensayar es del orden de 2.800 cm^3, y para ensayos con transmisión directa, del orden de 5.700 cm^3. Esto se debe tomar en cuenta al ensayar suelos cuyas partículas tengan un tamaño máximo no representativo de la masa del suelo.

A 2.2.2.3.2 CAPACIDAD DE SOPORTE

De acuerdo a la NCh 2505, se recomienda evaluar esta propiedad mediante uno o más de los ensayos indicados en Tabla A 2.9.

TABLA A 2.9
CAPACIDAD DE SOPORTE-MÉTODOS DE ENSAYO

PROPIEDAD	MÉTODO DE ENSAYO
En suelos finos	
Efectividad en suelos finos	ASTM D 4669
Resistencia a la compresión no confinada	ASTM D 2166 (1)
Compresión triaxial consolidado	ASTM D 4767

TABLA A 2.9 (continuación)
CAPACIDAD DE SOPORTE-MÉTODOS DE ENSAYO

PROPIEDAD	MÉTODO DE ENSAYO
Placa de carga [2]	
- Carga estática repetitiva	ASTM D 1195
- Carga estática no repetitiva	ASTM D 1196
Módulo resiliente	AASHTO T-294
Deflectometría de impacto	ASTM D 4694
Valor de impacto	ASTM D 5874
En suelo no granulares	
Resistencia a la compresión no confinada	ASTM D 2166 [1]
	ASTM D 5102
Placa de carga [2]	
- Carga estática repetitiva	ASTM D 1195
- Carga estática no repetitiva	ASTM D 1196
Módulo resiliente	AASHTO T-294
Deflectometría de impacto	ASTM D 4694
Fuente: Norma Chilena 2505	

A 2.2.2.4 SUELO

A 2.2.2.4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Los materiales que se vayan a estabilizar, son suelos de la subrasante u otros materiales locales que no contengan, en ningún caso, materia orgánica, sulfatos, sulfuros, fosfatos, nitratos, cloruros u otros compuestos químicos en cantidades perjudiciales (en especial para el fraguado).

A 2.2.2.4.2 GRANULOMETRÍA

Se recomienda que los suelos que se vayan a estabilizar cumplan, con lo indicado en la A Tabla 2.10.

TABLA A 2.10
GRANULOMETRÍA DEL SUELO

TIPO DE SUELO ESTABILIZADO	Abertura de los tamices (mm)		
	80	2	0,08
	% que pasa (en masa)	% que pasa (en masa)	% que pasa (en masa)
S-EST1 y S-EST2	100	-	> 15
S-EST3		≥ 20	≤ 35

A 2.2.2.4.3 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

Previo a la evaluación de las propiedades de desempeño del suelo, se determinan las características del mismo, según lo indicado en Tabla A 2.11.

TABLA A 2.11
CARACTERÍSTICAS DEL SUELO-MÉTODOS DE ENSAYO

PROPIEDADES	MÉTODO DE ENSAYO
Tamaño de partículas	ASTM D 422
Limites de consistencias:	
- Límite líquido	NCh 1517-1
- Límite plástico	NCh 1517-2
- Limite de contracción	NCh 1517-3
Clasificación de suelos	ASTM D 2487

A 2.2.2.4.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA

Se recomienda que los suelos que se vayan a estabilizar cumplan lo indicado en la Tabla A 2.12.

TABLA A 2.12
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL SUELO

CARACTERÍSTICAS	NORMA	TIPO DE SUELO ESTABILIZADO		
		S-EST1	S-EST2	S-EST3
Materia Orgánica (MO) (% en masa)	ASTM C40 Of. 04	< 2	< 1	
Sulfatos Solubles (SO_3) (% en masa)	NCH 1444	< 1		

A 2.2.2.4.5 PLASTICIDAD

Se recomienda que los suelos que se vayan a estabilizar cumplan lo indicado en la Tabla A 2.13.

TABLA A 2.13
PLASTICIDAD DEL SUELO

TIPO DE SUELO ESTABILIZADO	ÍNDICE DE ESTABILIDAD (IP) (NCh. 1517)
S-EST1	≥ 12
S-EST2	≥ 12 y ≤ 40

Para índice de plasticidad superior a cuarenta (40), las Especificaciones Técnicas Especiales entregan el procedimiento.

A 2.2.2.5 AGUA

Se requiere que el agua cumpla lo estipulado en la NCh 1498.

A 2.2.3 TIPO Y COMPOSICIÓN DEL SUELO ESTABILIZADO

A 2.2.3.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ESPECIALES

Esta define el tipo y la composición del suelo estabilizado, el contenido del estabilizador químico y de aditivo sólido.

Se recomienda que la capacidad de soporte, densidad y resistencia a la compresión no confinada, cumplan lo indicado en la Tabla A 2.14.

TABLA A 2.14
PLASTICIDAD DEL SUELO

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	NORMA	TIPO DE SUELO ESTABILIZADO		
			S-EST1	S-EST2	S-EST3
Compresión simple a 7 días	Mpa	NCh 1037	-	-	≥ 1,5; ≤ 4,5

A 2.2.3.2 ALTERACIÓN
Es preciso que los suelos estabilizados no sean susceptibles de ningún tipo de meteorización o de alteración física o química apreciables, bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en el lugar de empleo. Tampoco pueden dar origen, con el agua, a disoluciones que causen daños a estructuras o a otras capas del firme, o contaminar los suelos o corrientes de agua.

A 2.2.3.3 PROBETAS
En el caso de los suelos estabilizados químicamente, para la fabricación de las probetas (similares a las empleadas para la realización del ensayo Proctor modificado, según la NCh 1534/2), entre la mezcla del suelo con estabilizador y la compactación, transcurre un tiempo semejante al previsto entre esas mismas operaciones en el proceso de ejecución de las obras.

A 2.2.3.4 TRABAJABILIDAD
Es recomendable que el suelo estabilizado en sitio tenga un plazo de trabajabilidad tal, que permita completar la compactación de una franja antes de que haya finalizado dicho plazo en la franja adyacente estabilizada previamente, el que se fija en las Especificaciones Técnicas Especiales.

A 2.2.4 EQUIPO NECESARIO PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS
Se recomienda dar cumplimiento a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad, salud y transporte, en lo referente a los equipos empleados en la ejecución de las obras.

A 2.2.4.1 EQUIPOS
Se recomienda no emplear en la ejecución de los suelos estabilizados en sitio, algún equipo que no haya sido previamente aprobado por el fiscalizador o el profesional responsable.

Se recomienda que:

- Para la ejecución de los suelos estabilizados en sitio se empleen equipos mecánicos. Estos pueden ser equipos independientes que realicen por separado las operaciones de disgregación, distribución del estabilizador y su aditivo, humectación, mezcla y compactación, o bien equipos que realicen dos o más de estas operaciones, excepto la compactación, de forma simultánea.
- La mezcla en sitio del suelo con el estabilizador se realice mediante equipos autopropulsados que permitan una suficiente disgregación de aquel, hasta la profundidad establecida en los Planos, si dicha disgregación no hubiera sido previamente obtenida por escarificación y una mezcla uniforme de ambos materiales en una sola pasada. Además, es aconsejable que dicho equipo cuente con una unidad específica para realizar estas operaciones de forma secuencial y disponga además de los sistemas de control y de regulación de la profundidad de mezcla y de un sistema de inyección del agua o de la lechada.
- En zonas tales que, por su reducida extensión, su pendiente o su proximidad a obras de paso o de drenaje, a muros o estructuras, no permitan el empleo del equipo que normalmente se esté utilizando, se empleen los medios adecuados a cada caso, de forma que las características obtenidas no difieran de las exigidas en las demás zonas.

A 2.2.4.2 DISTRIBUCIÓN A MANO
Se recomienda que:

- En zonas en que, por su reducida extensión, no se justifique el empleo de maquinaria, el aditivo sólido pueda distribuirse a mano. Para ello los sacos se colocan sobre el suelo, formando filas longitudinales y transversales, a una distancia adecuada unos de otros, según la dosificación que corresponda. La distancia entre las filas longitudinales es aproximadamente igual a la distancia entre las transversales Las operaciones de distribución se suspenden en caso de viento fuerte. El aditivo sólido extendido que haya sido desplazado, se reemplaza antes del mezclado.
- Se pueda dosificar en polvo en obras pequeñas, de menos de 70.000 m^2 o cuando sea conveniente una reducción de la humedad natural del suelo, siempre que lo autorice expresamente el Inspector Técnico de la Obra o el Profesional Responsable; en este caso, y siempre que se cumplan los requisitos de la legislación ambiental, de seguridad y salud, se emplean equipos con dosificación ligada a la velocidad de avance, que pueden consistir en camiones-silo o en estanques remolcados con tolvas acopladas en la parte posterior con compuerta regulable. Si la descarga del aditivo sobre el suelo a estabilizar se realiza desde una altura superior a diez centímetros (10 cm), el dispositivo de descarga se protege con faldones cuya parte inferior no diste más de diez centímetros (10 cm) de la superficie.

A 2.2.4.3 DOSIFICACIÓN COMO LECHADA
Se recomienda que:

- Salvo justificación en contrario, aditivo sólido y líquido se dosifiquen como lechada y que el equipo necesario para su fabricación tenga un mezclador con alimentación volumétrica de agua y dosificación ponderal del conglomerante.
- El equipo de estabilización esté provisto de un dosificador-distribuidor volumétrico de lechada, con bomba de caudal variable y dispositivo de rociado, así como de control automático programable de dosificación, que permita adecuar las dosificaciones a la fórmula de trabajo correspondiente, según la profundidad y la anchura de la capa que se vaya a estabilizar, y según el avance de la máquina, con las tolerancias fijadas en las Especificaciones Técnicas.

A 2.2.4.4 COMPACTADORES
Se recomienda que:

- Todos los compactadores sean autopropulsados, tengan inversores del sentido de la marcha de acción suave y estén dotados de dispositivos para mantenerlos húmedos en caso necesario.
- El equipo de compactación esté compuesto como mínimo de un (1) compactador vibratorio de rodillo metálico y de un (1) compactador de neumáticos.
- El compactador vibratorio disponga de un rodillo metálico con una carga estática sobre la generatriz no inferior a trescientos Newtons por centímetro (300 N/cm) y capaz de alcanzar una masa de al menos quince toneladas (15 t) con amplitudes y frecuencias de vibración adecuadas. El compactador de neumáticos sea capaz de alcanzar una masa de al menos de veintiuna toneladas (21 t), con una presión de inflado que pueda alcanzar al menos ocho décimas de Mega Pascal (0,8 MPa).
- Los compactadores de rodillos metálicos no presenten surcos ni irregularidades en ellos.
- Los compactadores vibratorios tengan dispositivos automáticos para eliminar la vibración al invertir el sentido de la marcha.
- Los de neumáticos tengan ruedas lisas, en número, tamaño y configuración tales que permitan el solape de las huellas delanteras con las huellas traseras.

- El fiscalizador o el profesional responsable apruebe el equipo de compactación que se vaya a emplear, su composición y las características de cada uno de sus componentes, que sean las necesarias para conseguir una densidad adecuada y homogénea del suelo estabilizado en todo su espesor, sin producir arrollamientos.
- En los lugares inaccesibles para los equipos de compactación normales, se empleen otros de tamaño y diseño adecuados para la labor que se pretenda realizar.

A 2.2.5 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

A 2.2.5.1 ESTUDIO DE LA MEZCLA Y OBTENCIÓN DE LA FÓRMULA DE TRABAJO

Se recomienda que:

- La estabilización de suelos en terreno no se inicie, en tanto que el fiscalizador o el profesional responsable no haya aprobado la correspondiente fórmula de trabajo, previo estudio en laboratorio inscrito en el Minvu.
- Se determine el contenido de humedad del suelo, según la NCh 1515, inmediatamente antes de su mezcla con el aditivo sólido y líquido, y el agua en el momento de su compactación.
- La resistencia a compresión simple se debe verificar a los 7 días de acuerdo a la norma ASTM D 2166, según el tipo de suelo estabilizado, cuyos valores cumplan lo fijado en la Tabla A 2.14.
- El plazo de trabajabilidad, en el caso de las estabilizaciones químicas, sea el fijado por la Especificación Técnica Especial.
- Si la marcha de los trabajos lo aconsejase, el fiscalizador o el profesional responsable puede modificar la fórmula de trabajo, con la Asesoría Técnica del fabricante del estabilizador, a la vista de los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión simple a los siete días (7 d) y las demás especificaciones fijadas en este artículo para la unidad terminada.
- En todo caso, se estudie y apruebe otra fórmula de trabajo, de acuerdo con lo indicado en este apartado, cada vez que varíen las características del suelo a estabilizar, o de alguno de los componentes de la estabilización, o si varían las condiciones ambientales.
- La tolerancia admisible, respecto a la fórmula de trabajo, del contenido de humedad del suelo estabilizado en el momento de su compactación, sea de dos puntos (± 2%) respecto a la humedad óptima definida.
- En el caso de suelos inadecuados o marginales susceptibles de hinchamiento o colapso, la humedad de la mezcla y compactación más conveniente sean objeto de estudio especial para determinar la humedad de compactación.

A 2.2.5.2 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE EXISTENTE

Se recomienda que:

- Si se añade suelo de aportación para corregir las características del existente, se mezclen ambos en todo el espesor de la capa que se vaya a estabilizar, antes de iniciar la distribución del estabilizador y sus aditivos.
- Si el suelo que se va a estabilizar fuera en su totalidad de aportación, se compruebe, antes de extenderlo, que la superficie subyacente tenga la densidad exigida y las rasantes indicadas en los Planos, con las tolerancias establecidas en la especificación correspondiente. Si en dicha superficie existieran irregularidades que excedan de las mencionadas tolerancias, se corrigen de acuerdo al proyecto.

A 2.2.5.3 DISGREGACIÓN DEL SUELO

Se recomienda que:

- Cuando se estabilice el suelo de la subrasante, este se disgregue en toda la anchura de la capa que se vaya a estabilizar, y hasta la profundidad necesaria para alcanzar, una vez compactada, el espesor de estabilización señalado en los Planos.
- El suelo que se vaya a estabilizar se disgregue hasta conseguir una eficacia mínima del cien por ciento (100%), referida al tamiz 25 mm de la NCh 1533, del ochenta por ciento (80%) en estabilizaciones para obtener SEST-3 y SEST-2 y del sesenta por ciento (60%) en estabilizaciones SEST-1, referida al tamiz 5 mm de la NCh 1533. La eficacia de disgregación se define por la relación entre el cernido en obra del material húmedo y el cernido en laboratorio de ese mismo material desecado y desmenuzado, por el tamiz al que se refiere.
- El suelo disgregado no presente en ninguna circunstancia elementos ni grumos de tamaño superior a los ochenta milímetros (80 mm). La disgregación se puede hacer en una sola etapa, pero en algunos tipos de suelos puede haber dificultades para alcanzar el grado de disgregación necesario, por exceso o por defecto de humedad, o por un índice de plasticidad elevado. En el primer caso, se corrige el grado de humedad del suelo, según lo indicado en el apartado A 2.1.5.4.
- En los casos de estabilización de suelos con índice de plasticidad elevado, en los que no se consiga la eficacia de disgregación requerida, se realice la disgregación, distribución y mezcla del estabilizador en dos etapas, de manera que el estabilizador añadido en la primera etapa contribuya a hacer el suelo más fiable y a conseguir el grado de finura deseado en la mezcla final. Salvo justificación en contrario, en esa primera etapa basta con que la totalidad de los grumos tengan un tamaño inferior a cincuenta milímetros (50 mm) y puede ser conveniente elevar la humedad del suelo entre dos y diez (2 y 10) puntos porcentuales por encima de la óptima de compactación.

A 2.2.5.4 HUMECTACIÓN O DESECACIÓN DEL SUELO

Se recomienda que:

- La humedad del suelo sea tal que permita que, con el equipo que se vaya a realizar la estabilización, se consiga el grado de disgregación requerido y su mezcla con el estabilizador y su aditivo sea total y uniforme.
- En el caso de ser necesaria la incorporación de agua a la mezcla para alcanzar el valor de humedad fijado por la fórmula de trabajo, se tenga en cuenta las posibles evaporaciones o precipitaciones que puedan tener lugar durante la ejecución de los trabajos y que dicha incorporación se realice, preferentemente, por el propio equipo de mezcla.
- El fiscalizador o profesional responsable autorice el empleo de un estanque regador independiente; en este caso, el agua se agrega uniformemente, disponiéndose los equipos necesarios para asegurar la citada uniformidad, e incluso, realizando un desmenuzamiento previo del suelo, si fuera necesario. Así se evita que el agua escurra por las huellas dejadas por el estanque regador o se acumule en ellas.
- Asimismo, no se permitan paradas del equipo mientras esté regando, con el fin de evitar la formación de zonas con exceso de humedad.
- Previa aceptación del fiscalizador o el profesional responsable, los suelos cohesivos se humedezcan, en su caso, el día anterior al de la ejecución de la mezcla, para que la humedad sea uniforme.
- En los casos en que la humedad natural del material sea excesiva, se tomen las medidas adecuadas para conseguir el grado de disgregación y la compactación previstos, pudiéndose proceder a su desecación por aireación, o a la adición y mezcla de materiales secos; o se pueda realizar, previa autorización del fiscalizador o el profesional responsable, una etapa previa de disgregación y mezcla con cal, para la corrección del exceso de humedad del suelo.

A 2.2.5.5 DISTRIBUCIÓN DEL ESTABILIZADOR

Se recomienda que:

- El estabilizador y sus aditivos se distribuyan uniformemente mediante equipos mecánicos con la dosificación fijada en la fórmula de trabajo, en forma de lechada y directamente en el mezclador.
- Antes de iniciar el proceso en obra, se purguen y coloquen a punto las bombas y los dispersores de agua y de lechada, fuera del lugar de empleo, para garantizar las dotaciones establecidas en la fórmula de trabajo de manera continua y uniforme. En cada parada del equipo se realiza una limpieza de los difusores, como mínimo, dos (2) veces al día.
- El fiscalizador o profesional responsable autorice la distribución del aditivo sólido en seco en obras pequeñas (menos de 70.000 m^2) o cuando sea conveniente por el exceso de humedad natural del suelo.

  a. En el caso de que la dosificación se realice en seco, se coordinen adecuadamente los avances del equipo de dosificación de conglomerante y del de mezcla, no permitiéndose que haya entre ambos un desfase superior a veinte metros (20 m). La extensión se detiene cuando la velocidad del viento fuera excesiva a juicio del fiscalizador o profesional responsable, cuando supere los diez metros por segundo (10 m/s), o cuando la emisión de polvo afecte a zonas pobladas, ganaderas, o especialmente sensibles.

  b. No se proceda a la distribución del aditivo sólido en seco, mientras queden concentraciones superficiales de humedad.

  c. Solo en zonas de reducida extensión, no accesibles a los equipos mecánicos, o bien en áreas inferiores a 70.000 m^2, el fiscalizador o profesional responsable autorice la distribución manual. Para ello, se emplean sacos de aditivo sólido que se colocan sobre el suelo formando una cuadrícula de lados aproximadamente iguales, correspondientes a la dosificación aprobada. Una vez abiertos los sacos, su contenido se distribuye rápida y uniformemente mediante rastrillos manuales o rastras de púas remolcadas. El aditivo líquido puede disolverse y distribuirse con el agua.

En la distribución del conglomerante se tomen las medidas adecuadas para el cumplimiento de la legislación que, en materia ambiental, de seguridad laboral y de transporte y almacenamiento de materiales, estuviese vigente.

A 2.2.5.6 EJECUCIÓN DE LA MEZCLA

Se recomienda que:

- Inmediatamente después de la distribución del conglomerante, se proceda a su mezcla con el suelo y se obtenga una dispersión homogénea, lo que se reconoce por un color uniforme de la mezcla y la ausencia de grumos.
- Todo el conglomerante se mezcle con el suelo disgregado antes de haber transcurrido una hora (1 h) desde su aplicación.
- El equipo de mezcla cuente con los dispositivos necesarios para asegurar un amasado homogéneo en toda la anchura y profundidad del tratamiento.
- Si se detectan segregaciones, partículas sin mezclar, o diferencias de contenido de aditivo o de agua, se detenga el proceso y se realicen las oportunas correcciones hasta solucionar las deficiencias.

A 2.2.5.7 COMPACTACIÓN

Se recomienda que:

- En el momento de iniciar la compactación, la mezcla esté disgregada en todo su espesor y su grado de humedad sea el correspondiente al de la humedad óptima, con las tolerancias admitidas en el apartado A 2.1.5.1.
- Se compacte en una vez y se continúe hasta alcanzar la densidad especificada.
- La compactación se realice de manera continua y uniforme. Si el proceso completo de ejecución, incluida la mezcla, se realiza por franjas, al compactar una de ellas se amplía la zona de compactación para que incluya, al menos, quince centímetros (15 cm) de la anterior o se disponga en los bordes una contención lateral adecuada.
- Los rodillos lleven su rueda motriz del lado más cercano al equipo de mezcla. Los cambios de dirección de los compactadores se realizan sobre mezcla ya compactada, y los cambios de sentido se efectúan con suavidad.
- Los elementos de compactación estén siempre limpios y, si fuera preciso, húmedos.
- Durante la compactación, la superficie del suelo estabilizado en sitio se conforme mediante perfilado con motoniveladora, eliminando irregularidades, huellas o discontinuidades, para lo cual el fiscalizador o profesional responsable puede aprobar la realización de una ligera escarificación de la superficie y su posterior recompactación, previa adición del agua necesaria, que en el caso de estabilizar con estabilizador químico, tiene en cuenta el plazo de trabajabilidad.

A 2.2.5.8 TERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE

Se recomienda que:

- Una vez terminada la compactación, no se permita el aumento de espesor. Sin embargo, para el suelo estabilizado químicamente, siempre que esté dentro del plazo de trabajabilidad de la mezcla, se puede hacer un perfilado con motoniveladora hasta conseguir la rasante y sección definidas en los Planos de proyecto, con las tolerancias establecidas en este artículo. A continuación, se procede a eliminar de la superficie todo el material suelto, por medio de barredoras mecánicas de púas no metálicas, y a la recompactación posterior del área corregida.
- Los materiales procedentes del perfilado, se retiren a vertedero, según lo dispuesto en la legislación vigente sobre medioambiente.

A 2.2.5.9 EJECUCIÓN DE JUNTAS

Se recomienda que:

- Después de haber extendido y compactado una franja, se realice la siguiente mientras el borde de la primera se encuentre en condiciones de ser compactado; en caso contrario, se ejecuta una junta longitudinal, lo cual se evita en la medida de lo posible.
- Entre las sucesivas pasadas del equipo de estabilización, se produzca un solape transversal, con el fin de evitar la existencia de zonas insuficientemente tratadas o la acumulación de segregaciones.
- Este solape venga impuesto por las anchuras de las máquinas y de la franja a tratar, que generalmente está comprendido entre quince y veinticinco centímetros (15 a 25 cm). La máquina dosificadora-mezcladora tenga cerrados los difusores de aditivo y de agua correspondientes a la franja de solape, para evitar la producción de suelo estabilizado con dotaciones distintas de la especificada.
- En estabilizaciones con aditivos, se dispongan juntas transversales de trabajo donde el proceso constructivo se interrumpe más del tiempo de trabajabilidad de la mezcla.

- Las juntas transversales de trabajo se efectúen disgregando el material de una zona ya tratada en la longitud suficiente, en general no menos de un diámetro del rotor-fresador, bajando hasta la profundidad especificada sin avanzar, para que pueda regularse con precisión la incorporación del agente en la zona no tratada.

A 2.2.5.10 CURADO Y PROTECCIÓN SUPERFICIAL

Se recomienda que:

- Una vez finalizada la compactación y siempre dentro de la misma jornada de trabajo, se aplique un riego de curado. Hasta la aplicación de dicho riego, se mantiene la superficie constantemente húmeda, para lo cual se riega con la debida frecuencia, pero teniendo cuidado para que no se produzcan encharcamientos. Puede prescindirse del riego de curado siempre que se mantenga la superficie húmeda durante un periodo mínimo de tres a siete días (3 a 7 d) a partir de su terminación, y previa autorización del fiscalizador o profesional responsable.
- Si se prevé la posibilidad de heladas dentro de un plazo de siete días (7 d) a partir de la terminación, el suelo estabilizado se proteja contra aquellas, siguiendo las instrucciones del fiscalizador o profesional responsable.
- En los suelos estabilizados, mientras no se haya finalizado la compactación, la terminación de la superficie y el curado final del suelo estabilizado, se prohíba todo tipo de circulación que no sea imprescindible para dichas operaciones. Una vez ejecutado el riego de curado, no pueden circular sobre él vehículos ligeros en los tres (3) primeros días, ni vehículos pesados en los siete primeros días (7 d), salvo con autorización expresa del fiscalizador o profesional responsable y estableciendo previamente una protección del riego de curado, mediante la extensión de una capa de árido de cobertura. Dicha protección, que garantiza la integridad del riego de curado durante un periodo mínimo de siete días (7 d), se barre antes de ejecutar otra unidad de obra sobre el suelo estabilizado.
- Se procure una distribución uniforme del tráfico de obra en toda la anchura de la traza.
- El fiscalizador o profesional responsable fije en función de los tipos, ritmos y programa de trabajo, el plazo para la extensión de la capa superior, de manera que sea el mayor posible, siempre que se impida la circulación del tráfico de obra sobre la capa estabilizada.

A 2.2.6 ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD TERMINADA

A 2.2.6.1 RESISTENCIA

Es preciso que la resistencia a la compresión simple del suelo estabilizado, cumpla lo especificado en la Tabla A 2.14, según el tipo de suelo y estabilización que se pretenda conseguir.

A 2.2.6.2 TERMINACIÓN, RASANTE, ANCHURA Y ESPESOR

Es preciso que:

- La superficie de la capa estabilizada terminada, presente un aspecto uniforme, exenta de segregaciones y de ondulaciones, y con las pendientes adecuadas.
- La rasante de la superficie terminada no supere a la teórica en ningún punto, ni quede por debajo de ella, en más de treinta milímetros (30 mm).
- En todos los semiperfiles se compruebe la anchura de la capa estabilizada y que en ningún caso sea inferior, ni superior en más de diez centímetros (10 cm), a la establecida en los Planos de secciones tipo.
- El espesor de la capa no sea inferior en ningún punto, al previsto para ella en los Planos de secciones tipo.

A 2.2.6.3 LIMITACIONES DE LA EJECUCIÓN

Salvo autorización expresa del fiscalizador técnico de obras o profesional responsable, no se permite la ejecución de la estabilización en sitio, cuando:

a. La temperatura ambiente a la sombra sea superior a los treinta y cinco grados Celsius (35ºC).

b. La temperatura ambiente a la sombra sea inferior a cinco grados Celsius (5ºC) y exista previsión de heladas. El fiscalizador o profesional responsable puede bajar este límite, a la vista de los resultados de compactación obtenidos.

c. Se produzcan precipitaciones atmosféricas intensas.

En los casos en los que el fiscalizador o profesional responsable autorice la extensión de aditivo en seco, su distribución se interrumpe cuando la fuerza del viento sea excesiva, a juicio de aquel, teniendo siempre en cuenta las medidas necesarias para el cumplimiento de la legislación que, en materia ambiental, de seguridad laboral y de transporte y almacenamiento de materiales, estén vigentes.

A 2.2.6.4 CONTROL

Se recomienda que las Especificaciones Técnicas Especiales fijen, para cada caso, el método de control, tamaño del lote y el tipo y número de ensayos a realizar. También se establecen los métodos rápidos de control que pueden emplearse y las condiciones básicas de empleo.

La realización de los ensayos en sitio y la toma de muestras, se realizan en puntos previamente seleccionados mediante muestreo aleatorio, tanto en sentido longitudinal como transversal; de tal forma que haya al menos una toma o un ensayo por cada 100 metros lineales.

A 2.2.6.4.1 CONTROL DE PROCEDENCIA DE LOS MATERIALES

a. Estabilizador Químico

Es de exclusiva responsabilidad del fabricante y sus características quedan establecidas de acuerdo a la NCh 2505: “Estabilización química de suelos - Caracterización del producto y evaluación de propiedades de desempeño del suelo”.

b. Aditivos Sólidos

Es de exclusiva responsabilidad del fabricante.

c. Suelo

Antes de iniciar la estabilización, se identifica cada tipo de suelo, determinando su aptitud. El reconocimiento se realiza de la forma más representativa posible, mediante sondeos, calicatas u otros métodos de toma de muestras.

De cada tipo de suelo, y sea cual fuere la cantidad que se va a estabilizar, se toman como mínimo cuatro (4) muestras, añadiéndose una (1) más por cada cinco mil metros cúbicos (5.000 m^3), o fracción, de exceso sobre veinte mil metros cúbicos (20.000 m^3) de suelo.

Sobre cada muestra se realizan los siguientes ensayos:

a. Granulometría por tamizado, según la NCh 1533.

b. Límite líquido e índice de plasticidad, según las NCh 15717/1 y NCh 1571/2, respectivamente.

c. Contenido de materia orgánica, según la ASTM C40.

d. Contenido de sulfatos solubles (expresados en SO3), según la NCh 1498.

El fiscalizador o profesional responsable puede ordenar la repetición de estos ensayos con nuevas muestras, así como la realización de ensayos adicionales.

A 2.2.6.4.2 CONTROL DE EJECUCIÓN

Se recomienda que:

- Se desechen los suelos que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo admisible.
- Se tome diariamente un mínimo de dos (2) muestras del suelo antes de mezclarlo con el estabilizador, una por la mañana y otra por la tarde, sobre las que se determine su humedad natural, según la NCh 1515.
- Se compruebe la eficacia de disgregación, pasando la disgregadora sin mezclar con el conglomerante, del orden de veinte metros (20 m), una vez al día. Se considera que se mantienen los resultados de eficacia de disgregación, mientras no cambie el tipo de suelo o el contenido de humedad de forma significativa y se mantenga la velocidad de avance y la velocidad del rotor del equipo de disgregación.
- La frecuencia de ensayo sea disminuida por el fiscalizador o profesional responsable, si se observa que la eficacia de disgregación es correcta y no cambia de unos días a otros.
- Al menos dos (2) veces al día (mañana y tarde), se controle el funcionamiento de las boquillas de inyección de la lechada del estabilizador.
- Asimismo, se controle diariamente el consumo efectivo de estabilizador, con la información proporcionada por el equipo para el control del volumen de lechada añadido.
- En el caso de distribución en seco, se compruebe la dotación del aditivo químico utilizada, mediante el pesaje de bandejas metálicas u otros dispositivos similares colocados sobre la superficie.
- Por cada lote de los definidos en el apartado A 2.1.6.6, se tomen cinco (5) muestras aleatorias del suelo recién mezclado con el estabilizador, sobre las que se determine la resistencia a compresión simple, según la NCh 1037 para los suelos S-EST3. Las probetas se confeccionan según el procedimiento descrito en la NCh 1534/2, con la densidad exigida en obra.
- Por cada diez mil metros cúbicos (10.000 m^3) de suelo estabilizado en sitio con estabilizador químico, o una (1) vez a la semana si se estabiliza una cantidad menor, se realice un ensayo.
- El ITO o Profesional Responsable reduzca la frecuencia de ensayos a la mitad (1/2), si considerase que los materiales son suficientemente homogéneos, o si en el control de recepción de la unidad terminada se hubieran aprobado diez (10) lotes consecutivos.
- Se realicen determinaciones de humedad y de densidad en emplazamientos aleatorios, con una frecuencia mínima de siete (7) por cada lote. En el caso de que se empleen otros métodos rápidos de control, estos son convenientemente contrastados y calibrados en la realización del tramo de prueba, con los ensayos de determinación de humedad natural, según la NCh 1515 y de densidad en sitio según la NCh 1516. En caso de que las densidades obtenidas fuesen inferiores a las especificadas, se prosigue el proceso de compactación hasta alcanzar los valores prescritos, lo que solo es posible si se está dentro del plazo de trabajabilidad del aditivo.

Durante la ejecución de las obras se compruebe con la frecuencia necesaria:

a. La temperatura y la humedad relativa del aire, mediante un termohigrógrafo registrador.

b. El espesor estabilizado, mediante un punzón graduado u otro procedimiento aprobado por el fiscalizador o profesional responsable.

c. La humedad del suelo, mediante un procedimiento aprobado por el fiscalizador o profesional responsable.

d. La composición y forma de actuación del equipo utilizado en la ejecución de la estabilización, verificando:

- Que el número y el tipo de los equipos sean los aprobados.
- En su caso, el funcionamiento de los dispositivos de disgregación, humectación, limpieza y protección.
- El lastre y el peso total de los compactadores.
- La presión de inflado en los compactadores de neumáticos.
- La frecuencia y la amplitud en los compactadores vibratorios.
- El número de pasadas de cada equipo, especialmente de los compactadores.
- Se realiza como mínimo, un (1) control diario de la dotación de emulsión asfáltica empleada para el riego de curado o protección.

A 2.2.6.5 CONTROL DE RECEPCIÓN DE LA UNIDAD TERMINADA

Si durante la construcción apareciesen defectos localizados, tales como blandones, se corrigen antes de iniciar el muestreo.

Se considera como lote de recepción, que se acepta o rechaza en bloque, al menor que resulte de aplicar los criterios siguientes, a una (1) sola capa de suelo estabilizado en sitio con estabilizador químico:

a. Doscientos metros cúbicos (200 m^3).

b. La fracción construida diariamente. Se construye con el mismo material, de la misma procedencia y con el mismo equipo y procedimiento de ejecución.

Se asignan a cada lote de recepción las probetas fabricadas durante el control de ejecución que le correspondan. En los puntos donde se realice el control de la compactación, se determina el espesor de la capa de suelo estabilizado.

Se compara la rasante de la superficie terminada con la teórica establecida en los Planos del Proyecto, en el eje, quiebros de peralte si existieran, y bordes de perfiles transversales, cuya separación no exceda de la mitad de la distancia entre los perfiles del proyecto. En todos los semiperfiles se comprueba la anchura de la capa.

ANEXOS

SECCIÓN 5

ANEXO SECCIÓN 05

ANEXO SECCIÓN 05

ART. A.5.1 RECICLADO EN PLANTA EN CALIENTE DE CAPAS ASFÁLTICAS

A 5.1.1 DEFINICIÓN

Se define como reciclado en planta en caliente de capas asfálticas, la técnica consistente en la utilización del material resultante de la disgregación controlada (mediante fresado, o demolición y trituración) de capas de mezcla asfáltica de pavimentos envejecidos, en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente. Para los efectos de la aplicación de este artículo, una mezcla asfáltica reciclada, es aquella cuya proporción en masa del material asfáltico a reciclar, está comprendida entre el diez (10) y el cincuenta por ciento (50%) de la masa total de la mezcla.

La ejecución de una mezcla asfáltica reciclada en planta en caliente, incluye las siguientes operaciones:

- Acopio del material procedente de pavimentos asfálticos envejecidos.
- Tratamiento y clasificación del material asfáltico a reciclar en bruto.
- Caracterización y acopio del material asfáltico a reciclar tratado.
- Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.
- Fabricación de la mezcla, de acuerdo con la fórmula de trabajo.
- Transporte de la mezcla al lugar de empleo.
- Preparación de la superficie sobre la que se va a extender la mezcla.
- Extensión y compactación de la mezcla.

A 5.1.2 MATERIALES

Se recomienda su ajuste a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad y salud y de almacenamiento y transporte de productos de la construcción.

A 5.1.2.1 ASFALTO

Es recomendable que el ligante se seleccione en función de la proporción y las características del ligante procedente del material asfáltico a reciclar, de forma que al combinarse con este, se obtenga un ligante con características similares a las que correspondería a un ligante nuevo a emplearse en la vía en proyecto. El tipo y proporción del ligante de aportación necesario se define en función de la viscosidad del ligante final y de las propiedades que indique el especialista.

Para obras de más de setenta mil metros cuadrados (70.000 m^2) o cuando las mezclas asfálticas recicladas, contengan más del veinticinco por ciento (25%) de material asfáltico a reciclar respecto de la masa total de la mezcla, se sugiere hacer un estudio completo del ligante procedente del material asfáltico a reciclar y del ligante final. En ese estudio se analizan, además de la viscosidad, la penetración, los valores del punto de ablandamiento, del punto de fragilidad, la ductilidad y el índice de penetración, de forma que se asegure que el ligante final presente unas características similares a las del ligante convencional correspondiente.

El fabricante de la mezcla, puede establecer el empleo de aditivos, tales como activantes o agentes rejuvenecedores, que recompongan y aporten las fracciones que hayan desaparecido o se encuentren en proporciones menores a las necesarias en el ligante envejecido.

A 5.1.2.2 ÁRIDOS

Es recomendable que los áridos a utilizar cumplan las correspondientes especificaciones de los áridos de las mezclas asfálticas nuevas.

A 5.1.2.3 MATERIAL ASFÁLTICO A RECICLAR Y SU TRATAMIENTO

Se entiende por material asfáltico a reciclar, el material procedente de la disgregación por fresado o trituración, de capas de mezcla asfáltica. Este material está compuesto por áridos de buena calidad y bien graduados, cubiertos por betún asfáltico envejecido. También pueden incluirse dentro de este material, los excedentes de fabricación de cualquier tipo de mezcla asfáltica, que, sin presentar problemas de calidad en cuanto a sus componentes y envuelta, no haya sido colocada en obra (material sobrante, material rechazado en la extensión por baja temperatura, etc.).

A la planta de fabricación pueden llegar materiales asfálticos procedentes de pavimentos de distintas características, que se acopian constituyendo el material asfáltico a reciclar en bruto. En todo caso, el material asfáltico a reciclar no puede contener más del veinte por ciento (20%) de mezclas asfálticas distintas de los tipos en uso.

En principio, todos los materiales recuperados de mezclas asfálticas son susceptibles de ser reciclados, excepto los que hayan presentado deformaciones plásticas. Sobre los que contengan en su composición original adiciones modificadoras de la reología del ligante asfáltico o del comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica (fibras, caucho., etc.), debido a la posible emisión de contaminantes a la atmósfera durante el proceso de fabricación de la nueva mezcla, se requiere un estudio especial.

Es recomendable que el material que se incorpora al proceso de producción sea homogéneo, no contenga contaminantes y esté totalmente caracterizado y referenciado, por lo que el material asfáltico a reciclar en bruto se someta en la planta a un tratamiento previo de trituración, eliminación de contaminantes y homogeneización. El proceso anterior, convierte el material asfáltico a reciclar en bruto, en material asfáltico a reciclar tratado.

El material asfáltico a reciclar tratado, una vez disgregado, pasa en todo caso por el tamiz 25 mm.

Las propiedades del material asfáltico a reciclar tratado, es aconsejable que cumplan, en cualquier caso, con las características señaladas en los apartados siguientes:

A 5.1.2.3.1 HOMOGENEIDAD DEL MATERIAL ASFÁLTICO A RECICLAR

Se recomienda que para la utilización de cualquier acopio de material asfáltico a reciclar, la granulometría de los áridos tras la extracción del ligante y el contenido de este cumplan, respecto a los valores especificados en la fórmula de trabajo, las tolerancias indicadas en la Tabla A 5.1.

TABLA A 5.1
TOLERANCIAS SOBRE LA FÓRMULA DE TRABAJO DEL MATERIAL ASFÁLTICO A RECICLAR

CARACTERÍSTICAS		UNIDAD	TOLERANCIA
Abertura tamices	> 2 mm	% en masa del material a reciclar seco	±5
	> 0,063 mm y ≤ 2 mm		±3
	0,063 mm		±1,5
Contenido de ligante			±0,4
Penetración del ligante recuperado		0,1 mm	±4

A 5.1.2.3.2 CONTAMINANTES

Es recomendable que el material asfáltico a reciclar tratado, esté exento de materiales contaminantes: hormigones, morteros, ladrillos, cemento, metales, maderas, materiales sintéticos, etc., y especialmente de aquellos que en la fabricación de la mezcla reciclada puedan producir contaminación atmosférica.

A 5.1.2.3.3 LIGANTE HIDROCARBONADO DEL MATERIAL ASFÁLTICO A RECICLAR

Es recomendable que el cemento asfáltico procedente del material a reciclar, sea susceptible de mezclarse homogéneamente con el cemento asfáltico de aportación, y dé lugar a un producto de características similares a los especificados para la vía en proyecto.

A 5.1.2.3.4 ÁRIDO DEL MATERIAL ASFÁLTICO A RECICLAR

Es recomendable que los áridos procedentes del material asfáltico a reciclar, no presenten signos de meteorización y posean unas propiedades de dureza y calidad similares a los áridos nuevos de aportación y cumplan las especificaciones para áridos de mezcla nueva.

Estas propiedades pueden ser evaluadas directamente con los ensayos establecidos para los áridos nuevos.

Se puede aceptar como evaluación indirecta de dichas propiedades, los ensayos mecánicos a realizar sobre la mezcla asfáltica reciclada, en particular, la resistencia conservada en el ensayo de inmersión-compresión, según la NLT-162, la cual sugiere sea como mínimo del setenta y cinco por ciento (75%).

El fabricante de la mezcla fija los aditivos que puedan utilizarse, estableciendo las especificaciones que tengan que cumplir tanto el aditivo como las mezclas asfálticas resultantes, de acuerdo al tipo y composición de la mezcla especificada para el proyecto.

El tipo y características de la mezcla asfáltica en caliente reciclada, se fija por las Especificaciones Técnicas Especiales y las Especificaciones Complementarias siguientes:

a. Se sugiere no emplear mezclas asfálticas recicladas en caliente para la fabricación de mezclas de alto módulo (MAM) con características asociadas de mayor capacidad estructural respecto a mezclas asfálticas en caliente tradicionales.
b. La denominación del tipo de mezcla asfáltica en caliente reciclada se compone, añadiendo a la denominación del tipo de mezcla correspondiente la letra “R” y dos dígitos que indiquen la proporción de material asfáltico reciclado empleado en la mezcla (Por ejemplo: IV12-R35).
c. Se recomienda que la dotación total de cemento asfáltico (el de aportación más el procedente del material asfáltico a reciclar) no sea inferior, expresada en proporción en masa sobre el total de los áridos en seco de la mezcla (incluido el polvo mineral y los áridos procedentes del material asfáltico a reciclar), al cuatro por ciento (4%) en capas intermedias y al tres y medio por ciento (3,5%) en capas de base, incluidas las tolerancias.
d. Se sugiere que la dotación de ligante de aportación sea como mínimo, el sesenta por ciento (60%) de la dotación total del asfalto de la mezcla reciclada.
e. Se recomienda que la razón entre la estabilidad Marshall y la deformación Marshall sea inferior a ocho kilonewton por milímetro (8 kN/mm).

A 5.1.3 EQUIPO NECESARIO PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

Es recomendable que el equipo necesario para la ejecución de las obras cumpla las especificaciones establecidas para las mezclas asfálticas en caliente, teniendo en cuenta las siguientes Especificaciones Adicionales:

A 5.1.3.1 PLANTA DE TRITURACIÓN

Cuando el material asfáltico a reciclar presente problemas de homogeneidad o un tamaño excesivo, se sugiere proceder a su trituración y mezcla.

Para la trituración se pueden usan instalaciones de trituración que proporcionen un producto granular uniforme. En el caso de que haya contaminantes de tipo metálico, se aconseja dotar a la planta de trituración de un dispositivo para su detección y eliminación.

A 5.1.3.2 PLANTA DE FABRICACIÓN

Es recomendable que las plantas de fabricación sean capaces de adicionar, durante el proceso de mezcla en caliente, el material asfáltico a reciclar sin deterioro de los materiales.

En las plantas de fabricación continua con tambor secador-mezclador, el sistema de dosificación sugiere ser ponderal, para el material asfáltico a reciclar, y teniendo en cuenta la humedad de este, para corregir la dosificación en función de ella. Se recomienda que la planta disponga de un dispositivo que permita la incorporación del material asfáltico a reciclar tras la llama, de forma que no exista riesgo de contacto con ella. Los gases producidos en el calentamiento del material asfáltico a reciclar pueden ser quemados durante el proceso, debiendo evitarse en todo momento su emisión a la atmósfera.

Las plantas de fabricación de tambor secador-mezclador, en las que el flujo de áridos coincide con el del tiro del humo, pueden no ser empleadas si las cantidades de material asfáltico a reciclar superan el veinticinco por ciento (25%).

De las plantas de fabricación continuas de tambor secador-mezclador se pueden emplear preferentemente aquellas en las que el flujo de áridos va en contra del tiro del humo o las que tengan doble tambor, que eviten la exposición directa a la llama del material asfáltico a reciclar.

Se recomienda que las plantas de fabricación discontinua estén provistas de un tambor secador independiente para el material asfáltico a reciclar. Los gases producidos en su calentamiento, se aconseja sean recogidos y quemados durante el proceso de fabricación de la mezcla, evitándose en todo momento su emisión a la atmósfera. Además, se sugiere que estas plantas estén provistas de silos para almacenar en caliente el material asfáltico a reciclar y de un sistema de dosificación ponderal del material asfáltico a reciclar.

A 5.1.4 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

A 5.1.4.1 ACOPIO DEL MATERIAL ASFÁLTICO A RECICLAR EN BRUTO

Es recomendable que el material asfáltico a reciclar pueda emplearse en la misma obra de la que procede o acopiarse para su posterior utilización en otro lugar. Se sugiere que los acopios estén cubiertos y el tiempo de almacenamiento se reduzca al mínimo posible para evitar que el contenido de humedad del material asfáltico a reciclar aumente excesivamente. Cuando se prevean temperaturas superiores a los treinta grados Celsius (30ºC), se sugiere que los acopios no superen los tres metros (3 m) de altura, para evitar que el material asfáltico a reciclar se aglomere.

Se recomienda examinar la descarga al acopio, desechando los materiales que a simple vista presenten contaminaciones.

Se aconseja llevar un registro de la procedencia del material asfáltico a reciclar, identificando y acopiando aparte los materiales provenientes de mezclas distintas de los tipos usuales.

Se recomienda acopiar aparte los materiales para los que sea necesario realizar un estudio especial, hasta la decisión de su aceptación o rechazo.

A 5.1.4.2 TRATAMIENTO DEL MATERIAL ASFÁLTICO A RECICLAR BRUTO

El material asfáltico a reciclar bruto se trata y mezcla para su homogeneización y descontaminación.

Para ello, se trituran todos los bloques y bolos de manera que todo el material pase por el tamiz 25 mm. Se procede también a la eliminación de cualquier contaminante y utilizando de forma especial un procedimiento de detección y eliminación de elementos metálicos.

Posteriormente, el material se mezcla hasta obtener un producto homogéneo, que no presente segregaciones.

A 5.1.4.3 CARACTERIZACIÓN Y ACOPIO DEL MATERIAL ASFÁLTICO A RECICLAR TRATADO

Es recomendable que una vez tratado el material asfáltico a reciclar, se disponga en acopios homogéneos.

Para que un acopio se considere homogéneo, realizados los ensayos, se sugiere que los valores de los resultados cumplan las tolerancias establecidas en la Tabla A 5.1.

Los materiales que cumplan los criterios de homogeneidad se pueden acopiar juntos.

Cada acopio homogéneo queda identificado y caracterizado por los resultados de los ensayos realizados, según la normativa nacional, y puede emplearse en la fabricación de mezcla asfáltica reciclada en caliente, con una misma fórmula de trabajo.

Los acopios de material asfáltico a reciclar tratado se consideran como lotes aislados, evitando que se mezclen y contaminen entre ellos. El volumen de cada uno de estos acopios es el suficiente para garantizar, al menos, el trabajo de un día o la producción requerida si esta es menor, con el objeto de no cambiar la fórmula de trabajo y poder controlar e identificar adecuadamente la mezcla fabricada.

Los acopios se pueden situar en una zona bien drenada y sobre una superficie revestida. Si se dispusieran en terreno natural, se recomienda no utilizar los quince centímetros (15 cm) inferiores de los acopios. Los acopios se forman por capas.

Se aconseja vigilar la altura de los acopios para evitar que el material asfáltico se aglomere, especialmente con temperaturas altas, limitándose aquella a tres metros (3 m) cuando se prevean temperaturas superiores a los treinta grados Celsius (30ºC).

Se sugiere tener los acopios a cubierto y que el tiempo de almacenamiento se reduzca al mínimo posible, para evitar que el contenido de humedad aumente excesivamente.

A 5.1.4.4 ESTUDIO DE LA MEZCLA Y OBTENCIÓN DE LA FÓRMULA DE TRABAJO

Es recomendable que la fórmula de trabajo fije, además de las características establecidas para el tipo de mezcla nuevo, lo siguiente:

- Proporción en masa del material asfáltico a reciclar, referido a la masa total de áridos nuevos de aportación más el material asfáltico a reciclar.

- Granulometría del árido contenido en el material asfáltico a reciclar, por los tamices 25; 20; 12,5; 10; 5; 2,5; 1,25; 0,630; 0,315; 0,160; 0,08 (NCh 1022) y contenido de ligante hidrocarbonado del material asfáltico a reciclar, referido a la masa total del material asfáltico a reciclar.
- La identificación y proporción de cada fracción del árido nuevo de aportación (incluido el polvo mineral de aportación) en la alimentación y, en su caso, después de su clasificación en caliente, referidas a la masa total de los áridos nuevos de aportación más el material asfáltico a reciclar.
- La granulometría de los áridos de la mezcla asfáltica reciclada, resultado de la combinación de los áridos aportados más los procedentes del material asfáltico a reciclar, por los tamices 25; 20; 12,5; 10; 5; 2,5; 1,25; 0,630; 0,315; 0,160 y 0,08 (NCh 1022).
- Tipo y características del ligante hidrocarbonado de aportación.
- La dosificación de ligante hidrocarbonado de aportación, referida a la masa total de los áridos nuevos de aportación más el material asfáltico a reciclar.
- En su caso, el tipo y la dotación de las adiciones, referida a la masa total del árido combinado.
- La densidad mínima a alcanzar.

También se señala:

- Los tiempos a exigir para la mezcla de los áridos nuevos con el material asfáltico a reciclar y de esta con el ligante.
- Las temperaturas máxima y mínima y la humedad máxima del material asfáltico a reciclar en la tolva y en la báscula de dosificación a la entrada del mezclador (se sugiere, en ningún caso, calentar el material asfáltico a reciclar a una temperatura superior a la del ligante de aportación).
- Los tiempos para la mezcla en caliente de los áridos y para la mezcla con el ligante, vienen determinados por la homogeneidad de la mezcla, la total desintegración de los nódulos de material asfáltico a reciclar y la incorporación del ligante y en su caso del aditivo rejuvenecedor, con el ligante del material a reciclar.

A 5.1.4.5 FABRICACIÓN DE LA MEZCLA

Es recomendable que los dosificadores de áridos en frío y del material asfáltico a reciclar se regulen de forma que se obtenga la granulometría de la fórmula de trabajo; su caudal se ajuste a la producción prevista, se mantenga constante la alimentación del secador de áridos y del calentador de material asfáltico a reciclar.

Se recomienda que los gases desprendidos al calentar el material asfáltico a reciclar se recojan y quemen durante el proceso, evitando su vertido a la atmósfera.

En planta, cuyo secador no sea a la vez mezclador, si la alimentación fuese continua, los áridos calentados y, en su caso, clasificados, se aconseja pesarlos y transportarlos al mezclador, incorporando el material asfáltico a reciclar en la zona de pesaje en caliente a la salida del secador. Si la alimentación de este fuese discontinua, después de haber introducido los áridos en el mezclador, se aconseja pesar e introducir el material asfáltico a reciclar junto al polvo mineral y, después de un tiempo de disgregación, calentamiento y mezcla, se puede agregar el ligante, y en su caso los aditivos, para cada amasada, y se puede continuar la operación de mezcla durante el tiempo especificado en la fórmula de trabajo.

En la planta de mezcla continua, con tambor secador-mezclador, se aporta el material asfáltico a reciclar tras la llama, de forma que no exista riesgo de contacto con ella.

A 5.1.5 ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD TERMINADA

Se sugiere cumplir las especificaciones establecidas para mezclas en caliente nuevas.

A 5.1.6 CONTROL DE CALIDAD

Se sugiere cumplir las especificaciones establecidas para mezclas en caliente nuevas.

A 5.1.6.1 CONTROL DE PROCEDENCIA DEL MATERIAL ASFÁLTICO A RECICLAR

Es recomendable que se tomen muestras del material asfáltico a reciclar tratado, con objeto de analizar su homogeneidad y caracterizar los acopios.

Para ello, por cada quinientas toneladas (500 t) de acopio de material tratado, si se va a emplear en la fabricación de la mezcla un porcentaje de material asfáltico reciclado inferior al veinticinco por ciento (25%), y por cada doscientas toneladas (200 t) de acopio, si se va a emplear un porcentaje de material asfáltico superior a esa cantidad, se recomienda tomar cinco (5) muestras y de cada una de ellas se sugiere determinar:

- Granulometría del material disgregado, según norma NLT-165 (Con la salvedad de que el secado a masa constante es a 50 ± 5ºC).
- Recuperación del ligante, según norma NLT-353.
- Contenido de ligante, según norma NLT-164.
- Granulometría de los áridos recuperados, según norma NLT-165.

Además, de dos (2) de ellas se sugiere determinar también:

- Penetración del ligante recuperado, según NCh 2340.
- Punto de ablandamiento anillo y bola del ligante recuperado, según NCh 2337.
- Índice de penetración del ligante recuperado, según NCh 2340.
- Desgaste, máquina de Los Ángeles del árido recuperado, según NCh 1369.
- Densidad real y absorción del árido recuperado, según NCh 1117, para las Gravas y NCh 1239, para las Arenas.

Para obras de más de setenta mil metros cuadrados (70.000 m^2) o mezclas asfálticas recicladas que contengan más del veinticinco por ciento (25%) de material asfáltico a reciclar respecto de la masa total de la mezcla, se sugiere determinar además:

- Punto de fragilidad Fraass, según NCh 2344.
- Ductilidad, según NCh 2342.

A 5.1.6.2 CONTROL DE CALIDAD DEL MATERIAL ASFÁLTICO A RECICLAR

Es recomendable que se examine cada acopio de material asfáltico a reciclar, desechando los que no cumplan con los límites de tolerancias de granulometría y de contenido de ligante establecidos en la Tabla A 5.1.

Se sugiere vigilar la altura de los acopios y el estado de sus elementos separadores y de los accesos.

Sobre cada acopio que se utilice, se recomienda hacer los siguientes ensayos:

Al menos dos veces al día (2/d):

- Granulometría del material disgregado, según NCh 165 (Con la salvedad de que el secado a masa constante es a 50 ± 5ºC).

- Contenido de ligante, según norma NLT-164.
- Granulometría de los áridos recuperados, según norma NLT-165.

Al menos una (1) vez a la semana, o cuando se cambie de procedencia:
- Recuperación del ligante, según norma NLT-353.
- Penetración del ligante recuperado, según NCh 2340.
- Punto de ablandamiento anillo y bola del ligante recuperado, según NCh 2337.
- Índice de penetración del ligante recuperado, según NCh 2340.
- Densidad real y absorción del árido recuperado, según NCh 1117 para las Gravas y NCh 1239 para las Arenas.

Al menos una (1) vez al mes, o cuando se cambie de procedencia:
- Punto de fragilidad Fraass del ligante recuperado, según NCh 2344.
- Ductilidad del ligante recuperado, según NCh 2342.

A 5.1.6.3 CONTROL DE EJECUCIÓN

A 5.1.6.3.1 FABRICACIÓN

Es recomendable que al comenzar la fabricación y al menos dos veces al día, o cuando se produzcan precipitaciones atmosféricas cada hora, se determine la humedad, según NCh 1515 (Con la salvedad de que el secado a masa constante sea a 50 ± 5ºC), del material asfáltico a reciclar, en la tolva o cinta de carga desde el acopio y en la descarga de la tolva de dosificación y alimentación al mezclador.

A 5.1.6.4 CONTROL DE RECEPCIÓN DE LA UNIDAD TERMINADA

Es recomendable que para obras de más de setenta mil metros cuadrados (70.000 m^2), mezclas asfálticas recicladas que contengan más del veinticinco por ciento (25%) de material asfáltico a reciclar respecto de la masa total de la mezcla o cuando existan dudas razonables sobre la calidad de la mezcla, se pueda exigir de los testigos extraídos, de acuerdo con lo especificado, la determinación, además de su densidad y de su espesor, la resistencia a tracción indirecta, según la NLT-346, a la temperatura de cinco grados Celsius (5°C), empleando los dispositivos de carga (barras) recogidos en el apartado 2.2 de la norma NLT-360 para la determinación del módulo resiliente.

La resistencia a tracción se puede determinar tanto en seco, directamente sobre los testigos extraídos, como en húmedo, sobre testigos que hayan permanecido sumergidos durante veinticuatro horas (24 h) en agua a la temperatura de sesenta grados Celsius (60ºC).

A 5.1.7 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

Es recomendable que se cumplan las especificaciones establecidas para mezclas nuevas, y las siguientes especificaciones adicionales.

A 5.1.7.1 RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA EN SECO Y EN HÚMEDO

Es recomendable que la resistencia media a tracción indirecta, según la NLT-346, a la temperatura de cinco grados Celsius (5ºC), empleando los dispositivos de carga (barras) recogidos en el apartado 2.2 de la norma NLT-360 para la determinación del módulo resiliente, sea superior a los valores indicados en la Tabla A 5.2.

TABLA A 5.2
RESISTENCIA MÍNIMA A TRACCIÓN INDIRECTA DE LOS TESTIGOS

TIPO DE MEZCLA	ACEPTACIÓN		RECHAZO	
	Seco (1) (MPa)	Húmedo (2) (MPa)	Seco (1) (MPa)	Húmedo (2) (MPa)
Densa (D) y Semidensa (S)	2,5	1,9	2,1	1,6
Gruesa (G)	2,0	1,5	1,6	1,2

(1) Directamente sobre los testigos extraídos.
(2) Sobre testigos que hayan permanecido sumergidos durante veinticuatro horas (24 h) en agua a la temperatura de sesenta grados Celsius (60ºC).

No más del veinte por ciento (20%) de los valores individuales de la muestra sean inferiores a los valores prescritos en la Tabla anterior para los casos de penalización.

Además, la resistencia media de los testigos en húmedo sea superior al setenta y cinco por ciento (75%) de la resistencia en seco.

ART. A 5.2 ENSAYES Y MÉTODOS PARA ASFALTOS Y PRODUCTOS ASFÁLTICOS EMPLEADOS EN PAVIMENTOS

A 5.2.1 ENSAYE DE MUESTREO MÉTODO NCH 2332

Este ensaye establece los procedimientos para realizar muestreos de asfaltos líquidos, semisólidos o sólidos, utilizados en obras de pavimentación. Se aplica en el lugar de producción, en el terminal de abastecimiento o en el lugar de acopio o entrega del producto.

A 5.2.2 ENSAYE PARA DETERMINAR LA DENSIDAD, MÉTODO NCH 2333

Este ensaye establece el procedimiento para determinar la densidad de los asfaltos, mediante el uso de picnómetro a la temperatura requerida.

A 5.2.3 ENSAYE DE PENETRACIÓN, MÉTODO NCH 2340

Este ensaye describe un procedimiento para determinar la dureza, mediante penetración, de materiales asfálticos sólidos y semisólidos.

El ensaye de penetración se usa como una medida de consistencia. Valores altos de penetración indican consistencias más blandas.

A 5.2.4 ENSAYE DE DESTILACIÓN PARA ASFALTOS CORTADOS, MÉTODO NCH 2347

Este ensaye define la destilación de productos asfálticos cortados.

A 5.2.5 ENSAYE PARA EMULSIONES, MÉTODO NCH 2348

Los ensayes que se describen con los títulos: Composición, Consistencia, Estabilidad y Examinación del Residuo, se refieren al examen de asfaltos emulsificados, compuestos principalmente de bases asfálticas líquidas o semisólidas, agua y un agente emulsificante.

A 5.2.6 ENSAYE DE LA MANCHA, MÉTODO NCH 2343

Este ensaye es aplicable solamente a productos asfálticos derivados del petróleo. No se aplica a asfaltos naturales que contienen materias no asfálticas insolubles en xileno.

A los materiales que mediante el uso del solvente normal se clasifican como positivos, se les puede determinar su grado de positividad por medio del "Equivalente de Xileno". El equivalente de xileno es el menor porcentaje por volumen de xileno en un solvente compuesto de xileno y nafta normal o xileno y heptano normal, como se especifique, el cual produce una mancha "negativa" para el material en cuestión. Este se conoce como equivalente nafta xileno y heptano xileno, respectivamente. El porcentaje de xileno en los solventes se va agregando en incrementos de 5% respecto de la mezcla. Cuando no se especifica equivalente xileno, se usa solamente el solvente nafta normal.

A 5.2.7 ENSAYE PARA DETERMINAR LA DUCTILIDAD MÉTODO NCH 2342

La ductilidad de un material asfáltico es la longitud, medida en cm, a la cual se alarga (elonga) antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra descrita, se traccionan a la velocidad y temperatura especificadas. A menos que otra condición se especifique, el ensaye se efectúa a una temperatura de 25 ± 0,5ºC y a una velocidad de 5 cm/min ± 5%. Para otras temperaturas, puede especificarse la velocidad.

A 5.2.8 ENSAYE PARA DETERMINAR LOS PUNTOS DE INFLAMACIÓN Y COMBUSTIÓN MEDIANTE LA COPA ABIERTA DE CLEVELAND, MÉTODO NCH 2338

Este ensaye define la determinación de los Puntos de Inflamación y Combustión por medio de la copa abierta de Cleveland, para productos del petróleo y otros líquidos, excepto aceites combustibles y materiales que tienen un punto de inflamación por debajo de 79ºC, determinado por medio de este método de ensaye.

Si el Punto de Inflamación está por debajo de 79ºC, emplee el método del Punto de Inflamación mediante la Copa Abierta Tag (método NCh 2339).

A 5.2.9 ENSAYE PARA DETERMINAR EL PUNTO DE INFLAMACIÓN MEDIANTE LA COPA ABIERTA TAG, MÉTODO NCH 2339

Este ensaye define el procedimiento para determinar el punto de inflamación por el aparato Copa Abierta Tag, de asfaltos cortados que tienen punto de inflamación menor que 93ºC. Las especificaciones prescriben comúnmente el método de la copa abierta Cleveland para cementos asfálticos y asfaltos cortados que tienen punto de inflamación sobre 80ºC.

A 5.2.10 ENSAYE PARA DETERMINAR LA SOLUBILIDAD EN SOLVENTES ORGÁNICOS, MÉTODO NCH 2341

Este ensaye se aplica para determinar el grado de solubilidad en solventes orgánicos de materiales asfálticos usados en calles, tales como alquitrán y asfalto de petróleo, tengan o no una pequeña cantidad de materia mineral. También se incluye el procedimiento para calcular la proporción de ligante asfáltico en tetracloruro de carbono.

A 5.2.11 ENSAYE PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD SAYBOLT, MÉTODO NCH 2334

Este ensaye describe el procedimiento para la medida empírica de la viscosidad Saybolt de productos del petróleo a temperaturas especificadas entre 20 y 100ºC.

A 5.2.12 ENSAYE PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA, MÉTODO NCH 2335

Este ensaye abarca los procedimientos para determinar la viscosidad cinemática de asfaltos líquidos, aceites de calles y residuos destilados de asfaltos líquidos, todos a 60ºC, y de cementos asfálticos a 135ºC, en el rango de 30 a 100.000 cSt. Los resultados de este método pueden usarse para calcular la viscosidad, cuando la densidad del material a la temperatura de ensaye es conocida o puede determinarse.

A 5.2.13 ENSAYE PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD MEDIANTE VISCOSÍMETROS CAPILARES DE VACÍO, MÉTODO NCH 2336

Este ensaye describe los procedimientos para determinar la viscosidad de los asfaltos por viscosímetros capilares de vacío a 60ºC. Es aplicable a materiales que tengan viscosidades en el rango de 0,036 a 5.800.000 poises.

A 5.2.14 ENSAYE PARA DETERMINAR EL PUNTO DE ABLANDAMIENTO CON EL APARATO DE ANILLO Y BOLA, MÉTODO NCH 2337

Este ensaye describe un procedimiento para determinar el punto de ablandamiento de materiales asfálticos, cuyo valor se encuentre en el rango de 30 a 200ºC, por medio del aparato de anillo y bola.

A.5.2.15 ENSAYE PARA DETERMINAR EL PUNTO DE FRAGILIDAD FRAASS, MÉTODO NCH 2344

Este ensaye describe el procedimiento para determinar el punto de fragilidad de los materiales asfálticos de consistencia sólida o semisólida, por medio del aparato Fraass. En el ensaye, una película del material se somete, en condiciones especificadas, a ciclos sucesivos de flexión a temperaturas decrecientes. Se define como Punto de Fragilidad Fraass la temperatura a la cual, debido a la consistencia adquirida por el material asfáltico, se observa la primera fisura o rotura en la superficie de la película.

A 5.2.16 ENSAYE DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN PARA ASFALTOS MODIFICADOS, MÉTODO NORMA NLT-329

Este ensaye se utiliza en los asfaltos modificados, comprenden los cementos y emulsiones asfálticas modificadas. Se efectúa a 25ºC y 40ºC.

A 5.2.17 ENSAYE PARA EMULSIONES MODIFICADAS MEDIANTE PLACA VIALIT, MÉTODO NORMA NLT- 313

Este ensaye describe el procedimiento que se sigue para valorar la adhesividad, así como la resistencia al desprendimiento existente entre los áridos y el residuo asfáltico de una emulsión asfáltica elastomérica, mediante la placa Vialit. El procedimiento se aplica fundamentalmente a los materiales empleados en tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla, en los que se utiliza como ligante una emulsión asfáltica elastomérica. También se puede aplicar para evaluar emulsiones asfálticas convencionales.

A 5.2.18 ENSAYE PARA MEDIR LA VISCOSIDAD MEDIANTE EL VISCOSÍMETRO ROTACIONAL MÉTODO NORMA AASHTO TP 48

Este ensaye entrega un procedimiento para medir la viscosidad aparente del asfalto a temperaturas desde 60 a 200ºC, usando un Viscosímetro Rotacional equipado con Thermosel. La viscosidad del asfalto a altas temperaturas se mide para determinar si un asfalto puede ser manejado y bombeado en la refinería, terminal o planta asfáltica. Los valores medidos mediante este procedimiento se pueden utilizar para desarrollar diagramas temperatura-viscosidad, los que se utilizan para estimar las temperaturas de mezclado y compactación a utilizar durante el diseño de las mezclas asfálticas en caliente.

A 5.2.19 ENSAYE DE MUESTREO DE MEZCLAS, MÉTODO NORMA NLT-348

Este ensaye describe el procedimiento para muestrear mezclas de materiales asfálticos con agregado mineral usadas en pavimentos. Las muestras pueden usarse para cualquiera de los dos siguientes propósitos:

- Representar un promedio de la mezcla asfáltica.
- Determinar la variación periódica en las características de la mezcla con el propósito de controlar uniformidad.

A 5.2.20 ENSAYE PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS PROVENIENTES DE EXTRACCIÓN, MÉTODO NORMA NTL-165

Este ensaye describe el procedimiento para determinar la distribución de tamaños de las partículas de agregado grueso y fino, extraídos de muestras asfálticas. Sirve para verificar el cumplimiento de la granulometría con la banda de trabajo y además entrega antecedentes para el control de calidad de las mezclas asfálticas.

A 5.2.21 ENSAYE DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIA, MÉTODO NCH 2346

Este ensaye se usa para medir el efecto de calor y aire en una película en movimiento de materiales asfálticos semisólidos en forma rutinaria, y para los otros tipos, solo en caso de investigación. Los efectos

de este tratamiento se determinan en base a mediciones de las propiedades del asfalto antes y después del ensaye.

A 5.2.22 ENSAYE ABSON PARA LA RECUPERACIÓN DE ASFALTO, MÉTODO NORMA AASHTO T 170-82

Este ensaye describe el procedimiento para recuperar, por el Método de Abson, el material asfáltico en el líquido extraído de las mezclas asfálticas, utilizando diclorometano. El material asfáltico se recupera con propiedades que son sustancialmente las mismas que posee en la mezcla asfáltica y en cantidad suficiente para ensayes posteriores. Es preferible no emplear este método y reemplazarlo por el rotovapor.

A 5.2.23 ENSAYE PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE LIGANTE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POR CENTRIFUGACIÓN - ENSAYE DE EXTRACCIÓN, MÉTODO NORMA NLT-164

Este ensaye describe los procedimientos para determinar cuantitativamente el contenido de ligante asfáltico en una mezcla, mediante el proceso de centrifugación. Como solventes en el proceso de centrifugación se puede emplear tricloroetileno, cloruro de metileno o tricloroetano. A los agregados recuperados se le puede efectuar análisis granulométrico, de acuerdo a la norma NLT-165.

A 5.2.24 ENSAYE PARA DETERMINAR LA DENSIDAD MÁXIMA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SIN COMPACTAR MÉTODO NORMA ASTM D 2041-95

Este ensaye permite determinar la densidad máxima teórica de mezclas asfálticas sin compactar, a 25ºC, así como el porcentaje de ligante absorbido por los agregados de la mezcla, de modo de cuantificar la cantidad total o efectiva de asfalto requerida por la misma.

A 5.2.25 ENSAYE PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS, MÉTODO NORMA NLT-168

Este ensaye establece procedimientos para determinar la densidad real de mezclas asfálticas compactadas.

A 5.2.26 ENSAYE PARA DETERMINAR LA HUMEDAD O VOLÁTILES EN MEZCLAS ASFÁLTICAS MÉTODO NORMA AASHTO T 110-70

Este ensaye describe un procedimiento para determinar, por medición directa, la humedad o fracciones volátiles del asfalto en mezclas de pavimentos asfálticos.

A 5.2.27 ENSAYE PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS UTILIZANDO EL APARATO MARSHALL, MÉTODO NORMA ASTM D-1559

Este ensaye describe la medición de la resistencia a la deformación plástica de probetas cilíndricas de mezclas asfálticas, cargadas sobre su manto lateral, usando el aparato Marshall. Este método es aplicable a mezclas asfálticas con agregado pétreo de tamaño máximo 25 mm.

A 5.2.28 ENSAYE PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE MUESTRAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS, MÉTODO NORMA NLT-168

Este ensaye permite determinar el espesor o altura de probetas y testigos confeccionados con mezclas asfálticas. El espesor de un pavimento asfáltico se controla mediante testigos, para verificar que el volumen de mezcla estipulado ha sido efectivamente colocado en obra. La altura de las probetas confeccionadas en laboratorio se utiliza para corregir los valores de estabilidad Marshall.

A 5.2.29 ENSAYE PARA DETERMINAR IN SITU LA PERMEABILIDAD DE PAVIMENTOS DRENANTES, MÉTODO NORMA NLT-327

Este ensaye describe el procedimiento que debe seguirse para la realización de medidas de permeabilidad in situ en mezclas drenantes utilizadas en capas de rodadura y aceras.

A 5.2.30 ENSAYE DE ABRASIÓN EN MEDIO HÚMEDO PARA LECHADAS, MÉTODO ISSA 100

Este ensaye se utiliza para determinar la resistencia al desgaste por abrasión bajo agua de probetas de lechada asfáltica; es una simulación que correlaciona el comportamiento en laboratorio con el desempeño a escala real de las lechadas asfálticas. Mediante este procedimiento se determina el contenido mínimo de ligante necesario para obtener una lechada con la cohesión suficiente para resistir la acción abrasiva producida por el tránsito.

A 5.2.31 MÉTODO DE DISEÑO MARSHALL, MÉTODO NORMA ASTM D-1559

Este procedimiento es aplicable a mezclas en caliente, con cementos asfálticos que contengan agregados con tamaño máximo absoluto igual o inferior a 25 mm. Se puede usar tanto para el diseño en laboratorio como en el control de terreno, y describe una metodología para determinar el óptimo de asfalto en las mezclas.

A 5.2.32 MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO CON EMULSIÓN, MÉTODO NORMA ASTM D-1560

Esta especificación describe el método de diseño para mezclas asfálticas en frío con emulsión. El procedimiento está orientado a mezclas para calles de bajo volumen de tránsito, con agregados densamente graduados y tamaño máximo menor o igual a 25 mm (1 pulg). Es aplicable a mezclas producidas tanto in situ como en laboratorio, a temperaturas ambiente. El método comprende la realización de las siguientes etapas:

- Contenido inicial de emulsión.
- Contenido de agua de premezcla.
- Contenido óptimo de agua de compactación.
- Contenido óptimo de asfalto residual.

A 5.2.33 MÉTODO DE DISEÑO DE LECHADAS ASFÁLTICAS, MÉTODO ISSA Nº111

Este método define un procedimiento para el diseño de lechadas asfálticas y describe una metodología para determinar el contenido óptimo de ligante.

A 5.2.34 ENSAYE PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE MÁXIMO DE LIGANTE EN LECHADAS ASFÁLTICAS USANDO LA RUEDA DE CARGA, MÉTODO NORMA ASTM C 778-97

Este ensaye se utiliza para establecer el límite máximo del contenido de ligante en lechadas asfálticas, mediante el procedimiento de la rueda de carga.

A 5.2.35 ENSAYE PARA CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE, MÉTODO NORMA NLT- 352

Esta norma describe el procedimiento de ensayo que se sigue para la determinación de la pérdida por desgaste de las mezclas asfálticas, empleando la máquina de Los Ángeles. El procedimiento puede emplearse tanto en el proyecto de mezclas en laboratorio como para el control en obra de las mismas.

El procedimiento se aplica a mezclas asfálticas de granulometría abierta, fabricadas en caliente y de granulometría abierta, cuyo tamaño máximo sea inferior a 25 mm. El ensayo permite valorar indirectamente la cohesión, la trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico.

A 5.2.36 ENSAYE PARA DETERMINAR EL EFECTO DEL AGUA SOBRE LA COHESIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ABIERTA, MEDIANTE EL ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE, MÉTODO NLT- 352

Esta norma describe el procedimiento de ensayo que se sigue para determinar la pérdida de cohesión que se produce por la acción del agua sobre las mezclas asfálticas compactadas de granulometría abierta, de utilización en la construcción de vías y calles.

El procedimiento se aplica a mezclas asfálticas de granulometría abierta fabricadas en frío o en caliente, con ligantes asfálticos modificados o sin modificar, cuyo tamaño máximo de las partículas de árido sea menor a 25 mm.

Con el método se obtiene un índice numérico del aumento de pérdida de masa, como consecuencia de comparar los resultados del ensayo entre series duplicadas de probetas, unas mantenidas al aire y otras sometidas a la acción del agua, en las condiciones que se prescriben en esta norma.

A 5.2.37 ENSAYE PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE ASFALTO POR IGNICIÓN, NORMA AASHTO 308-99

Este ensaye cubre la determinación del contenido de ligante asfáltico de Mezclas de Asfalto en Caliente (MAC) por ignición del ligante asfáltico a 538ºC (1000ºF) o menos en un horno. El agregado que queda después de la ignición puede usarse para análisis granulométrico de agregados provenientes de extracción.

A 5.2.38 ENSAYE PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE VACÍOS DE AGREGADOS FINOS NO COMPACTADOS NORMA AASHTO T 304-96

Este ensaye describe la determinación del contenido de vacíos sueltos no compactados de agregados finos. Cuando se mide sobre cualquier agregado de graduación conocida, el contenido de vacíos da una indicación de la angularidad, esfericidad y textura superficial del agregado, comparado con otro agregado fino ensayado con la misma graduación. Cuando el contenido de vacíos se mide sobre un agregado fino, tal como se recibe, puede ser un indicador del efecto del agregado fino sobre la trabajabilidad de una mezcla en la cual se puede usar.

Se incluyen tres procedimientos para la medida del contenido de vacíos. Dos usan agregados finos graduados (graduación normal o tal como se recibe) y la otra usa varias fracciones de tamaños individuales para determinación de contenido de vacíos.

A 5.2.39 ENSAYE DE RECUPERACIÓN DEL LIGANTE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA SU CARACTERIZACIÓN, MÉTODO NLT- 353

Este ensaye describe el procedimiento que se sigue para la recuperación y posterior caracterización del ligante de las mezclas asfálticas. Para ello, el proceso de recuperación indicado en esta norma asegura una alteración mínima de sus propiedades.

ART. A 5.3 ENSAYOS PARA AGREGADOS PÉTREOS

A 5.3.1 ENSAYE PARA EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS, MÉTODO NCH 164

Este método establece la forma de extracción y preparación desde los acopios y/o canteras de los agregados gruesos, finos e integrales para fines de ensaye en laboratorio. Estas muestras son representativas del acopio de los agregados, homogenizados y reducidos de tamaño mediante cuarteo. Las muestras son enviadas a laboratorio debidamente identificadas y tomando las precauciones necesarias para el transporte, evitando toda pérdida de material.

A 5.3.2 ENSAYE PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA, MÉTODOS NCH 165 (TAMIZADO) Y AASHTO T 37 - 77 (FILLER)

La granulometría es una distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un pétreo. Para realizar el ensaye, se acondiciona una muestra de material seco a masa constante, determinando su masa, tamizando y obteniendo los pesos retenidos en cada tamiz normalizado. El juego de tamices depende del tipo de material a analizar, ya sea un agregado grueso o un agregado fino.

La granulometría se realiza a agregados gruesos, finos y filler.

A 5.3.3 ENSAYE PARA LA OBTENCIÓN DEL MATERIAL FINO MENOR QUE 0,080 MM, MÉTODO NCH 1223

Se acondiciona el material, determinando su masa inicial en estado seco. El material retenido en el tamiz 0,08 mm se lava y tamiza, extrayéndose todo el fino inferior a 0,08 mm. El material que queda retenido en el tamiz 0,08 mm se pesa, obteniéndose por diferencia el “fino por lavado”.

A 5.3.4 ENSAYE PARA DETERMINAR LA CUBICIDAD DE LAS PARTÍCULAS, MÉTODO NLT- 358

Este método determina en forma porcentual la cantidad de partículas chancadas, lajeadas y rodadas, retenidas en el tamiz 5 mm, siendo el agregado chancado el que posee dos o más caras fracturadas; el agregado lajeado es aquel en que el cuociente entre las dimensiones máximas y mínimas, referidas a un prisma rectangular circunscrito, es mayor que cinco; y el agregado rodado es aquel que no posee aristas.

A 5.3.5 ENSAYE PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE LAJAS, MÉTODO NLT-354

El índice de lajas es el porcentaje en peso de partículas que tienen un espesor (dimensión mínima), inferior a 0,6 veces la dimensión media de la fracción de agregado considerado, aplicándose a áridos de tamaño máximo absoluto iguales o mayores a 6,3 mm.

A 5.3.6 ENSAYE PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE TRITURACIÓN, MÉTODO UNE-EN 933-5

Este método determina la resistencia a la desintegración física de los agregados gruesos y finos. En el caso del agregado grueso, se determina por compresión en un molde confinado sometido a la acción de una carga gradual. Los agregados finos, en cambio, se someten a impactos repetidos en situación de confinamiento.

A 5.3.7 ENSAYE PARA DETERMINAR EL EQUIVALENTE DE ARENA, MÉTODO NCH 1325

Con este ensaye se determinan las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los pétreos que pasan por tamiz de 5 mm. Se calcula el porcentaje de arena propiamente tal con respecto al total de arena y de impurezas coloidales floculadas, particularmente arcillosas, húmicas y eventualmente ferruginosas. Para realizar este ensaye se prepara una solución base compuesta con los siguientes reactivos: cloruro de calcio anhidro, glicerina farmacéutica y formaldehído.

A 5.3.8 ENSAYE PARA DETERMINACIÓN DE HUECOS, MÉTODO NCH 1326

Con este ensaye se determina el contenido de huecos en los agregados (espacios vacíos entre las partículas de un pétreo), mediante la determinación de la densidad real seca y la densidad aparente del árido.

A 5.3.9 ENSAYE PARA DETERMINAR EL DESGASTE MEDIANTE ENSAYO LOS ÁNGELES, MÉTODO NCH 1369

Este método determina la resistencia al desgaste de los agregados pétreos mayores a 2,5 mm, mediante la máquina de Los Ángeles, con una relación porcentual entre la masa de la muestra antes del desgaste y después del desgaste. Este desgaste es producido por esferas de acero en un tambor que gira con los agregados dentro del tambor.

A 5.3.10 ENSAYE PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE VOLUMÉTRICO MEDIO DE LOS PÉTREOS GRUESOS, MÉTODO NCH 1511

Procedimiento por el cual se determinan la suma de los volúmenes reales que componen a un agregado pétreo. Este coeficiente se calcula mediante el cociente entre los volúmenes reales del agregado y el volumen de una esfera de diámetro igual a la mayor dimensión del agregado.

A 5.3.11 ENSAYE PARA DETERMINAR SALES SOLUBLES, MÉTODO NLT- 114

Este ensaye determina la cantidad de cloruros y sulfatos de los agregados pétreos que son solubles en agua. Los agregados pétreos son sometidos a continuos lavados con agua destilada a la temperatura de ebullición, hasta la extracción total de las sales. La presencia de sales es detectada mediante reactivos químicos. Del agua utilizada para lavar los agregados, se toma una muestra y se deja cristalizar, para determinar la cantidad de sales totales presentes.

A 5.3.12 ENSAYE PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE PARTÍCULAS DESMENUZABLES, MÉTODO NCH 1327

Las partículas desmenuzables son aquellas que se pueden deshacer con la presión de los dedos. Se eliminan de la muestra mediante inmersión, compresión y lavado.

A 5.3.13 ENSAYE DE LOS SULFATOS PARA DETERMINAR LA DESINTEGRACIÓN, MÉTODO NCH 1328

Este método mide la desintegración de los agregados, mediante sucesivas inmersiones en sulfato de sodio o sulfato de magnesio y secados al horno. Al completar el ciclo, la muestra se pesa y se compara con la masa inicial.

A 5.3.14 ENSAYE PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE CLORUROS Y SULFATOS, MÉTODO NCH 1444/1

Método por el cual se determinan la cantidad de cloruros y sulfatos en los agregados pétreos, mediante la utilización de reactivos como el ácido clorhídrico y el ácido nítrico, entre otros.

A 5.3.15 ENSAYE PARA DETERMINAR LA DENSIDAD APARENTE, MÉTODO NCH 1116

Densidad que considera el volumen macizo de las partículas de un pétreo más el volumen de los poros y de los huecos. Corresponde a la capacidad de la medida que lo contiene.

A 5.3.16 ENSAYE PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL, DENSIDAD NETA Y ABSORCIÓN DE AGUA EN PÉTREOS GRUESOS, MÉTODO NCH 1117

Densidad real: densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material pétreo, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles de esas partículas.

Densidad neta: densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material pétreo más el volumen de los poros inaccesibles.

Absorción de Agua: masa de agua necesaria para llevar un material pétreo del estado seco al estado saturado superficialmente seco.

A 5.3.17 ENSAYE PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL, DENSIDAD NETA Y ABSORCIÓN DE AGUA EN PÉTREOS FINOS, MÉTODO NCH 1239

Se acondiciona la muestra de pétreo fino para determinar su masa en condiciones seca y saturada superficialmente seca. Luego se calcula la masa de agua desplazada por el pétreo fino sumergido en un matraz aforado. Con los valores obtenidos, se calculan la densidad real, densidad neta y absorción de agua.

A 5.3.18 MÉTODO PARA CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CANTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE, MÉTODO NLT- 352

Este método describe el procedimiento de ensayo que se sigue para la determinación de la pérdida por desgaste de las mezclas asfálticas, empleando la máquina del ensaye Los Ángeles. El procedimiento puede emplearse tanto en el proyecto de mezclas en laboratorio como para el control en obra de las mismas.

A 5.3.19 MÉTODO PARA DETERMINAR EL LÍMITE PLÁSTICO, MÉTODO NCH 1517/2

Para determinar el Índice de Plasticidad, se requiere conocer el Límite Plástico y el Límite Líquido, donde IP = LL-LP. El Límite Plástico corresponde a la humedad expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados plástico y semisólido. El Límite Líquido corresponde a la humedad, expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados líquido y plástico.

NOTA:

Es posible reemplazar las referencias extranjeras por los métodos de muestreo, ensaye y control incluidos en el Manual de Carreteras (MC) en su Volumen N°8"

ANEXOS

SECCIÓN 12

ANEXO SECCIÓN 12

ANEXO SECCIÓN 12

ART. A 12.1 PLASTICIDAD

Dentro de los límites que se da a este término en Mecánica de Suelos, la Plasticidad puede definirse como la propiedad de un material, por la cual puede soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse.

Esta propiedad no es general de todos los suelos; no la poseen los suelos gruesos, y en cuanto a los suelos finos no constituye una propiedad permanente, sino circunstancial y que depende de su contenido de agua.

De acuerdo a este contenido de agua, si este es decreciente, un suelo con propiedades plásticas puede presentar distintos estados de consistencia, que fueron definidos por Atterberg:

a. Estado líquido

b. Estado semilíquido

c. Estado plástico

d. Estado semisólido

e. Estado sólido

Los límites entre estos estados del suelo han sido fijados convencionalmente, de acuerdo a determinadas pruebas de laboratorio. En esta forma se tienen: el Límite Líquido, entre estado semilíquido y el plástico; el Límite Plástico, entre el estado plástico y el semisólido; el Límite de Contracción, entre los estados semisólido y sólido. Se usa mucho como parámetro de plasticidad el llamado Índice Plástico:

$$Ip = LL - LP$$

Siendo *LL* el límite líquido, y *LP* el límite plástico.

ANEXOS

SECCIÓN 13

ANEXO SECCIÓN 13

ANEXO SECCIÓN 13

ANEXO 13.1 EJEMPLO DETERMINACIÓN DE EJES EQUIVALENTES

La obtención de los Ejes Equivalentes para el diseño, a partir de los TMDA o flujos vehiculares solicitantes, se realiza mediante el siguiente procedimiento:

Caso 1:

- Diseño para un TMDA de 100.000 vehículos, de los cuales 30.000 corresponden a camiones de 2 ejes; 45.000 a camiones de más de 2 ejes y 25.000, a buses.
- El análisis corresponde a un proyecto en la ciudad de Antofagasta de una calzada bidireccional (2 pistas).
- Los Factores de Equivalencia por tipo de vehículo son: camión 2 ejes, 0,35; camión de más de 2 ejes, 1,78 y buses, 1,35.

Se tiene entonces que:

$$EE = FDD * FDP * TMDAi * FEi$$

Considerando

- FDD = 0,5
- FDP = 1,0

Se tiene:

$$EE = (30.000 * 0,35 + 45.000 * 1,78 + 25.000 * 1,35) * 0,5 * 1,0 = 62.175\ EE$$

Caso 2:

- Diseño para un TMDA de 100.000 vehículos, de los cuales 30.000 corresponden a Camiones de 2 ejes; 45.000 a Camiones de más de 2 ejes y 25.000 a Buses.
- El análisis corresponde a un proyecto en la ciudad de Concepción de una doble calzada de 4 pistas.
- Los Factores de Equivalencia por tipo de vehículo son: Camión 2 ejes, 0,56; Camión de más de 2 ejes, 2,61 y Buses, 1,54.

Se tiene entonces que:

$$EE = FDD * FDP * TMDAi * FEi$$

Considerando

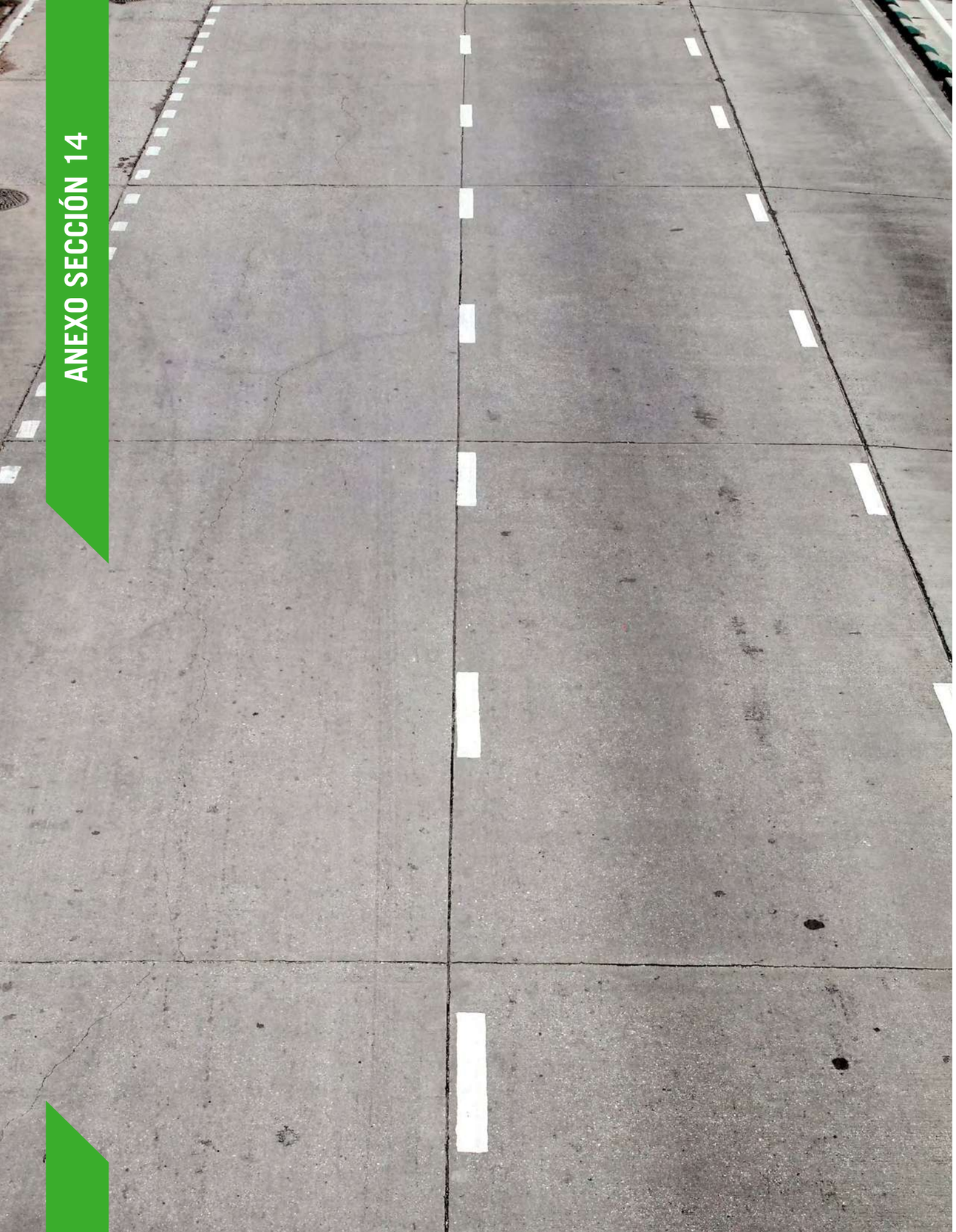
- FDD = 0,5
- FDP = 0,8

Se tiene:

$$EE = (30.000 * 0,56 + 45.000 * 2,61 + 25.000 * 1,54) * 0,5 * 0,8 = 69.100\ EE$$

ANEXOS

SECCIÓN 14



ANEXO SECCIÓN 14

ANEXO SECCIÓN 14

ART. A 14.1 DESARROLLO DEL MÉTODO AASHTO 98

Este modelo fue desarrollado empleando las mismas aproximaciones usadas en la extensión del modelo empírico original durante 1961. A continuación, se describen diferentes aspectos del Método AASHTO 1998.

A 14.1.1 MODELO EMPÍRICO ORIGINAL

La prueba AASHO proporcionó relaciones empíricas entre el espesor de losa, magnitud de la carga por eje, número de repeticiones de carga y pérdida de serviciabilidad del pavimento para las condiciones específicas de dicha prueba (por ejemplo, factores climáticos y materiales). El modelo original, 100% empírico, derivado de la prueba AASHO se muestra a continuación, el cual tiene la misma forma funcional para pavimentos de hormigón:

$$\log W = \log R + \frac{G}{Y} \qquad (1)$$

Donde:

W : Número de repeticiones de carga para alcanzar el índice de serviciabilidad final, P_2.

R : Función de las variables de diseño y de carga que denotan el número esperado de repeticiones de carga para llegar a un índice de serviciabilidad final, P_2 de 1,5.

G : Función de la razón entre la pérdida de serviciabilidad alcanzada en el instante final y la pérdida potencial, para llegar a un índice de serviciabilidad de 1,5.

Y : Función de las variables de diseño y de carga que influyen en el comportamiento de la curva de serviciabilidad *P* v/s *W*.

Los términos R, G e Y se obtienen a partir de las siguientes expresiones:

$$\log R = 5,85 + 7,35 \times \log\left(\frac{D}{25,4} + 1\right) - 4,62 \times \log\left(\frac{L_1}{4,45} + L_2\right) + 3,28 \times \log\left(L_2\right) \qquad (2)$$

$$Y = 1,00 + \frac{3,63 \times \left(\frac{L_1}{4,45} + L_2\right)^{5,2}}{\left(\frac{D}{25,4} + 1\right)^{8,46} \times L_2^{3,52}} \qquad (3)$$

$$G = \log\left(\frac{P_1 - P_2}{P_1 - 1,5}\right) \qquad (4)$$

Donde:
D : Espesor de la losa de hormigón, mm
L_1 : Carga de eje simple o eje doble, kN
L_2 : Código de eje; 1 para eje simple y 2 para eje doble
P_1 : Índice de serviciabilidad inicial
P_2 : Índice de serviciabilidad final

A 14.1.2 MODELO TEÓRICO-EMPÍRICO

En este modelo se desarrolló una relación mecánico-empírica entre el número de cargas por eje, la resistencia a la flexotracción del hormigón y el nivel tensional de la losa, para así extender los resultados de la prueba AASHO a condiciones distintas de suelos y hormigones.

Al graficar $\log(W)$ versus $\log\left(S_c/\sigma_t\right)$ se obtiene una relación lineal que fue modelada como sigue:

$$\log(W) = A + B\log\left(\frac{S_c}{\sigma_t}\right) \quad (5)$$

Donde:
W : Número de repeticiones de cargas de eje para llegar a un índice de serviciabilidad final, P_2.
A : Constante de regresión.
B : Pendiente de la curva graficada.
S_c : Resistencia media a la flexotracción del hormigón a los 28 días, con carga en los tercios, obtenida para la Prueba AASHO (4,75 MPa).
σ_t : Tensión máxima de tracción para carga de borde, calculada mediante resultados del programa computacional de elementos finitos 3DPAVE, considerando una carga de 80 kN en las condiciones de la Prueba AASHO. Esta tensión considera el efecto del diferencial de temperatura a través de la losa y la tensión debido a carga.

A 14.1.3 DESARROLLO DE TENSIONES EN LA LOSA

En el desarrollo del modelo de tensión se utilizaron principios mecanicistas, análisis dimensional y regresión, cubriendo un gran número de datos.

El modelo de tensión de tracción máxima, considerando carga de borde y efectos de temperatura, se presenta en la siguiente ecuación:

$$\sigma_t = \sigma_l \cdot TB \cdot F \cdot \left(1{,}0 + \left(\frac{5}{9}\right) \cdot b \cdot \Delta T(+)\right) \; [MPa] \quad (6)$$

Donde:
σ_l : Tensión de tracción máxima en la losa de hormigón para una condición de carga de borde, en MPa, dada por la ecuación que se presenta a continuación:

$$\sigma_l = \frac{80012743}{D^2} \cdot \left[4{,}227 - 4{,}547 \cdot \left(\frac{180}{l}\right)^{0,2} - 0{,}00158 \cdot \left(\frac{E_b \cdot H_b}{k}\right)^{0,5} - 0{,}0308 \cdot \left(H_b \cdot \left(\frac{E_b}{E_c}\right)^{0,75}\right)^{0,5}\right] \quad (7)$$

Además, el término l se calcula de la siguiente manera:

$$l = 5{,}622 \cdot \sqrt[4]{\frac{E_c \cdot D^3}{12 \cdot \left(1 - \mu^2\right) \cdot k}} \; [mm] \quad (8)$$

Donde:
D : Espesor de losa, mm
E_c : Módulo de elasticidad del hormigón, MPa
E_b : Módulo de elasticidad de la base, MPa
H_b : Espesor de la base, mm
k : Módulo de reacción de la subrasante, MPa/m
μ : Razón de Poisson para el hormigón
TB: Factor de ajuste por tipo de confinamiento, el cual es presentado en la siguiente Tabla A 14.1.

TABLA A 14.1
FACTOR DE AJUSTE POR CONFINAMIENTO AASHTO 1998

TIPO DE SOLERA	FACTOR DE AJUSTE POR TIPO DE SOLERA (TB)
Solera de hormigón amarrada	0,94

F : Factor de ajuste por fricción, calculado a partir de la siguiente expresión:

$$F = 1{,}117 - 2{,}457 \cdot 10^{-7} \cdot D \cdot E_b - 4{,}549 \cdot 10^{-4} \cdot D + 9{,}100 \cdot 10^{-5} \cdot E_b - 0{,}000315 \cdot f \quad (9)$$

f : Coeficiente de fricción entre la losa y la base, el cual se obtiene a partir de la Tabla 14.14.
b : Factor de ajuste por longitud de losa, calculado como se muestra a continuación:

$$\log b = -1.944 + 2{,}279 \cdot \frac{D}{l} + 91{,}7 \cdot \frac{L}{l} - 75718996{,}95 \cdot \frac{D^2}{k \cdot l^4} + \left(\frac{0{,}731}{l}\right) \cdot \left(\frac{E_b \cdot H_b^{1,5}}{k}\right)^{0,5}$$
$$- \; 118{,}872 \cdot \frac{D^2}{k \cdot l^2} - 8{,}711 \cdot 10^{10} \cdot \frac{D^3 \cdot L}{k \cdot l^6} \quad (10)$$

$\Delta T(+)$: Diferencial efectivo de temperatura positivo. Se define como la diferencia entre la temperatura de a fibra superior e inferior de la losa, en °C, y se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$\Delta T(+) = 12{,}33 - \frac{2385{,}715}{D} + 0{,}707 \cdot WIND + 0{,}596 \cdot TEMP - 5{,}924 \cdot 10^{-4} \cdot PRECIP \quad (11)$$

Donde:
WIND = Velocidad media anual del viento, nudos
TEMP = Temperatura media anual del ambiente, °C
PRECIP = Precipitación anual, mm

Además, para el diferencial efectivo de temperatura negativo se determinó la siguiente expresión:

$$\Delta T(-) = -28{,}62 + \frac{2377{,}897}{D} + 0{,}817 \cdot WIND + 0{,}227 \cdot TEMP + 2{,}884 \cdot 10^{-4} \cdot PRECIP \quad (12)$$

Cabe mencionar que el análisis anterior asume que si no existe diferencial de temperatura a través del espesor de la losa, entonces la losa se encuentra totalmente plana. Notar que la máxima tensión, σ_t, corresponde a la tensión combinada de una carga de borde y un diferencial positivo de temperatura.

A 14.1.4 EXTENSIÓN TEÓRICA

Con la incorporación de este modelo se han generado tres rectas $\log(W)$ versus $\log\left(S_c/\sigma_t\right)$ para valores terminales de serviciabilidad P_2=1.5, 2.5 y 3.5, determinándose valores para la pendiente de la recta (B).

Posteriormente, se desarrollaron ecuaciones para B (pendiente) y para la constante A (no fue usada directamente), las cuales se presentan a continuación:

$$B = 5{,}065 - 0{,}03295 \times P_2^{2,4} \quad (13) \quad ; \quad A = 5{,}102 - 0{,}00713 \times P_2^{2,4} \quad (14)$$

Al combinar las ecuaciones (13) y (14) en la ecuación (1) se origina una relación mecánico-empírica entre el número de cargas de eje aplicados para alcanzar una serviciabilidad final P_2, y la razón entre la resistencia a la flexotracción del hormigón a los 28 días y el nivel tensional de la losa. Dicha expresión es la que se presenta a continuación:

$$\partial \log(W) = B \times \partial\left(\log\left(\frac{S_c}{\sigma_t}\right)\right) \quad (15)$$

La idea de aplicar el diferencial apunta a poder relacionar los resultados obtenidos para un tipo de pavimento y un tipo de condiciones, con otros diferentes. Esto significa que la diferencia de aplicaciones de carga entre un pavimento de la prueba AASHO de características descritas por $\left(S_c/\sigma_t\right)$ y uno de características de diseño distintas $\left(S_c'/\sigma_t'\right)$, queda en la siguiente relación:

$$\log(W') - \log(W) = B \times \left(\log\left(\frac{S_c'}{\sigma_t'}\right) - \log\left(\frac{S_c}{\sigma_t}\right)\right) \quad (16)$$

Reemplazando la ecuación (13) en la ecuación (16), se obtiene la diferencia entre número de repeticiones de carga entre un pavimento de la prueba AASHO y otro con características distintas:

$$\log(W') - \log(W) = \left(5{,}065 - 0{,}03295 \times P_2^{2,4}\right) \times \left(\log\left(\frac{S_c'}{\sigma_t'}\right) - \log\left(\frac{S_c}{\sigma_t}\right)\right) \quad (17)$$

Donde:
W' = Número de repeticiones de cargas de eje para alcanzar un nivel de serviciabilidad final P_2 en un pavimento similar al de la prueba AASHO, pero con propiedades físicas descritas por (S_c'/σ_t').
W = Número de repeticiones de cargas de eje para alcanzar un nivel de serviciabilidad final P_2 en un pavimento de la prueba AASHO con propiedades físicas descritas por (S_c/σ_t)

(S_c'/σ_t') = Razón de resistencia para pavimentos con propiedades modificadas.
(S_c/σ_t) = Razón de resistencia para pavimentos de la prueba AASHO.

A 14.1.5 VARIABLES PARA LA PRUEBA AASHO

Los parámetros que representan a la prueba AASHO son:

S_c = 4,75 MPa.
E_c = 28940 MPa.
μ = 0,20
K = 30 MPa/m, módulo de reacción de la subrasante ajustado estacionalmente, obtenido de la siguiente tabla:

TABLA A 14.2
DETERMINACIÓN DE K PARA LAS CONDICIONES DE LA PRUEBA AASHO

ESTACIÓN	MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE, k (Mpa)
Primavera	21
Verano	27
Otoño	30
Invierno	16
Valor efectivo	30

L = 4572 mm
E_b = 172 MPa
H_b = 152 mm
TB = 1,00
f = 1,4 (base granular)
$\Delta T(+)_{AASHO}$ = Diferencial efectivo de temperatura positivo, para las condiciones de la prueba AASHO, °C, el cual viene dado por la siguiente ecuación:

$$\Delta T(+)_{AASHO} = 25,308 - \frac{2527,859}{D} \qquad (18)$$

A 14.1.6 ECUACIÓN DE DISEÑO

Reemplazando las variables obtenidas de la Prueba AASHO, se obtiene la ecuación final para un 50% de confiabilidad, dada por la siguiente ecuación:

$$\log(W') = \log(W) - \left(5,065 - 0,03295 \times P_2^{2,4}\right) \times \left(\log\left(\frac{S_c'}{\sigma_t'}\right) - \log\left(\frac{S_c}{\sigma_t}\right)\right) \qquad (19)$$

Donde:

W' = Número de ejes equivalentes estimados para la vida de diseño

W = Número de ejes equivalentes estimados por la ecuación (1)

σ_t = Tensión calculada por la ecuación (6) para las constantes de la prueba AASHO

σ_t' = Tensión calculada por la ecuación (6) para pavimentos en diseño

La confiabilidad en el diseño es incorporada de la siguiente manera:

$$W_R' = 10^{(\log W' + Z_R \times S_0)} \qquad (20)$$

Donde:

W_R' = Ejes equivalentes estándar de 80 kN, acumulados durante la vida de diseño, para un nivel de confiabilidad R.

Z_R = Coeficiente estadístico asociado al nivel de confiabilidad R en una curva de distribución normal estándar.

S_O = Desviación estándar de la combinación de errores de predicción de tránsito y de predicción del comportamiento general del pavimento, para un nivel de tránsito dado.

A 14.1.7 VERIFICACIÓN DE CARGA CRÍTICA PARA PAVIMENTOS DE HORMIGÓN SIMPLE CON JUNTAS SIN DISPOSITIVOS DE TRANSFERENCIA DE CARGA

El método en estudio supone que la carga crítica es aquella ubicada en el borde de la mitad de la losa, puesto que esta fue la ubicación de las mayores tensiones durante la realización de la prueba AASHO. Esto se debió a que todas las juntas tenían barras de traspaso de carga y, por lo tanto, no se presentó agrietamiento de esquina. Resultados similares se obtuvieron utilizando el programa computacional 3DPAVE en pavimentos de hormigón con barras de traspaso de carga.

Es posible que bajo ciertas condiciones climáticas y de construcción, una carga de esquina pueda producir tensiones de tracción más altas que aquellas producidas por una condición de carga de borde. Estas altas tensiones de tracción en vecindades de la esquina de losa pueden desarrollar grietas de esquina u oblicuas, a poca distancia de la junta. Para pavimentos con buena transferencia de carga, estas tensiones son reducidas sustancialmente.

Es difícil cuantificar la tensión producto del alabeo de construcción y del alabeo por gradiente de humedad en forma separada. Sin embargo, ambos efectos pueden ser considerados conjuntamente como el diferencial positivo de temperatura que se requiere para llevar la losa a la posición plana (AASHTO, 1998). El método AASHTO 1998 propone, para considerar el efecto del alabeo por humedad y construcción, utilizar un gradiente de temperatura equivalente (negativo). A continuación, se muestran los intervalos recomendados, en función del tipo de clima:

TABLA A 14.3
GRADIENTES DE TEMPERATURA EQUIVALENTE

CLIMA	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (MM)	GRADIENTE DE TEMPERATURA EQUIVALENTE (NEGATIVO) [°C/mm de losa]
Seco	< 762	0,022 - 0,066
Húmedo	≥ 762	0 - 0,044

El método AASHTO 1998 recomienda una verificación de tensión crítica en los pavimentos de hormigón sin barras de traspaso de carga, la que consiste en comparar la tensión debida a una condición de carga de borde con la tensión máxima en la losa, debida a una carga de esquina. Si la tensión por carga de esquina es mayor que la tensión por carga de borde, podría desarrollarse agrietamiento oblicuo y de esquina.

Mediante la utilización del programa computacional 3DPAVE, se calcularon las tensiones máximas originadas por una carga de esquina y temperatura, considerando borde libre. Las tensiones máximas obtenidas se muestran en el Anexo Art. A 14.2.

A continuación, se describen los pasos a seguir en la verificación de tensión crítica para pavimentos de hormigón simple, sin dispositivos de transferencia de carga:

a. Determinar el espesor de losa requerido, asumiendo que la carga crítica es aquella ubicada en el borde de la losa.

b. Calcular la tensión de borde. Esta tensión se calculó previamente en la letra a) para la obtención del espesor de la losa.

c. Estimar el diferencial negativo total equivalente de temperatura, mediante la superposición de los siguientes diferenciales negativos:

c1. Diferencial efectivo de temperatura negativo.

Se calcula a partir de la siguiente relación:

$$\Delta T(-) = -28,62 + \frac{2377,897}{D} + 0,817 \times WIND + 0,227 \times TEMP + 2,884 \times 10^{-4} \times PRECIP \qquad (21)$$

Donde:

$\Delta T(-)$: Diferencial efectivo de temperatura negativo. Se define como la diferencia entre la temperatura de la fibra superior e inferior de la losa, en °C.

D : Espesor de losa, mm.

WIND : Velocidad media anual del viento, nudos.

TEMP : Temperatura media anual del ambiente, °C.

PRECIP : Precipitación anual, mm.

c.2. Gradiente negativo de temperatura equivalente, debido a curvatura por construcción y humedad.

Su valor es presentado en la Tabla A 14.3 para cada tipo de clima.

d. Estimar la tensión crítica en la fibra superior de la losa, producto de la acción combinada de una carga de esquina y de un diferencial negativo de temperatura. Esta tensión se estima a partir de los gráficos que se presentan en el Art. A 14.2. Dichos gráficos están referidos para dos tipos de base y tres tipos de subrasante y asumen losa totalmente adherida a la base; por lo tanto, se multiplica por un factor de ajuste para considerar este efecto.

e. Comparar la tensión producto de una carga de borde de la mitad de la losa y la tensión producida por una carga de esquina.

Si la tensión, producto de una carga en la junta, combinada con un gradiente negativo de temperatura, es mayor que aquella que produce una carga ubicada en la mitad de la losa, combinada con un gradiente positivo de temperatura, entonces se rediseña la junta para reducir la tensión por condición de carga de esquina. Este rediseño puede incluir el uso de barras de traspaso de carga, ensanche de pista (berma de pista ensanchada), el uso de bermas amarradas, modificar la longitud de la losa, cambiar tipo de base, etc. Un efecto secundario al mejorar la transferencia de carga, es la reducción de las deflexiones en las esquinas.

Cabe recordar que esta verificación no es necesaria si el diseño incluye barras de transferencia de carga en las juntas.

A 14.1.8 VERIFICACIÓN POR ESCALONAMIENTO

Durante la prueba AASHO todos los pavimentos poseían dispositivos de transferencia de carga y, por lo tanto, no se observaron problemas importantes de escalonamiento durante los dos años de prueba.

Si las juntas no poseen un adecuado sistema de transferencia de carga, se podrían presentar problemas de un escalonamiento importante. El escalonamiento es uno de los más serios deterioros del pavimento de hormigón, afectando las juntas y principalmente, la serviciabilidad. Es así como algún pavimento con un escalonamiento significativo podría reducir su serviciabilidad y alcanzar cargas de tránsito más bajas para el índice de serviciabilidad final, para el cual fue diseñado.

El Método AASHTO 1998 recomienda el siguiente procedimiento para asegurar una adecuada transferencia de carga en las juntas, controlando de esta manera el escalonamiento:

a. Determinar el espesor de la losa de diseño. Esto requiere, además, haber seleccionado la longitud de la losa, tipo de base, fricción losa-base y tipo de transferencia de carga.

b. El diseño de las juntas para controlar el escalonamiento, incluye el diseño del tipo de base, espaciamiento de las juntas, presencia de drenaje, diámetro y espaciamiento de las barras de traspaso de carga, si se usan.

c. Las siguientes ecuaciones predicen el escalonamiento promedio, tanto para pavimentos con barras, como sin barras de transferencia de carga (AASHTO, 1998).

c.1. Modelo de escalonamiento para juntas con dispositivos de transferencia de carga:

$$\begin{aligned} FAULTD = {} & CESAL^{0,25} \times (0,0628 - 0,0628 \times C_d + 0,3673 \times 10^{-8} \times Bstress^2 \\ & + 0,4116 \times 10^{-5} \times Jtspace^2 + 0,7466 \times 10^{-9} \times FI^2 \times PRECIP^{0,5} \\ & - 0,009503 \times Basetype - 0,01917 \times Widenlane + 0,0009217 \times Age) \end{aligned} \qquad (22)$$

Donde:

FAULDT : Escalonamiento promedio predicho para pavimentos de hormigón simple con juntas con barras de traspaso de carga, pulg.

CESAL : Ejes equivalentes para el periodo de diseño, millones.

C_d : Coeficientes de drenaje AASHTO modificado, dados por la Tabla A 14.4.

TABLA A 14.4
COEFICIENTE DE DRENAJE AASHTO MODIFICADO

DRENAJE LONGITUDINAL	CLIMA	SUBRASANTE GRAD. FINA		SUBRASANTE GRAD. GRUESA	
		Base No Permeable	Base Permeable	Base No Permeable	Base Permeable
NO	HÚMEDO	0,70 - 0,90	0,85 - 0,95	0,75 - 0,95	0,90 - 1,00
NO	SECO	0,90 - 1,10	0,95 - 1,05	0,90 - 1,15	1,00 - 1,10
SI	HÚMEDO	0,75 - 0,95	1,00 - 1,10	0,90 - 1,10	1,05 - 1,15
SI	SECO	0,95 - 1,15	1,10 - 1,20	1,10 - 1,20	1,15 - 1,20

Para la correcta evaluación de dicha variable, es necesario contemplar los siguientes aspectos:

- Se clasifican como Subrasantes Finas, aquellas de las clases A-4 a la A-7 de la clasificación de suelos AASHTO. En esta clasificación se incluyen los tipos de subrasantes existentes clasificadas como ML, CL y CH, según la clasificación de suelos de la ASTM.
- Se clasifican como Subrasantes Gruesas, aquellas de las clases A-1 a la A-3 de la clasificación de suelos AASHTO. Y por defecto, aquellas que no entran en la clase anterior.
- Se clasifican las bases, según las características propias de permeabilidad que estas tengan. Una base se define como Permeable, si es Granular (GR) o Base Abierta Ligada (BAL) y no Permeable, si la base es tratada con cemento (BTC).
- Se clasifica como Clima Húmedo si la precipitación promedio anual es mayor a 25 pulg/año (762 mm/año) y como Clima Seco en caso contrario.

Bstress : Esfuerzo máximo de corte en el hormigón, en lbf/pulg^2, dado por la siguiente ecuación:

$$Bstress = f_d \times P \times T \times \left(\frac{K_d \times (2 + BETA \times OPENING)}{4 \times E_S \times I \times BETA^3} \right) \qquad (23)$$

Los términos involucrados en esta expresión se calculan de la siguiente manera:

BETA: Rigidez relativa del sistema Hormigón - Barra.

$$BETA = \sqrt[4]{\frac{K_d \times DOWEL}{4 \times E_s \times I}} \qquad (24)$$

f_d = factor de distribución.

$$f_d = \frac{2 \times 12}{l + 12} \qquad (25)$$

l : Radio de rigidez relativo losa-suelo de fundación, pulg.
I : Momento de inercia de la barra de transferencia de carga en torno a su centro de gravedad, pulg^4.

$$I = 0,25 \times \pi \times \left(\frac{DOWEL}{2} \right)^4 \qquad (26)$$

P : Carga aplicada, 9000 lbf (40 kN).
T : Porcentaje de transferencia de carga, 0.45.
K_d : Módulo de reacción de la barra, 1500000 lbf/pulg^3 (405 MPa/mm).
BETA : Rigidez relativa del sistema hormigón-barra.
DOWEL : Diámetro de la barra, pulg.
E_s : Módulo de elasticidad de la barra, lbf/pulg^2.
OPENING : Abertura promedio de la junta transversal, pulg. Se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$OPENING = 12 \times CON \times Jtspace \times \left(\frac{ALPHA \times TRANGE}{2 + e} \right) \qquad (28)$$

Jtspace : Longitud de losa promedio, pies.
CON : Factor de ajuste, debido a restricción friccional base/losa. Tiene un valor de 0,65 para una base tratada y de 0,80 para una base granular o base de hormigón pobre agrietada.
ALPHA : Coeficiente de dilatación térmica del hormigón, 0,000006/°F (0,00003/°C).
TRANGE : Rango de temperatura, °F.
e : Coeficiente de retracción del hormigón.
FI : Índice de congelamiento medio anual, °F-días.
PRECIP : Precipitación anual, pulg.
Basetype = 0 para base no tratada.
= 1 para base tratada.
Widenlane = 0 si se trata de una berma de pista ensanchada.
= 1 si no se trata de una berma de pista ensanchada.
Age : Edad del pavimento, años.

c.2) Modelo de escalonamiento para juntas sin dispositivos de transferencia de carga.
El escalonamiento promedio para pavimentos de hormigón simple sin barras de transferencia de carga, se calcula de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} FAULTND = {} & CESAL^{0,25} \times (0,2347 - 0,1516 \times C_d + 0,000250 \times \left(\frac{Slabthick^2}{Jtspace^{0,25}} \right) \\ & -0,0155 \times Basetype + 0,7784 \times 10^{-7} \times FI^{1,5} \times PRECIP^{0,25} \\ & -0,02478 \times Days90^{0,5} - 0,0145 \times Widenlane) \end{aligned} \qquad (29)$$

Donde:
FAULTND : Escalonamiento promedio predicho para pavimentos de hormigón simple sin barras de transferencia de carga, pulg.
Days90 : Número de días con temperaturas máximas mayores a los 90°F (32.2°C).
Jtspace : Longitud de losa promedio, pies.
Slabthick : Espesor de losa, pulg.

El escalonamiento predicho es comparado con los niveles máximos recomendados. Si el escalonamiento predicho por el modelo es mayor que el nivel recomendado, entonces se rediseña la junta transversal. El rediseño pasa por el uso de barras de traspaso de cargas, o si estas existen, se incrementa su diámetro. También se puede seleccionar un tipo diferente de base y drenaje, o disminuir la longitud de la losa. No es recomendable aumentar el espesor de losa, puesto que se ha comprobado que en la práctica tiene un efecto mínimo (AASHTO 1998).

TABLA A 14.5
NIVELES RECOMENDADOS DE ESCALONAMIENTO MÁXIMO ADMISIBLE POR AASHTO 1998

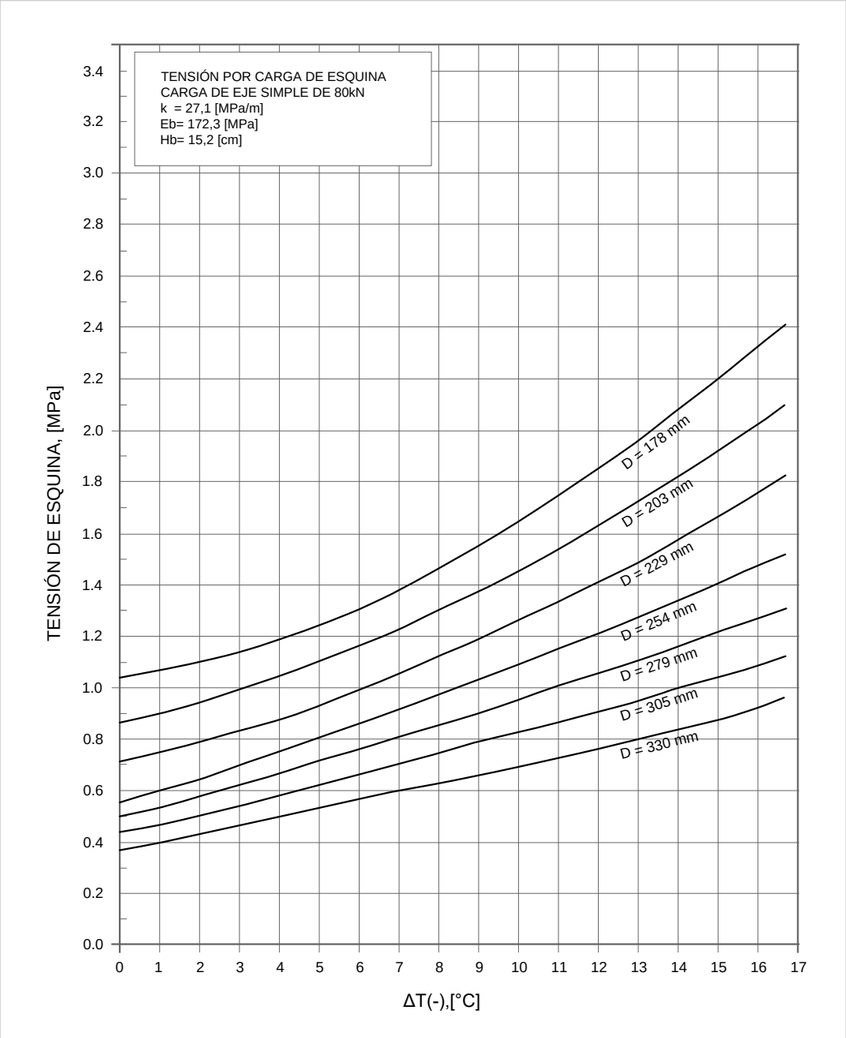
ESTACIÓN	ESCALONAMIENTO MÁXIMO ADMISIBLE (pulg)
Menor a 25 pies (7,6 m)	0,06 (1,5 mm)
Mayor a 25 pies (7,6 m)	0,13 (3,3 mm)

d. Los valores máximos admisibles, mostrados anteriormente, corresponden a una extensa recopilación de datos en los Estados Unidos, de modo que el índice de serviciabilidad final obtenido sea aproximadamente igual a 3.0. Los valores máximos recomendados de escalonamiento fueron obtenidos con un 50% de confiabilidad.

Cabe mencionar que los niveles de escalonamiento admisibles, recomendados por AASHTO 1998, son demasiado bajos para la realidad nacional. Especialistas en el tema, recomiendan un escalonamiento promedio admisible de 5 mm.

ART. A.14.2 TENSIÓN DE TRACCIÓN DADA POR LA ACCIÓN COMBINADA DE CARGA DE ESQUINA Y UN DIFERENCIAL NEGATIVO DE TEMPERATURA (1)

FIGURA A 14.1
TENSIÓN DE TRACCIÓN EN LA FIBRA SUPERIOR DE LA LOSA DEBIDO A LA ACCIÓN COMBINADA DE CARGA DE ESQUINA Y UN DIFERENCIAL NEGATIVO DE TEMPERATURA



(1) El diferencial negativo de temperatura es consecuencia del efecto de temperatura, alabeo de construcción y humedad. El diferencial por efecto de temperatura se define como la diferencia entre la temperatura de la fibra superior e inferior de la losa, en ºC. Para el alabeo de construcción y humedad, se sugiere utilizar 0,022 ºC/mm en clima húmedo (Precip. > 760 mm) y 0,044 ºC en clima seco (Precip.< 760 mm).

FIGURA A 14.2
TENSIÓN DE TRACCIÓN EN LA FIBRA SUPERIOR DE LA LOSA DEBIDO A LA ACCIÓN COMBINADA DE CARGA DE ESQUINA Y UN DIFERENCIAL NEGATIVO DE TEMPERATURA

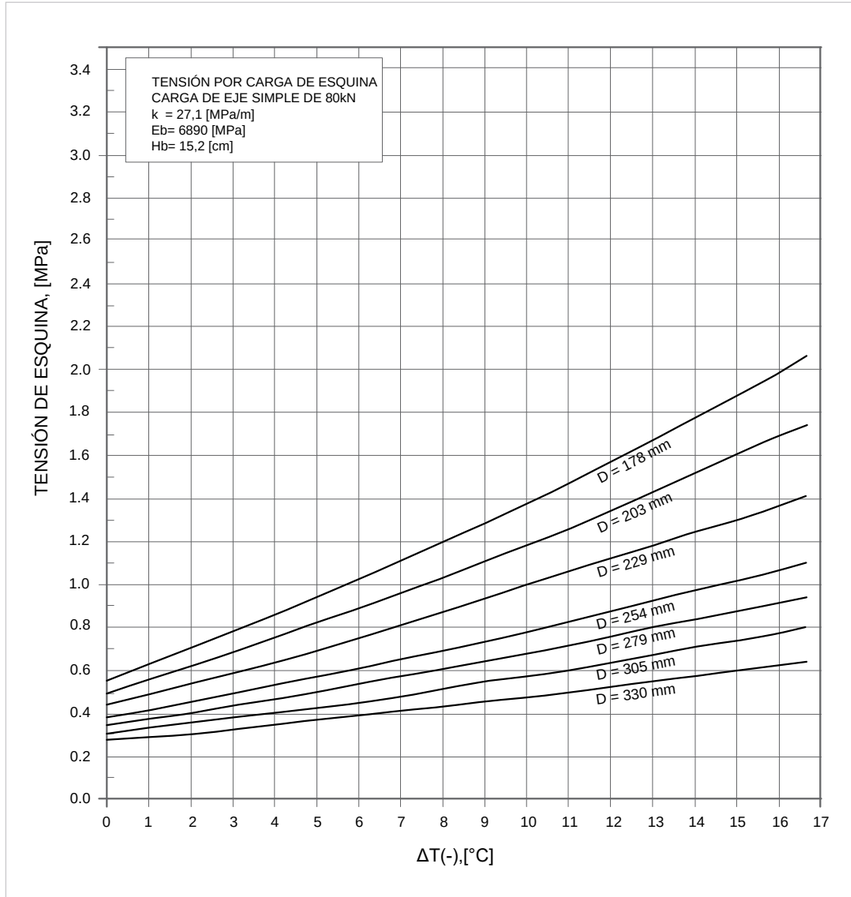


FIGURA A 14.3
TENSIÓN DE TRACCIÓN EN LA FIBRA SUPERIOR DE LA LOSA DEBIDO A LA ACCIÓN COMBINADA DE CARGA DE ESQUINA Y UN DIFERENCIAL NEGATIVO DE TEMPERATURA

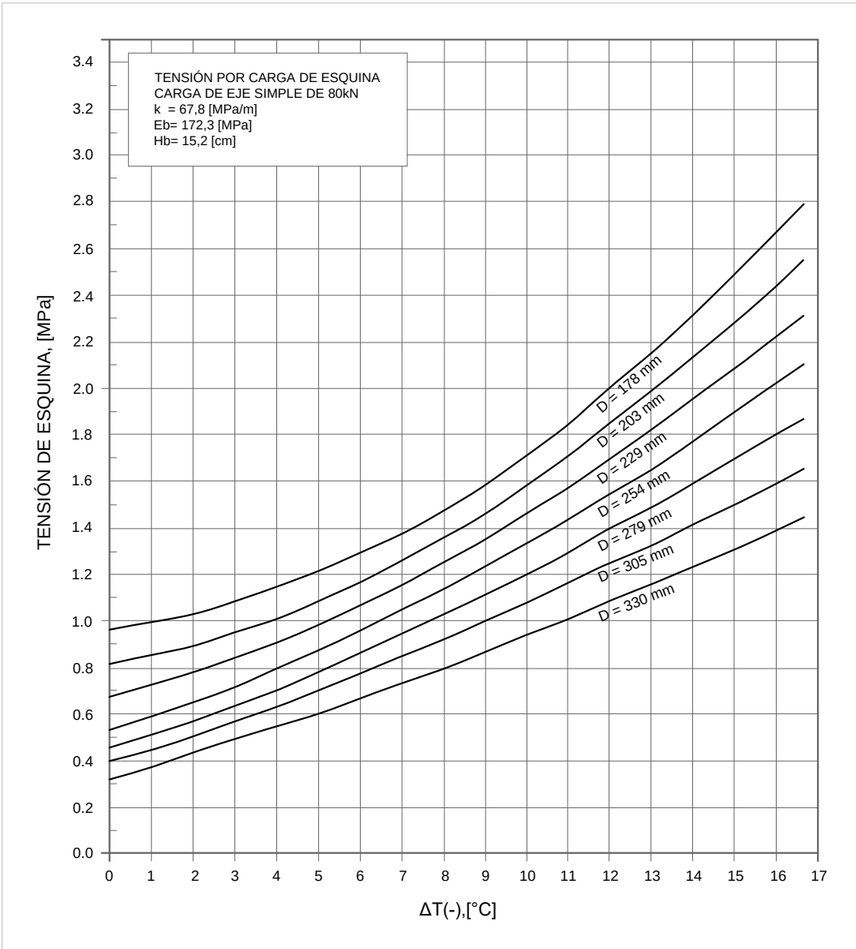


FIGURA A 14.4
TENSIÓN DE TRACCIÓN EN LA FIBRA SUPERIOR DE LA LOSA DEBIDO A LA ACCIÓN COMBINADA DE CARGA DE ESQUINA Y UN DIFERENCIAL NEGATIVO DE TEMPERATURA

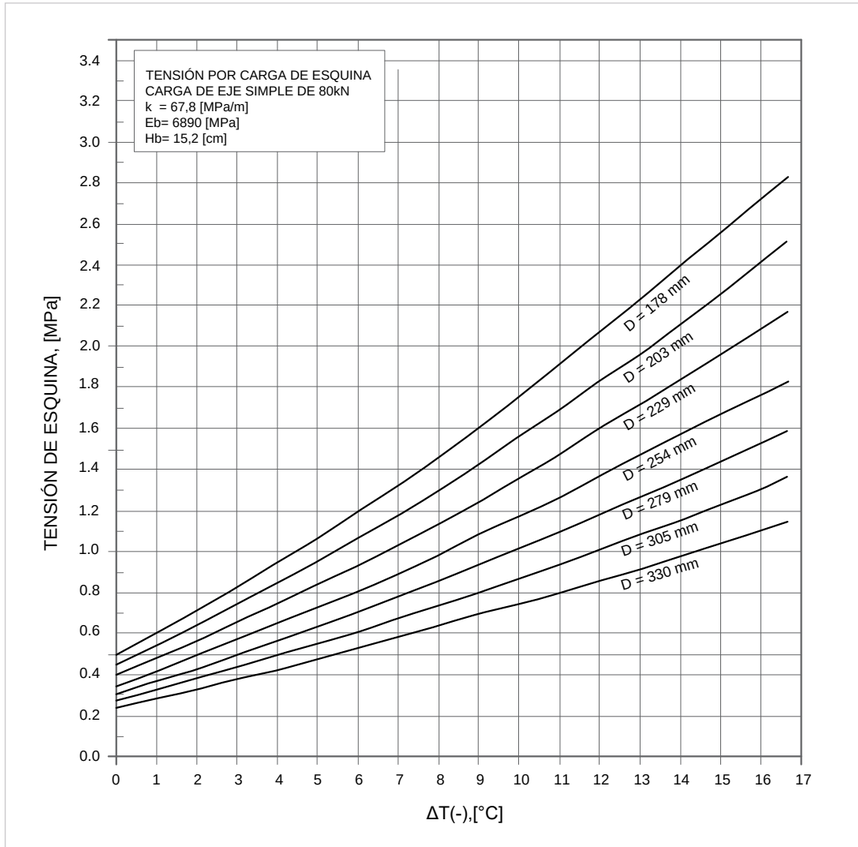


FIGURA A 14.5
TENSIÓN DE TRACCIÓN EN LA FIBRA SUPERIOR DE LA LOSA DEBIDO A LA ACCIÓN COMBINADA DE CARGA DE ESQUINA Y UN DIFERENCIAL NEGATIVO DE TEMPERATURA

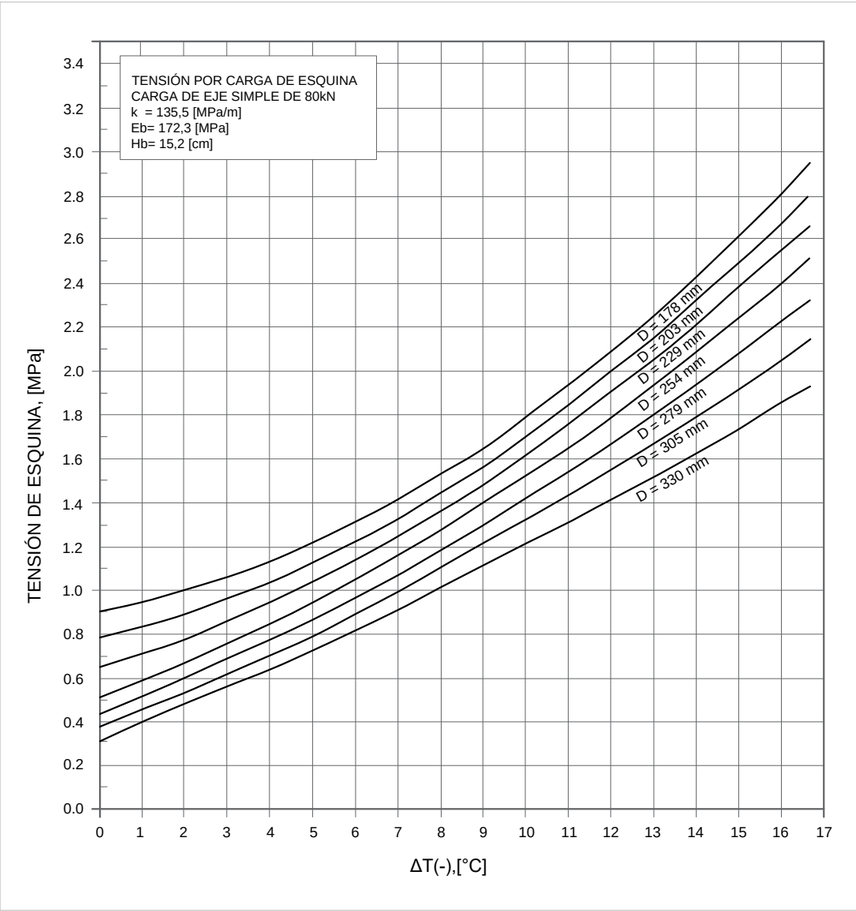
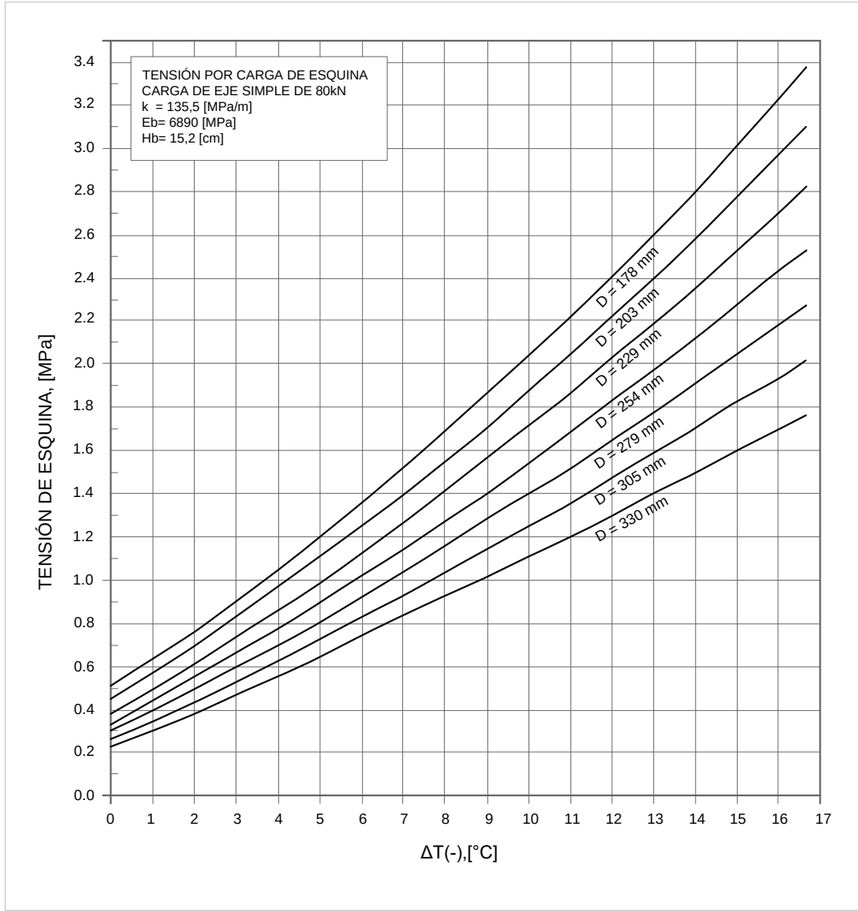


FIGURA A 14.6
TENSIÓN DE TRACCIÓN EN LA FIBRA SUPERIOR DE LA LOSA DEBIDO A LA ACCIÓN COMBINADA DE CARGA DE ESQUINA Y UN DIFERENCIAL NEGATIVO DE TEMPERATURA



ART. A.14.3 FACTORES DE EQUIVALENCIA PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS

TABLA A 14.6
EJE SIMPLE Y SERVICIABILIDAD FINAL (P_t) DE 2

CARGA EJE (kips)	ESPESOR LOSA, D (pulgadas)							
	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002
4	002	002	002	002	002	002	002	002
6	010	010	010	010	010	010	010	010
8	033	032	032	032	032	032	032	032
10	084	082	081	080	080	080	080	080
12	180	176	175	174	174	173	173	173
14	346	341	338	337	336	336	336	336
16	609	604	601	599	599	598	598	598
18	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00
20	1 56	1 57	1 58	1 58	1 59	1 59	1 59	1 59
22	2 32	2 35	2 38	2 40	2 41	2 41	2 41	2 42
24	3 34	3 40	3 47	3 51	3 53	3 54	3 55	3 55
26	4 69	4 77	4 88	4 97	5 02	5 04	5 06	5 06
28	6 44	6 52	6 70	6 85	6 94	7 00	7 02	7 04
30	8 68	8 74	8 98	9 23	9 39	9 48	9 54	9 56
32	11 5	11 5	11 8	12 2	12 4	12 6	12 7	12 7
34	15 0	14 9	15 3	15 8	16 2	16 4	16 6	16 7
36	19 3	19 2	19 5	20 1	20 7	21 1	21 4	21 5
38	24 5	24 3	24 6	25 4	26 1	26 7	27 1	27 4
40	30 8	30 4	30 7	31 6	32 6	33 4	34 0	34 4
42	38 4	30 4	30 7	31 6	32 6	33 4	34 0	34 4
44	47 3	46 4	46 6	47 6	49 0	50 4	51 6	52 4
46	57 7	56 6	56 7	57 7	59 3	61 1	62 6	63 7
48	69 9	68 4	68 4	69 4	71 2	73 3	75 3	76 8
50	84 1	82 2	82 0	83 0	84 9	87 4	89 8	91 7

TABLA A 14.7
EJE TÁNDEM Y SERVICIABILIDAD FINAL (P_t) DE 2

CARGA EJE (kips)	ESPESOR LOSA, D (pulgadas)							
	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001
4	0005	0005	0005	0005	0005	0005	0005	0005
6	002	002	002	002	002	002	002	002
8	006	005	005	005	005	005	005	005
10	013	013	012	012	012	012	012	012
12	026	026	025	025	025	025	025	025
14	049	048	047	047	047	047	047	047
16	084	082	081	081	080	080	080	080
18	136	133	132	131	131	131	131	131
20	210	206	204	203	203	203	203	203
22	313	307	305	304	303	303	303	303
24	449	444	441	440	439	439	439	439
26	626	622	620	618	618	618	618	618
28	851	850	850	850	849	849	849	849
30	1 13	1 14	1 14	1 14	1 14	1 14	1 14	1 14
32	1 48	1 49	1 50	1 51	1 51	1 51	1 51	1 51
34	1 90	1 93	1 95	1 96	1 97	1 97	1 97	1 97
36	2 41	2 45	2 49	2 51	2 52	2 53	2 53	2 53
38	3 02	3 07	3 13	3 17	3 19	3 20	3 20	3 21
40	3 74	3 80	3 89	3 95	3 98	4 00	4 01	4 01
42	4 59	4 66	4 78	4 87	4 93	4 95	4 97	4 97
44	5 59	5 67	5 82	5 95	6 03	6 07	6 09	6 10
46	6 76	6 83	7 02	7 20	7 31	7 37	7 41	7 43
48	8 12	8 17	8 40	8 63	8 79	8 88	8 92	8 96
50	9 69	9 72	9 98	10 27	10 49	10 62	10 69	10 73
52	11 5	11 5	11 8	12 1	12 4	12 6	12 7	12 8
54	13 5	13 5	13 8	14 2	14 6	14 9	15 0	15 1
56	15 9	15 8	16 1	16 6	17 1	17 4	17 6	17 7
58	18 5	18 4	18 7	19 3	19 8	20 3	20 5	20 7
60	21 5	21 3	21 6	22 3	22 9	23 5	23 8	24 0
62	24 9	24 6	24 9	25 6	26 4	27 0	27 5	27 7
64	28 6	28 2	28 5	29 3	30 2	31 0	31 6	31 9
66	32 8	32 3	32 6	33 4	34 4	35 4	36 1	36 5
68	37 5	36 8	37 1	37 9	39 1	40 2	41 1	41 6
70	42 7	41 9	42 1	42 9	44 2	45 5	46 6	47 3
72	48 4	47 5	47 6	48 5	49 9	51 4	52 6	53 5
74	54 7	53 6	53 6	54 6	56 1	57 7	59 2	60 3
76	61 7	60 4	60 3	61 2	62 8	64 7	66 4	67 7
78	69 3	67 8	67 7	68 6	70 2	72 3	74 3	75 8
80	77 6	75 9	75 7	76 6	78 3	80 6	82 8	84 7
82	86 7	84 7	84 4	85 3	87 1	89 6	92 1	94 2
84	97	94	94	95	97	99	102	105
86	107	105	104	105	107	110	113	116
88	119	116	116	116	118	121	125	128
90	132	129	128	129	131	134	137	141

TABLA A 14.8
EJE TRIPLE Y SERVICIABILIDAD FINAL (P_t) DE 2

CARGA EJE (kips)	ESPESOR LOSA, D (pulgadas)							
	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001
4	0003	0003	0003	0003	0003	0003	0003	0003
6	0009	0009	0009	0009	0009	0009	0009	0009
8	002	002	002	002	002	002	002	002
10	005	005	005	005	005	005	005	005
12	010	009	009	009	009	009	009	009
14	017	017	016	016	016	016	016	016
16	029	028	027	027	027	027	027	027
18	045	044	044	043	043	043	043	043
20	069	067	066	066	066	066	066	066
22	101	099	098	097	097	097	097	097
24	144	141	139	139	138	138	138	138
26	199	195	194	193	192	192	192	192
28	270	265	263	262	262	262	262	261
30	359	354	351	350	349	349	349	349
32	468	463	460	459	458	458	458	458
34	600	596	594	593	592	592	592	592
36	758	757	756	755	755	755	755	755
38	947	949	950	951	951	951	951	951
40	1 17	1 18	1 18	1 18	1 18	1 18	1 18	1 19
42	1 43	1 44	1 45	1 46	1 46	1 46	1 46	1 46
44	1 73	1 75	1 77	1 78	1 78	1 79	1 79	1 79
46	2 07	2 10	2 13	2 15	2 16	2 16	2 16	2 17
48	2 47	2 51	2 55	2 58	2 59	2 60	2 60	2 61
50	2 92	2 97	3 03	3 07	3 09	3 10	3 11	3 11
52	3 44	3 50	3 58	3 63	3 66	3 68	3 69	3 69
54	4 03	4 09	4 20	4 27	4 31	4 33	4 35	4 35
56	4 69	4 76	4 89	4 99	5 07	5 08	5 09	5 10
58	5 44	5 51	5 66	5 79	5 87	5 91	5 94	5 95
60	6 29	6 35	6 53	6 69	6 79	6 85	6 88	6 90
62	7 23	7 28	7 49	7 69	7 82	7 90	7 94	7 97
64	8 28	8 32	8 55	8 80	8 97	9 07	9 13	9 16
66	9 46	9 48	9 73	10 02	10 24	10 37	10 44	10 48
68	10 8	10 8	11 0	11 4	11 6	11 8	11 9	12 0
70	12 2	12 2	12 5	12 8	13 2	13 4	13 5	13 6
72	13 8	13 7	14 0	14 5	14 9	15 1	15 3	15 4
74	15 5	15 4	15 7	16 2	16 7	17 0	17 2	17 3
76	17 5	17 3	17 6	18 2	18 7	19 1	19 3	19 5
78	19 6	19 4	19 7	20 3	20 9	21 4	21 7	21 8
80	21 9	21 6	21 9	22 6	23 3	23 8	24 2	24 4
82	24 4	24 1	24 4	25 0	25 8	26 5	26 9	27 2
84	27 1	26 7	27 0	27 7	28 6	29 4	29 9	30 2
86	30 1	29 6	29 9	30 7	31 6	32 5	33 1	33 5
88	33 3	32 8	33 0	33 8	34 8	35 8	36 6	37 1
90	36 8	36 2	36 4	37 2	38 3	39 4	40 3	40 9

TABLA A 14.9
EJE SIMPLE Y SERVICIABILIDAD FINAL (P_t) DE 2,5

CARGA EJE (kips)	ESPESOR LOSA, D (pulgadas)							
	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002
4	002	002	002	002	002	002	002	002
6	011	010	010	010	010	010	010	010
8	035	033	032	032	032	032	032	032
10	089	084	005	005	005	005	005	005
12	189	181	176	175	174	174	173	173
14	360	347	341	338	337	336	336	336
16	623	610	604	601	599	599	599	598
18	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00
20	1 52	1 55	1 57	1 58	1 58	1 59	1 59	1 59
22	2 20	2 28	2 34	2 38	2 40	2 41	2 41	2 41
24	3 10	3 22	3 36	3 45	3 50	3 53	3 54	3 55
26	4 26	4 42	4 67	4 85	4 95	5 01	5 04	5 05
28	5 76	5 92	6 29	6 61	6 81	6 92	6 98	7 01
30	7 67	7 79	8 28	8 79	9 14	9 35	9 46	9 52
32	10 1	10 1	10 7	11 4	12 0	12 3	12 6	12 7
34	13 0	12 9	13 6	14 6	15 4	16 0	16 4	16 5
36	16 7	16 4	17 1	18 3	19 5	20 4	21 0	21 3
38	21 1	20 6	21 3	22 7	24 3	25 6	26 4	27 0
40	26 5	25 7	26 3	27 9	29 9	31 6	32 9	33 7
42	32 9	31 7	32 2	34 0	36 3	38 7	40 4	41 6
44	40 4	38 8	39 2	41 0	43 8	46 7	49 1	50 8
46	49 3	47 1	47 3	49 2	52 3	55 9	59 0	61 4
48	59 7	56 9	56 8	58 7	62 1	66 3	70 3	70 4
50	71 7	68 2	67 8	69 6	73 3	78 1	83 0	87 1

TABLA A 14.10
EJE TÁNDEM Y SERVICIABILIDAD FINAL (P_f) DE 2,5

CARGA EJE (kips)	ESPESOR LOSA, D (pulgadas)							
	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001
4	0006	0005	0005	0005	0005	0005	0005	0005
6	002	002	002	002	002	002	002	002
8	006	006	005	005	005	005	005	005
10	014	013	013	012	012	012	012	012
12	028	026	026	025	025	025	025	025
14	052	049	048	047	047	047	047	047
16	089	084	082	081	081	080	080	080
18	143	136	133	132	131	131	131	131
20	220	211	206	204	203	203	203	203
22	325	313	308	305	304	303	303	303
24	462	450	444	441	440	439	439	439
26	637	627	622	620	619	618	618	618
28	854	852	850	850	850	849	849	849
30	1 12	1 13	1 14	1 14	1 14	1 14	1 14	1 14
32	1 44	1 47	1 49	1 50	1 51	1 51	1 51	1 51
34	1 82	1 87	1 92	1 95	1 96	1 97	1 97	1 97
36	2 27	2 35	2 43	2 48	2 51	2 52	2 52	2 53
38	2 80	2 91	3 03	3 12	3 16	3 18	3 20	3 20
40	3 42	3 55	3 74	3 87	3 94	3 98	4 00	4 01
42	4 16	4 30	4 55	4 74	4 86	4 91	4 95	4 96
44	5 01	5 16	5 48	5 75	5 92	6 01	6 06	6 09
46	6 01	6 14	6 53	6 90	7 14	7 28	7 36	7 40
48	7 16	7 27	7 73	8 21	8 55	8 75	8 86	8 92
50	8 50	8 55	9 07	9 68	10 14	10 42	10 58	10 66
52	10 0	10 0	10 6	10 3	11 9	12 3	12 5	12 7
54	11 8	11 7	12 3	13 2	13 9	14 5	14 8	14 9
56	13 8	13 6	14 2	15 2	16 2	16 8	17 3	17 5
58	16 0	15 7	16 3	17 5	18 6	19 5	20 1	20 4
60	18 5	18 1	18 7	20 0	21 4	22 5	23 2	23 6
62	21 4	20 8	21 4	22 8	24 4	25 7	26 7	27 3
64	24 6	23 8	24 4	25 8	27 7	29 3	30 5	31 3
66	28 1	27 1	27 6	29 2	31 3	33 2	34 7	35 7
68	32 1	30 9	31 3	32 9	35 2	37 5	39 3	40 5
70	36 5	35 0	35 3	37 0	39 5	42 1	44 3	45 9
72	41 4	39 6	39 8	41 5	44 2	47 2	49 8	51 7
74	46 7	44 6	44 7	46 4	49 3	52 7	55 7	58 0
76	52 6	50 2	50 1	51 8	54 8	58 6	62 1	64 8
78	59 1	56 3	56 1	57 7	60 9	65 0	69 0	72 3
80	66 2	62 9	62 5	64 2	67 5	71 9	76 4	80 2
82	73 9	70 2	69 6	71 2	74 7	79 4	84 4	88 8
84	82 4	78 1	77 3	78 9	82 4	87 4	93 0	98 1
86	92	87	86	87	91	96	102	108
88	102	96	95	96	100	105	112	119
90	112	106	105	106	110	115	123	130

TABLA A 14.11
EJE TRIPLE Y SERVICIABILIDAD FINAL (P_f) DE 2,5

CARGA EJE (kips)	ESPESOR LOSA, D (pulgadas)							
	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001
4	0003	0003	0003	0003	0003	0003	0003	0003
6	001	001	001	001	001	001	001	001
8	002	002	002	002	002	002	002	002
10	005	005	005	005	005	005	005	005
12	010	010	009	009	009	009	009	009
14	018	017	017	016	016	016	016	016
16	030	029	028	027	027	027	027	027
18	048	045	044	044	043	043	043	043
20	073	069	067	066	066	066	066	066
22	107	101	099	098	097	097	097	097
24	151	144	141	139	139	138	138	138
26	209	200	195	194	193	192	192	192
28	281	271	265	263	262	262	262	262
30	371	359	354	351	350	349	349	349
32	480	468	463	460	459	458	458	458
34	609	601	596	594	593	592	592	592
36	762	759	757	756	755	755	755	755
38	941	946	948	950	951	951	951	951
40	1 15	1 16	1 17	1 18	1 18	1 18	1 18	1 18
42	1 38	1 41	1 44	1 45	1 46	1 46	1 46	1 46
44	1 65	1 70	1 74	1 77	1 78	1 78	1 78	1 79
46	1 96	2 03	2 09	2 13	2 15	2 16	2 16	2 16
48	2 31	2 40	2 49	2 55	2 58	2 59	2 60	2 60
50	2 71	2 81	2 94	3 02	3 07	3 09	3 10	3 11
52	3 15	3 27	3 44	3 56	3 62	3 66	3 68	3 68
54	3 66	3 79	4 00	4 16	4 26	4 30	4 33	4 34
56	4 23	4 37	4 63	4 84	4 97	5 03	5 07	5 09
58	4 87	5 00	5 32	5 59	5 76	5 85	5 90	5 93
60	5 59	5 71	6 08	6 42	6 64	6 77	6 84	6 87
62	6 39	6 50	6 91	7 33	7 62	7 79	7 88	7 93
64	7 29	7 37	7 82	8 33	8 70	8 92	9 04	9 11
66	8 28	8 33	8 83	9 42	9 88	10 17	10 33	10 42
68	9 4	9 4	9 9	10 6	11 2	11 5	11 7	11 9
70	10 6	10 6	11 1	11 9	12 6	13 0	13 3	13 5
72	12 0	11 8	12 4	13 3	14 1	14 7	15 0	15 2
74	13 5	13 2	13 8	14 8	15 8	16 5	16 9	17 1
76	15 1	14 8	15 4	16 5	17 6	18 4	18 9	19 2
78	16 9	16 5	17 1	18 2	19 5	20 5	21 1	21 5
80	18 8	18 3	18 9	20 2	21 6	22 7	23 5	24 0
82	21 0	20 3	20 9	22 2	23 8	25 2	26 1	26 7
84	23 3	22 5	23 1	24 5	26 2	27 8	28 9	29 6
86	25 8	24 9	25 4	26 9	28 8	30 5	31 9	32 8
88	28 6	27 5	27 9	29 4	31 5	33 5	35 1	36 1
90	31 5	30 3	30 7	32 2	34 4	36 7	38 5	39 8

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

ISBN: 978-956-9432-77-4

CÓDIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACIÓN

Ministerio de Vivienda y Urbanismo