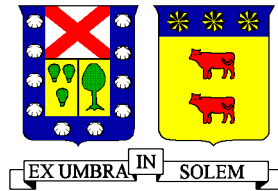


UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAISO-CHILE



ESPECIFICACIONES PARA PLANTAS CONTINUAS Y DISCONTINUAS PARA MEZCLAS
ASFALTICAS CON DISEÑO SUPERPAVE Y SU INCORPORACION AL MANUAL DE
CARRETERAS

Memoria de titulación presentada por:
VALENTINA ISADORA IBARRA DOMINGUEZ

Como requisito para optar al título de:
Constructor Civil

Profesor Guía:
Carlos Wahr Daniel

AGOSTO 2023

Agradecimientos

A Eliana, Vicente y Emilia por su incondicional amor y cariño.

RESUMEN EJECUTIVO

El Manual de Carreteras actualizó recientemente en numeral 5.408 en 2022 sin mayores modificaciones de contenido más que la incorporación de la lámina 5.408.304 A, en cuanto a las especificaciones para mezclas asfálticas en caliente se habían modificado previamente el año 2003. El documento actualmente hace referencia a las especificaciones del que hasta entonces era el único método de diseño de mezclas utilizado en el país, el método Marshall. Tras el comienzo de la implementación de mezclas asfálticas con diseño Superpave el año 2016, surge la necesidad de regular los aspectos técnicos relativos a este sistema, dándole cabida en la normativa nacional. Dicho numeral describe los trabajos de construcción con mezclas asfálticas en caliente desde la provisión de los componentes de la mezcla hasta la compactación del pavimento, incluyendo la producción en plantas mezcladoras con una acotada descripción de los equipos que las conforman.

El objetivo de esta memoria es proponer un texto normativo similar a la sección 5.408 del M.C, que incorpore las exigencias Superpave para las mezclas asfálticas y sus componentes y que actualice las características de las plantas asfálticas permitiendo la distinción de dos tipos de ellas, plantas continuas y discontinuas.

Para el desarrollo del documento en cuanto a la incorporación de las especificaciones Superpave, se trabaja en base a las modificaciones propuestas por la alumna memorista Bárbara Cortez en “Diseño de mezclas Superpave y su incorporación al Manual de Carreteras”. Para caracterizar las plantas asfálticas se realiza una revisión bibliográfica nacional y extranjera. Luego, se definen etapas de producción para identificar los equipos principales de cada tipo de planta. Con el fin de que el listado tenga aplicabilidad y sea conforme a la realidad nacional, se visitan las instalaciones de una planta continua y discontinua para adaptar las características descritas.

La presente memoria se estructura partiendo por la revisión bibliográfica actualizada de las plantas asfálticas y los equipos que la componen en cuanto a objetivos y características. Posteriormente se presenta un análisis de la Sección 5.408 del M.C que se mantiene vigente para, en el capítulo 4, detallar las modificaciones propuestas. Finalmente, en el capítulo 5, se presenta el texto modificado. Como anexos, se entregan el mismo texto con el formato del Manual de Carreteras y tres traducciones al español de manuales y especificaciones extranjeras.

ABSTRACT

The "Manual de Carreteras" was recently updated in section 5.408 in 2022 with no major content changes other than the inclusion of sheet 5.408.304 A. Regarding specifications for hot asphalt mixes, these had previously been modified in the year 2003. The document currently refers to specifications of what was then the sole mix design method used in the country, the Marshall method. With the commencement of Superpave-designed asphalt mixes implementation in 2016, the need arose to regulate the technical aspects related to this system, incorporating it into national regulations. This section describes construction work involving hot asphalt mixes, from the provision of mix components to pavement compaction, including production in mixing plants with a brief description of the equipment comprising them.

The objective of this report is to propose a normative text similar to Section 5.408 of the "Manual de Carreteras," incorporating Superpave requirements for asphalt mixtures and their components and updating the characteristics of asphalt plants to distinguish between two types: continuous and discontinuous plants.

To develop the document regarding the incorporation of Superpave specifications, we are working based on the modifications proposed by student researcher Bárbara Cortez in her work titled "Superpave Mix Design and its Incorporation into the Manual de Carreteras." To characterize asphalt plants, a national and foreign literature review is conducted. Subsequently, production stages are defined to identify the main equipment used in each type of plant. To ensure the list's applicability and alignment with the national reality, visits to both continuous and discontinuous plants are conducted to adapt the described characteristics.

The present report is structured as follows: it begins with an updated literature review on asphalt plants and the equipment they comprise, focusing on objectives and characteristics. Following that, an analysis of Section 5.408 of the "Manual de Carreteras" that remains in effect is presented, and in Chapter 4, detailed proposed modifications are outlined. Finally, Chapter 5 presents the modified text. As annexes, the same text is provided in the format of the "Manual de Carreteras", along with three Spanish translations of foreign manuals and specifications.

GLOSARIO

AASHTO	:	American Association of State Highway and Transportation Officials.
ASTM	:	American Society for Testing Materials.
cm	:	Centímetro.
EE	:	Cargas equivalentes de un eje de 80 KN.
IRI	:	International Roughness Index.
gr	:	Gramo.
m³	:	Metro Cúbico.
MAC	:	Mezcla Asfáltica en Caliente.
M.C.	:	Manual de Carreteras.
MDOT	:	Michigan Department of Transportation.
MOP	:	Ministerio de Obras Públicas.
mm	:	Milímetros.
Máx.	:	Máximo.
Mín.	:	Mínimo.
P_b	:	Contenido de Asfalto.
P_{be}	:	Contenido efectivo de Asfalto
PG	:	Grado de Desempeño.
PCS	:	Tamiz de Control Primario.
SUPERPAVE	:	Superior Performing Asphalt Pavements.
VAM	:	Vacíos en el agregado mineral.
V_{LL}	:	Vacíos llenos de asfalto.

“ESPECIFICACIONES PARA PLANTAS CONTINUAS Y DISCONTINUAS PARA MEZCLAS CON DISEÑO SUPERPAVE Y SU INCORPORACIÓN AL MANUAL DE CARRETERAS”

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	11
1.1	Antecedentes Generales	11
1.2	Objetivos del estudio.....	11
1.3	Alcances del estudio	11
1.4	Metodología de trabajo.....	11
1.5	Estructura de la memoria	12
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	Mezcla asfáltica en caliente (MAC).....	13
2.1.1	Ligante asfáltico.....	13
2.1.2	Agregados	13
2.2	Plantas asfálticas	14
2.3	Diferencia entre plantas continuas y plantas discontinuas	14
2.4	Requisitos para todas las plantas	16
2.4.1	Acopio de áridos vírgenes	16
2.4.2	Almacenamiento de ligante asfáltico.....	17
2.4.3	Sistema de alimentación de áridos en frío	18
2.4.4	Sistema de administración de pavimento asfáltico reciclado	19
2.4.5	Secador	20
2.4.6	Equipo de medición de temperatura	23
2.4.7	Colectores de polvo.....	23
2.4.7.1	Colectores primarios	24
2.4.7.2	Colectores secundarios	25
2.4.8	Sistema de administración de filler mineral	25
2.4.9	Almacenamiento de MAC y equipo de carga	26
2.4.10	Sala de control	28
2.5	Requisitos para plantas discontinuas o batch	29
2.5.1	Unidad de cribado.....	30
2.5.2	Contenedores de áridos calientes	30
2.5.3	Tolva de pesaje de áridos	30
2.5.4	Sistema de dosificación del ligante	31

2.5.5	Sistema de administración de RAP	31
2.5.6	Mezclador o Pugmill	32
2.5.7	Sistema de control de ciclo y dosificación automático	34
2.6	Requisitos para plantas continuas	34
2.6.1	Alimentación y dosificación de áridos vírgenes.....	34
2.6.2	Sistema de dosificación de ligante asfáltico.....	35
2.6.3	Sistema de administración de RAP	35
2.6.4	Unidad de secado/mezcla o tambor	36
3	ANÁLISIS MANUAL DE CARRETERAS SECCIÓN 5.408	38
3.1	Requisitos para MAC	38
3.1.1	Áridos.....	38
3.1.2	Ligante asfáltico.....	38
3.1.3	Propiedades de las Mezclas Asfálticas	38
3.2	Caracterización de planta mezcladora.....	38
4	PROPUESTA DE MODIFICACIÓN	40
4.1	Estructura Numeral 5.408.....	40
4.2	Incorporación de requisitos Superpave para mezclas asfálticas en caliente.....	40
4.3	Actualización de características de la planta mezcladora	44
5	SECCIÓN 5.408 DE MANUAL DE CARRETERAS MODIFICADA	47
5.1	DESCRIPCIÓN Y ALCANCES.....	47
5.2	REFERENCIAS	47
5.3	TERMINOLOGÍA.....	49
5.4	MATERIALES.....	50
5.4.1	Áridos.....	50
5.4.1.1	Requisitos Método Marshall	50
5.4.1.2	Requisitos Método Superpave	54
5.4.2	Asfalto.....	56
5.4.2.1	Propiedades de las mezclas asfálticas.....	56
5.5	PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO.....	59
5.5.1	Preparación de la Superficie.....	59
5.5.2	Producción de Mezclas	59
5.5.2.1	Plan de Trabajo	59
5.5.2.2	Características de la Planta Mezcladora.....	59
5.5.2.3	Controles	61
5.5.3	Transporte y Colocación.....	62
5.5.3.1	Requisitos Generales	62

	5.5.3.2 Compactación	62
	5.5.3.3 Macro textura y Resistencia al Deslizamiento	63
	5.5.4 Tolerancia y Multas.....	65
	5.5.4.1 Compactación	66
	5.5.4.2 Espesor.....	68
	5.5.4.3 Contenido de Asfalto.....	70
	5.5.4.4 Control de la Rugosidad (IRI)	70
	5.5.4.5 Lisura	73
	5.5.4.6 Macro textura y Resistencia al Deslizamiento	74
	5.5.4.7 Remuestreos	75
	5.5.4.8 Costo de Extracción de Testigos para Remuestro	76
	5.6 PARTIDAS DEL PRESUPUESTO Y BASES DE MEDICIÓN	77
	5.6.1 Concreto Asfáltico de Rodadura	77
	5.6.2 Concreto Asfáltico Capa Intermedia	78
	5.6.3 Base Asfáltica en Caliente de Graduación Gruesa.....	78
	5.6.4 Base Asfáltica en Caliente de Graduación Abierta.....	78
6	CONCLUSIONES	80
7	REFERENCIAS	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Ejemplo de carta granulométrica para un tamaño máximo de 12.5 mm.....	14
Figura 2.2. Principales equipos de una planta continua [4].	15
Figura 2.3. Principales equipos de una planta discontinua [4].	15
Figura 2.4. Acopio de áridos (Planta Bitumix Maipú). Fuente: Elaboración propia.	16
Figura 2.5. Tanques de almacenamiento de ligante asfáltico (Planta Bitumix Maipú). Fuente: Elaboración propia.	17
Figura 2.6. Contenedores de alimentación de áridos en frío (Planta Bitumix Maipú). Fuente: Elaboración propia.	18
Figura 2.7. Alimentadores de banda (Planta Bitumix Rancagua). Fuente: Elaboración propia.	19
Figura 2.8. Contenedores para alimentación de RAP (Planta Bitumix Maipú). Fuente: Elaboración propia.	20
Figura 2.9. Secador (Planta Bitumix Maipú). Fuente: Elaboración propia.	21
Figura 2.10. Función de estrías interiores [4].	21
Figura 2.11. Secador de flujo paralelo [4].	22
Figura 2.12. Secado de contraflujo [4].	22
Figura 2.13. Equipo termométrico en descarga del secador (Planta Bitumix Maipú). Fuente: Elaboración propia.....	23
Figura 2.14. Colector primario (Planta Bitumix Maipú). Fuente: Elaboración propia.	24
Figura 2.15. Filtro de mangas (Planta Bitumix Maipú). Fuente: Elaboración propia.	25
Figura 2.16. Campana /Cono de impacto [4].	26
Figura 2.17. Contenedor de filler montado en celdas de carga (Planta Bitumix Maipú). Fuente: Elaboración propia.	26
Figura 2.18. Dosificador de mezcla o pre silo [4].	27
Figura 2.19. Silos estacionarios montados sobre báscula de camiones (Planta Bitumix Maipú). Fuente: Elaboración propia.....	28
Figura 2.20. Configuración interior de la torre de dosificación [4].	29
Figura 2.21. Planta discontinua Bitumix Maipú. Fuente: Elaboración propia.	29
Figura 2.22. Dosificación de áridos [4].	30
Figura 2.23. Contenedor de ligante asfáltico montado en celdas de carga (Planta Bitumix Maipú). Fuente: Elaboración propia.....	31
Figura 2.24. Mezclador [2].	32
Figura 2.25. Carga del secador [4].	33
Figura 2.26. Sistema de pesaje en cinta transportadora (Planta Bitumix Rancagua). Fuente: Elaboración propia.....	34
Figura 2.27. Introducción de RAP en el tambor (Planta Bitumix Rancagua). Fuente: Elaboración propia.	35
Figura 2.28. Tambor [4].	36
Figura 2.29. Secador con mezclador separado [4].	37
Figura 2.30. Secador con mezclador acoplado [4].	37
Figura 4.1. Método Superpave: Puntos de control (PCS) para una granulometría de áridos combinados con tamaño máximo nominal12.5 mm.....	42
Figura 5.1 Método Superpave: Puntos de control (PCS) para una granulometría de áridos combinados con tamaño máximo nominal12.5 mm.....	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1. Estado actual MC 5.408.302(2) [1].	39
Tabla 4-1. Requisitos de diseño de la mezcla asfáltica Superpave [8].	43
Tabla 5-1 Requisitos para la fracción gruesa	50
Tabla 5-2 Requisitos para la fracción fina	51
Tabla 5-3 Granulometría del Filler	51
Tabla 5-4 Requisitos para áridos combinados	52
Tabla 5-5 Granulometría de áridos: Granulometría densa	52
Tabla 5-6 Granulometría de áridos: Granulometría semi densa	53
Tabla 5-7 Granulometría de áridos: Granulometría gruesa	53
Tabla 5-8 Granulometría de áridos: Granulometría abierta	53
Tabla 5-9 Granulometría de áridos: Granulometría fina	54
Tabla 5-10 Propiedades de origen o fuente del agregado	54
Tabla 5-11 Propiedades de consenso del agregado	55
Tabla 5-12 Puntos de control de la granulometría de los agregados combinados	55
Tabla 5-13 Clasificación de la granulometría	55
Tabla 5-14 Requisitos para mezclas asfálticas	57
Tabla 5-15 Porcentajes mínimos de vacíos en el agregado mineral (VAM)	57
Tabla 5-16 Requisitos de diseño de la mezcla asfáltica Superpave	58
Tabla 5-17 Multas por concepto de densidad a lotes evaluados	67
Tabla 5-18 Multas por concepto de densidad a muestras individuales	67
Tabla 5-19 Multas por concepto de densidad a bermas	68
Tabla 5-20 Multas por concepto de densidad	68
Tabla 5-21 Multas por concepto de espesor a lotes evaluados	69
Tabla 5-22 Multas por concepto de espesor a muestras individuales	69
Tabla 5-23 Multas por concepto de contenido de asfalto	70
Tabla 5-24 Multas por incumplimiento de IRI	73
Tabla 5-25 Multas por irregularidad superficial	74

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes Generales

El numeral 5.408 de Manual de carreteras define los trabajos de construcción de mezclas asfálticas en caliente, desde la producción de la mezcla hasta su colocación y compactación. Actualmente se encuentra muy desactualizado a la realidad nacional, tanto en los requisitos de exigencias a las materias primas de las mezclas asfálticas como a las características de las plantas mezcladoras.

Hace ya algunos años que en Chile se utilizan mezclas asfálticas en caliente con diseño Superpave, pero dicho numeral solo hace referencia a mezclas con diseño Marshall. Por otro lado, el listado de equipos de plantas asfálticas no muestra un enfoque definido para caracterizarlas ni tampoco hace la distinción entre tipo de plantas mezcladoras.

Es necesario actualizar el texto vigente para mantener su aplicabilidad y contribuir en la consolidación del sistema Superpave en el país, el cual ha demostrado mejorar el desempeño en servicio de los pavimentos asfálticos del país.

1.2 Objetivos del estudio

El objetivo principal de esta memoria es presentar un texto normativo similar a la sección 5.408 del Manual de carreteras para las mezclas Superpave que incorpore las modificaciones propuestas por la alumna memorista Bárbara Cortez para el volumen 8 del MC y actualice las características de las plantas asfálticas permitiendo la distinción de dos tipos de ellas, plantas continuas y discontinuas.

El objetivo secundario es ofrecer un aporte bibliográfico tanto a la academia como a la industria mediante la traducción al español del MS-22 Construction of Quality Asphalt Pavement 3rd Edition de Asphalt Institute, la Section 401 de Standard Specifications del New York State Department of Transportation y Section 2 de HMA Production Manual versión de enero 2021 del Michigan Department of Transportation.

1.3 Alcances del estudio

En la presente memoria de título se actualizan los requisitos para áridos y ligante asfáltico exigidos en el numeral 5.408 del Manual de carreteras incorporando las exigencias para mezclas asfálticas en caliente (MAC) con diseño Superpave. Además, se actualizan las características exigidas a las plantas mezcladoras enfocando el listado de equipos en el cumplimiento de objetivos del proceso de producción de MAC.

1.4 Metodología de trabajo

Para el desarrollo de la presente memoria se trabaja en base a la metodología descrita a continuación:

- Revisión de bibliografía: Recopilación de textos internacionales en relación a especificaciones de plantas de producción de mezclas asfálticas que den cuenta del estado de actualización de las mismas en el manual de carreteras y revisión de memoria de título “Diseño de mezclas Superpave y su incorporación al Manual de carreteras” desarrollada por la alumna Bárbara Cortez.

- Traducción: MS-22 Construction of Quality Asphalt Pavement 3rd Edition de Asphalt Institute, la Section 401 de Standard Specifications del New York State Department of Transportation y Section 2 de HMA Production Manual versión de enero 2021 del Michigan Department of Transportation para que sirvan como antecedentes de este estudio.
- Actualización de numeral 5.408:
 - Determinar el listado de equipos que actualice las características de las plantas mezcladoras y permita la distinción de dos tipos de ellas.
 - Comparación de requisitos para materiales de mezclas asfálticas incluidos en sección 5.408 del MC con propuesta de modificación del MC V8 por Bárbara Cortez, para incorporar a la sección mezclas con diseño Superpave.
 - Visitas a Planta discontinua Bitumix Maipú y Planta continua Bitumix Rancagua.
 - Reuniones periódicas con Pablo Molina, Jefe Zona Sur, División de Industrias, Bitumix con la finalidad de revisar el documento preparado y ajustarlo a la realidad nacional.
 - Preparación texto normativo similar a sección 5.408 que actualice el contenido del numeral que se mantiene en vigencia.
 - Concluir sobre el desarrollo de la memoria.

1.5 Estructura de la memoria

A continuación, se presentan los capítulos que componen la presente memoria junto con una breve descripción:

Capítulo 1: Se presentan los antecedentes generales del estudio, objetivos, alcances y metodología de trabajo.

Capítulo 2: Se realiza una revisión bibliográfica respecto a las características de las plantas de producción de mezclas asfálticas.

Capítulo 3: Se realiza un análisis de la versión vigente del numeral 5.408 de Manual de Carreteras en lo que respecta a los requisitos exigidos a los componentes de una mezcla asfáltica en caliente y los equipos para su producción.

Capítulo 4: Se presentan las modificaciones propuestas para actualizar el numeral 5.408 del Manual de Carreteras.

Capítulo 5: Se presenta el texto modificado que incluye las modificaciones expuestas en el capítulo 4.

Capítulo 6: Se presentan las conclusiones de la memoria realizada.

Capítulo 7: Referencias.

Anexo 1: Texto propuesto en formato Manual de Carreteras.

Anexo 2: Traducción al español de MS-22 Construction of Quality Asphalt Pavement 3rd Edition de Asphalt Institute.

Anexo 3: Traducción al español de Section 2 de HMA Production Manual versión de enero 2021 del Michigan Department of Transportation.

Anexo 4: Traducción al español de Section 401 de Standard Specifications del New York State Department of Transportation.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En este capítulo se realiza una revisión bibliográfica de las plantas productoras de mezclas asfálticas en caliente detallando los principales equipos y sus funciones, haciendo la distinción de dos tipos de plantas, continuas y discontinuas.

2.1 Mezcla asfáltica en caliente (MAC)

Consisten en la combinación de agregados y ligante asfáltico, que se calientan y mezclan en proporciones exactas, definidas por el diseño de mezcla, a una temperatura específica en plantas mezcladoras. Adicionalmente, pueden requerirse otros componentes (aditivos) como filler mineral, cal, fibras y/o productos reciclados.

2.1.1 Ligante asfáltico

El asfalto es un material cementoso negro, termoplástico, cuya viscosidad se altera con los cambios de temperatura. Cuando se calienta a temperaturas específicas se ablanda y pierde viscosidad, lo que permite revestir las partículas de agregados durante la producción de MAC. Una mezcla asfáltica típica tiene 4 a 7 por ciento de ligante asfáltico [5].

Superpave establece una especificación para ligantes basada en la ubicación geográfica y las temperaturas a las cuales se someterá el pavimento, es así como lo define según su Grado de Performance (PG). La nomenclatura que aplica es PG XX-YY, donde:

PG: Performance Grade o Grado de Performance.

XX: Máxima temperatura del asfalto a la cual debe mantener sus propiedades durante su vida útil.

YY: Mínima temperatura del asfalto a la cual debe mantener sus propiedades durante su vida útil.

2.1.2 Agregados

Cualquier material mineral duro e inerte, de composición granular como arena, grava, polvo de roca. Los agregados otorgan la mayoría de las características de soporte de carga del pavimento, por lo que influyen fuertemente el rendimiento de una mezcla asfáltica [5]. Los agregados son el 90-95 por ciento en peso o el 80-85 en volumen en la mayoría de las mezclas de pavimento asfáltico [3].

Las especificaciones Superpave para los agregados minerales definen los límites para las denominadas propiedades de consenso y propiedades de origen. Las primeras dependen del nivel de tránsito y ubicación del agregado dentro de la estructura del pavimento, aquellos agregados más cercanos a la superficie demandarán valores de consenso más estrictos, estas propiedades son: angularidad del agregado grueso, angularidad del agregado fino, partículas planas y alargadas y contenido de arcilla. La especificación de las angularidades busca un alto ángulo de fricción interna entre las partículas del agregado y de este modo otorgar una alta resistencia a las deformaciones permanentes. La restricción para el porcentaje de partículas planas y alargadas busca disminuir la susceptibilidad del agregado a la trituration, finalmente, se limita el contenido de arcilla para mejorar la adherencia árido-ligante. En cuanto a las propiedades de origen, estas buscan evaluar la calidad de los agregados provenientes de

diversas fuentes y sus valores son específicos para cada fuente de origen. Estas son: Tenacidad, durabilidad y materiales deletéreos.

En tanto la granulometría de los agregados, el sistema Superpave emplea el exponente 0,45 de la carta granulométrica basadas en el método de Fuller para definir las granulometrías permitidas. En las ordenadas se indica el porcentaje que pasa (%) y en las abscisas se representan las aberturas de tamices en mm elevadas a la potencia 0.45. En la carta se dibuja la línea de máxima densidad correspondiente a una línea recta desde el tamaño máximo del agregado hasta el origen del gráfico. Adicionalmente se emplean los Puntos de control (PC) que corresponden a puntos de paso obligatorio para la curva granulométrica. Estos corresponden al tamaño máximo nominal, un tamaño intermedio y el tamaño más pequeño (0075 mm).

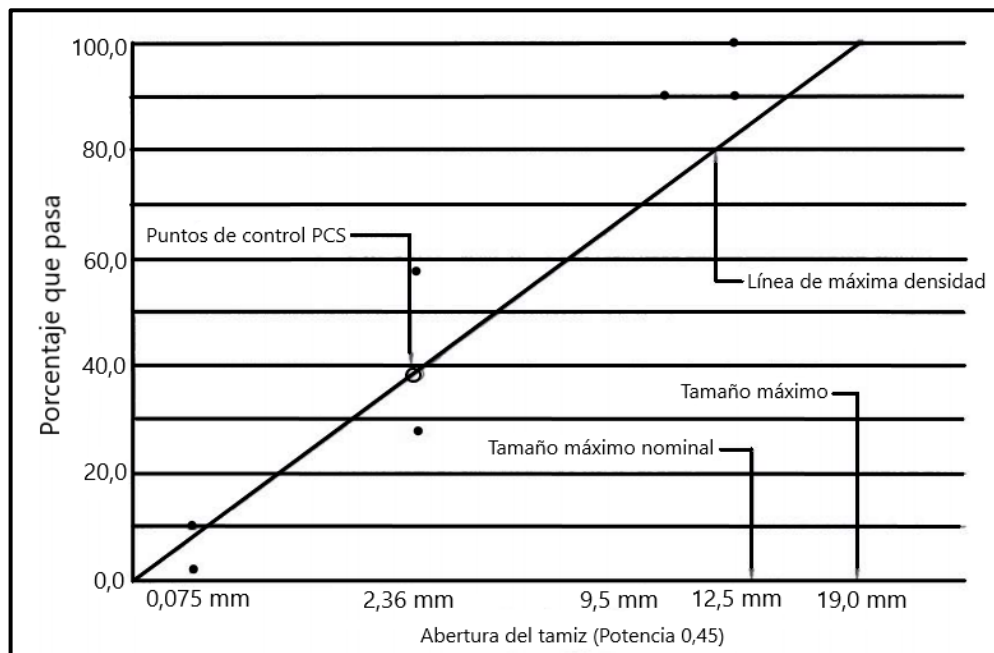


Figura 2.1 Ejemplo de carta granulométrica para un tamaño máximo de 12.5 mm

El propósito de establecer y controlar la granulometría de los agregados es otorgar un volumen adecuado de vacíos en la mezcla asfáltica.

2.2 Plantas asfálticas

Las plantas de producción de mezclas asfálticas en caliente son un conjunto de equipos cuyo propósito es producir mezclas asfálticas dentro de un rango de temperatura específico que contenga las proporciones establecidas en el diseño de mezcla para agregados y ligante asfáltico. Esto lo logra secando, calentando y combinando las fracciones de agregados para luego mezclarse con el ligante.

Las plantas pueden tener una ubicación permanente, plantas estacionarias, o permitir el traslado de los equipos que la componen, plantas móviles. Independiente de esto, las plantas se pueden clasificar en dos tipos según como combinan los componentes de la mezcla asfáltica en caliente, plantas continuas o de tambor y plantas discontinuas o de lotes.

2.3 Diferencia entre plantas continuas y plantas discontinuas

Tanto las plantas continuas como las discontinuas tienen el mismo propósito, producir una mezcla asfáltica en caliente que cumpla con lo establecido por el diseño de mezcla. La

principal diferencia entre ambas radica en cómo se mezclan los componentes de la mezcla asfáltica en caliente, ligante asfáltico y áridos, luego de que estos se hayan secado, calentado y combinado.

Las plantas continuas o de tambor, tal como indica su nombre, mezclan los componentes de la mezcla asfáltica en un proceso continuo luego de que las distintas fracciones de árido se hayan secado, calentado y combinado en el secador. El ligante asfáltico ingresa al secador/mezclador para combinarse con los áridos y lo que se descarga del equipo es la mezcla asfáltica caliente. En las plantas discontinuas, del secador se descargan los áridos calentados para ser transportados a una torre de dosificación y mezclado. La mezcla con el ligante asfáltico se realiza en un mezclador o pugmill. En las Figuras 2.2 y 2.3 esquematizan la diferencia entre los equipos de mezclado de ambas plantas.

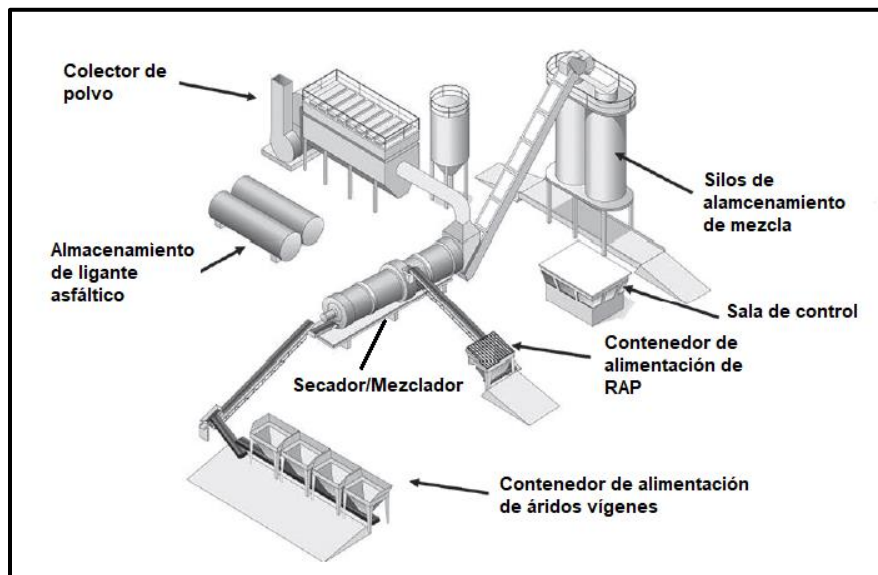


Figura 2.2. Principales equipos de una planta continua [4].

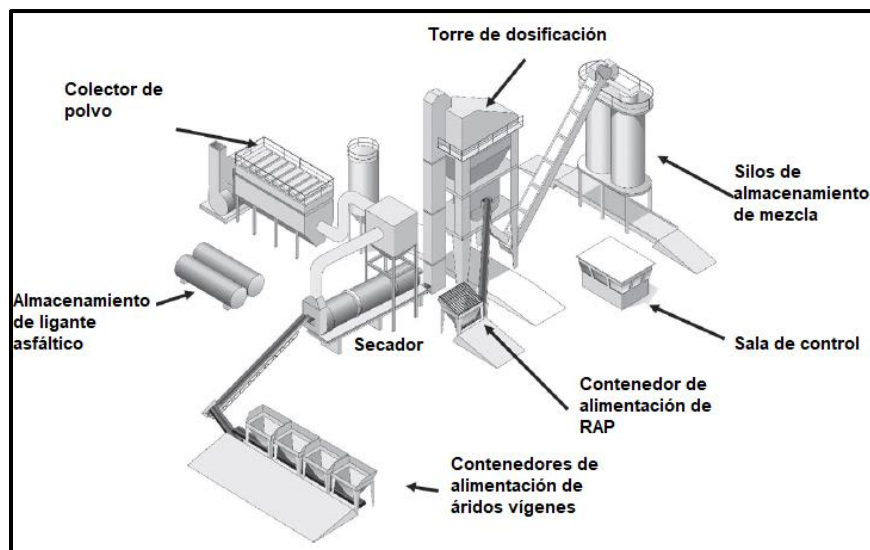


Figura 2.3. Principales equipos de una planta discontinua [4].

2.4 Requisitos para todas las plantas

2.4.1 Acopio de áridos vírgenes

El área de acopio debe tener el espacio suficiente para permitir la separación clara de las pilas de áridos de cada tamaño (Figura 2.4) y evitar la contaminación cruzada. Una buena práctica para asegurar la producción ininterrumpida es asegurar las existencias de áridos en la planta antes de iniciar la producción. En EE. UU. existen organismos administradores que lo plasman en sus especificaciones técnicas como una exigencia, por ejemplo, el Michigan State Department of Transportation (MDOT) [6].

Se debe evitar la segregación de los áridos de cada pila ya que la homogeneidad de cada fracción es fundamental para un mayor control de la granulometría. Una vez iniciada la producción de la mezcla asfáltica, las plantas no permiten ajustes en la granulometría de los áridos introducidos en la alimentación en frío.

El área de almacenamiento debe estar limpia y libre de agentes contaminantes. Se deben evitar condiciones que aumenten el contenido de humedad de los áridos, como por ejemplo el empozamiento de aguas lluvias. Algunas plantas permanentes, pavimentan la zona de acopio con una mezcla asfáltica de granulometría abierta o ubican las pilas de árido bajo techo. Lo más común es cubrir las pilas con una funda de material impermeable.



Figura 2.4. Acopio de áridos (Planta Bitumix Maipú). Fuente: Elaboración propia.

Si en la zona de almacenamiento hay áridos procedentes de distintas fuentes deben acopiarse en sectores separados.

2.4.2 Almacenamiento de ligante asfáltico

El ligante asfáltico se almacena en tanques aislados térmicamente capaces de mantener la temperatura de almacenamiento requerida mediante un sistema de transferencia de calor termoeléctrico o mediante tuberías por las cuales circula aceite caliente. Los tanques se complementan con un equipo de medición de temperatura que indique la temperatura de almacenamiento del ligante en todo momento. Como se muestra en la Figura 2.5, cada tanque se identifica con el tipo de ligante almacenado.

Los tanques de almacenamiento de ligantes modificados deben estar equipados con agitadores en caso de ser requerido [4].

Se debe almacenar la cantidad adecuada de ligante asfáltico para proporcionar un suministro continuo al mezclador y permitir una producción ininterrumpida.



Figura 2.5. Tanques de almacenamiento de ligante asfáltico (Planta Bitumix Maipú). Fuente: Elaboración propia.

2.4.3 Sistema de alimentación de áridos en frío

Consiste en tolvas separadas para cada tamaño con divisores verticales entre contenedores que impidan la contaminación cruzada entre los áridos que reciben desde la zona de acopio (Figura 2.6). Cada contenedor cuenta con una compuerta calibrada que descarga el árido en una cinta transportadora corta, de velocidad ajustable, ubicada inmediatamente bajo la compuerta denominada alimentador de banda (Figura 2.7), el que entrega el material a la cinta transportadora principal que lo traslada hasta el secador. El sistema de alimentación en frío debe asegurar el flujo continuo y uniforme de áridos por lo que debe contar con un sensor que alerte la detención del flujo de material.



Figura 2.6. Contenedores de alimentación de áridos en frío (Planta Bitumix Maipú). Fuente: Elaboración propia.



Figura 2.7. Alimentadores de banda (Planta Bitumix Rancagua). Fuente: Elaboración propia.

Los sistemas de alimentación en frío no requieren de las propiedades de los áridos para ser capaces de administrar lo áridos con una precisión determinada. Una vez que el árido ingresa a la alimentación en frío y por consiguiente al proceso de producción de mezcla, ya no se pueden detectar o corregir inconsistencias en sus propiedades, por tanto, para asegurar una granulometría homogénea y la calidad de los áridos es de suma importancia que se realice un control de calidad previo al proceso.

2.4.4 Sistema de administración de pavimento asfáltico reciclado

Las plantas asfálticas que producen MAC con pavimento asfáltico reciclado (RAP) cuentan con un sistema de alimentación y dosificación especial para el RAP. El almacenamiento y alimentación del RAP es similar al de los áridos vírgenes descrito en 2.4.1 y 2.4.3, respectivamente (Figura 2.8). El sistema de administración del material a la planta asfáltica es distinto para cada tipo de planta y son descritos en el 2.5.5 y 2.6.3.



Figura 2.8. Contenedores para alimentación de RAP (Planta Bitumix Maipú). Fuente: Elaboración propia.

2.4.5 Secador

El secador tiene la función de secar y calentar el árido a la temperatura requerida de manera uniforme y continua. Consiste en un cilindro metálico giratorio compuesto por un quemador, un ventilador y un extractor que se encargan de la combustión y del arrastre de los gases calientes a través de interior del secador (Figura 2.9). En su interior cuenta con estrías o canales metálicas que toman el árido ingresado desde la alimentación en frío y lo dejan caer en forma de velo a través de los gases calientes (Figura 2.10). Las estrías se deben encontrar en buen estado para permitir una operación uniforme.



Figura 2.9. Secador (Planta Bitumix Maipú). Fuente: Elaboración propia.

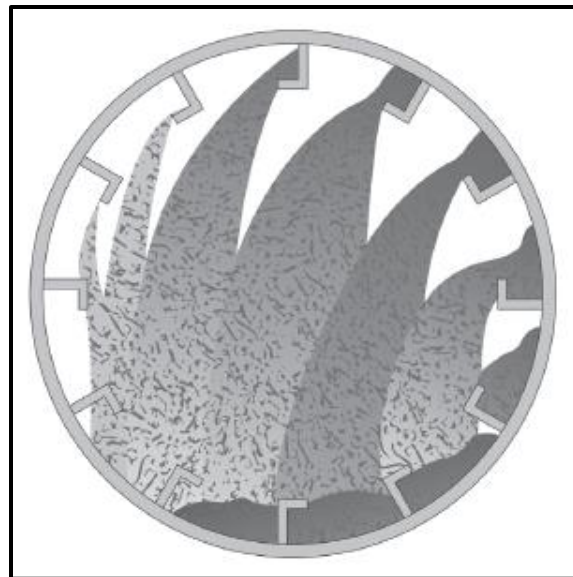


Figura 2.10. Función de estrías interiores [4].

Son dos los secadores más comunes, de flujo paralelo y contraflujo. En el secador de flujo paralelo los áridos se introducen en el secador en el extremo superior del tambor donde está ubicado el quemador y fluyen paralelo al flujo de aire hacia el extremo inferior (Figura 2.11). En el secador de contraflujo el quemador se ubica en el extremo inferior del tambor y los áridos ingresan por el extremo opuesto (extremo superior) trasladándose al extremo inferior en sentido contrario al flujo de aire (Figura 2.12).

Dentro del secador se distinguen al menos tres (3) zonas: zona de combustión, zona de calentamiento y zona de secado.

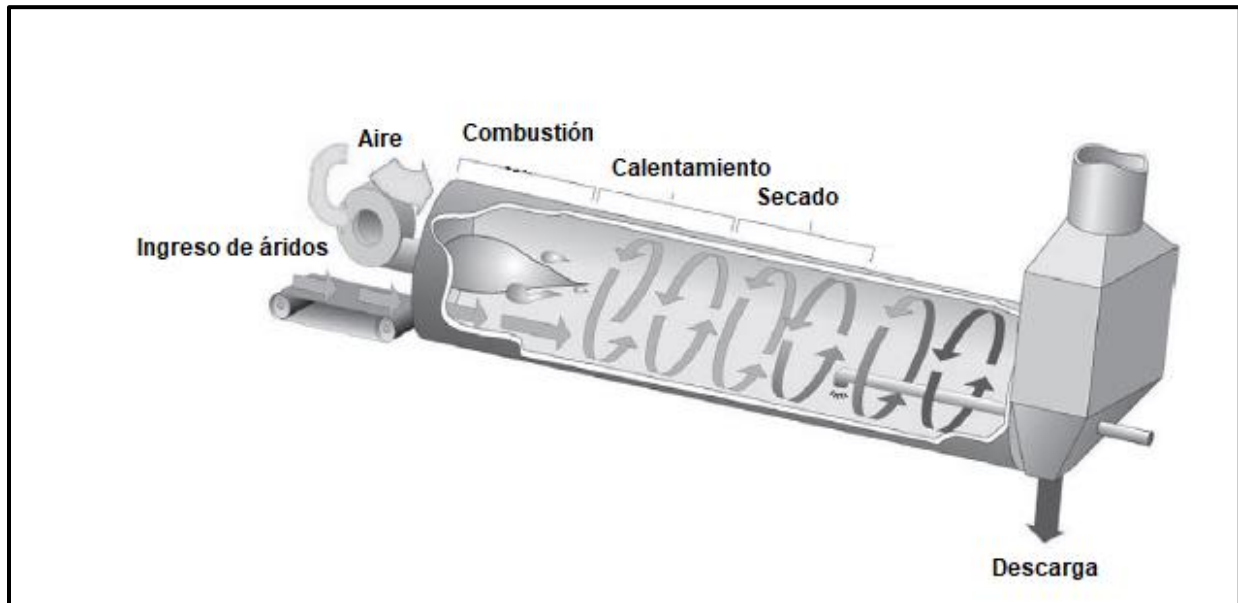


Figura 2.11. Secador de flujo paralelo [4].

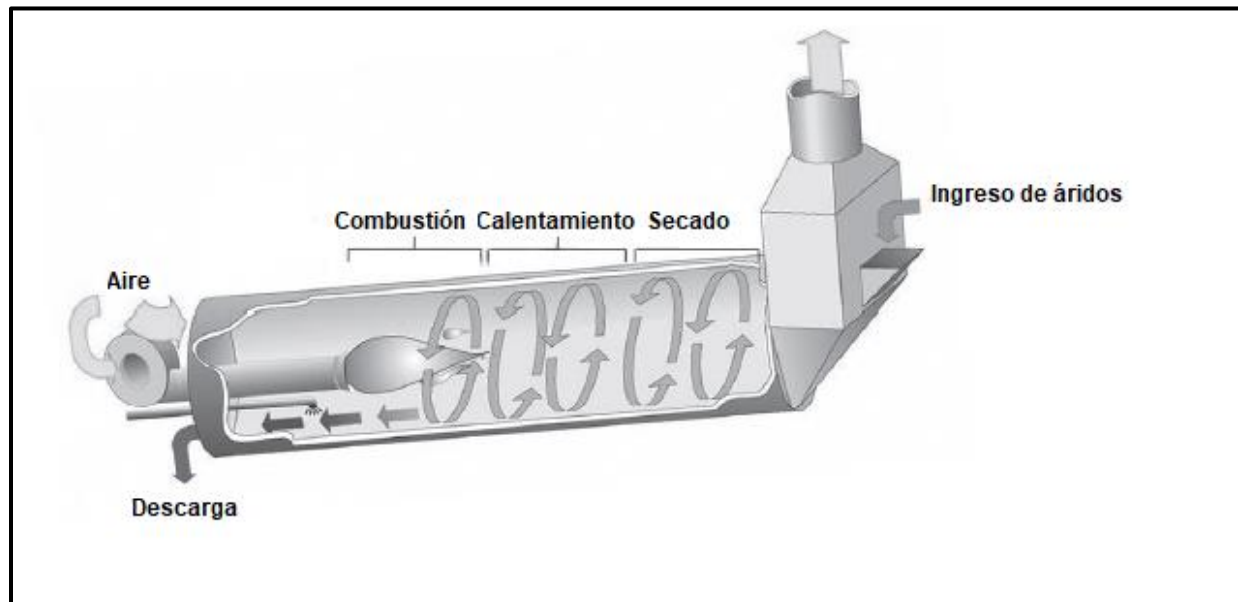


Figura 2.12. Secado de contraflujo [4].

La capacidad de secado depende del contenido de humedad de los áridos. Generalmente los árido ingresan al secador con un contenido de humedad dentro de un rango conocido, si el contenido de humedad es mayor, se debe disminuir la alimentación en frío para secar y calentar los áridos correctamente. Otros factores que afectan el desempeño del secador son: la pendiente del tambor, la temperatura del producto y las condiciones atmosféricas [4].

Es sumamente importante controlar la temperatura a la cual se calientan los áridos para no afectar al ligante asfáltico. Los agregados excesivamente calientes pueden provocar un envejecimiento acelerado del ligante durante el proceso de producción y un agregado a baja temperatura puede afectar la calidad de la mezcla asfáltica por falta de revestimiento.

2.4.6 Equipo de medición de temperatura

Las plantas se equipan con un equipo termométrico ubicado en la descarga del secador, capaz de indicar la temperatura de los áridos calientes descargados en las plantas discontinuas y de la mezcla asfáltica producida en las plantas continuas (Figura 2.13). Generalmente se utiliza un pirómetro, indicador que señala la temperatura o de registro, que como su nombre lo indica, permite un registro permanente de las temperaturas de producción.



Figura 2.13. Equipo termométrico en descarga del secador (Planta Bitumix Maipú). Fuente: Elaboración propia.

Es importante que el sistema de medición utilizado sea calibrable y contrastable ya que el control de la temperatura es fundamental para asegurar una MAC de calidad.

2.4.7 Colectores de polvo

El extractor del secador genera una corriente que arrastra las partículas de polvo contenidas en los áridos combinados. Estas partículas deben ser recolectadas para devolverse parcial o totalmente a la mezcla mediante un sistema de control de emisiones compuesto por colectores de polvo ubicados a continuación del secador. El material recolectado no puede utilizarse en mezclas posteriores si es que no es parte de un diseño de mezcla aprobado.

Los colectores de polvo se clasifican en dos tipos, colectores primarios y colectores secundarios, dependiendo del tamaño de partícula que son capaces de filtrar de la corriente de escape del secador.

2.4.7.1 Colectores primarios

Los colectores primarios son los encargados de recolectar las partículas más grandes contenidas en la corriente de escape del secador. Los más comunes son la cámara de expansión y el colector centrífugo.



Figura 2.14. Colector primario (Planta Bitumix Maipú). Fuente: Elaboración propia.

En la cámara de expansión el material arrastrado por la corriente de escape del secador ingresa al colector por una sección mayor que la del ducto que la conduce, lo que provoca una disminución de la velocidad del aire. En su interior cuenta con placas que chocan con las partículas de polvo haciéndolas cambiar de dirección. Estas condiciones hacen que las partículas caigan al fondo de la caja para ser recuperadas [4].

Los colectores ciclónicos funcionan por separación centrífuga al ingresar la corriente de escape del secador y circular dentro del colector golpeando las paredes interiores del mismo. Las partículas caen al fondo del colector para ser recuperadas [4].

2.4.7.2 Colectores secundarios

Los colectores secundarios están destinados a la recolección de las partículas de polvo más pequeñas arrastradas por la corriente de escape del secador. El más antiguo es el depurador húmedo, siendo reemplazado en la actualidad por el filtro de mangas.

El depurador húmedo recolecta las partículas de polvo provenientes del colector primario en caso de utilizarse o directamente del secador, con la ayuda de agua. Al entrar en contacto con el agua el polvo recolectado no puede ser devuelto a la mezcla, lo que se traduce en esfuerzos adicionales para la eliminación del material recolectado y para la compensación de la fracción de polvo no devuelta [4].

El filtro de mangas es el colector secundario más eficiente. Consiste en una carcasa metálica con múltiples filtros de tela en su interior a través de los cuales pasa la corriente de escape proveniente del colector primario o del secador (Figura 2.15). Permite la reutilización del material mediante su reincorporación y almacenamiento.



Figura 2.15. Filtro de mangas (Planta Bitumix Maipú). Fuente: Elaboración propia.

2.4.8 Sistema de administración de filler mineral

En plantas continuas todo el material capturado por los colectores de polvo reingresa al mezclador en un proceso continuo mediante un sistema neumático que arrastra el filler por aire y lo sopla en proximidad al punto de introducción del ligante asfáltico en el mezclador, lo que permite que el filler recuperado sea capturado por el ligante y no reingrese al sistema de colección. Cubrir el encuentro de ambas líneas de entrega (Figura 2.16) ayuda al cumplimiento de este objetivo.

Para el caso de las plantas discontinuas, que permiten la devolución completa o parcial del polvo recolectado según los requisitos del diseño de mezcla, se equipan con un silo de almacenamiento de filler recuperado y la reincorporación de polvo se logra con un sistema mecánico que conduce a un contenedor de pesaje de filler en la torre de dosificación (Figura 2.17).

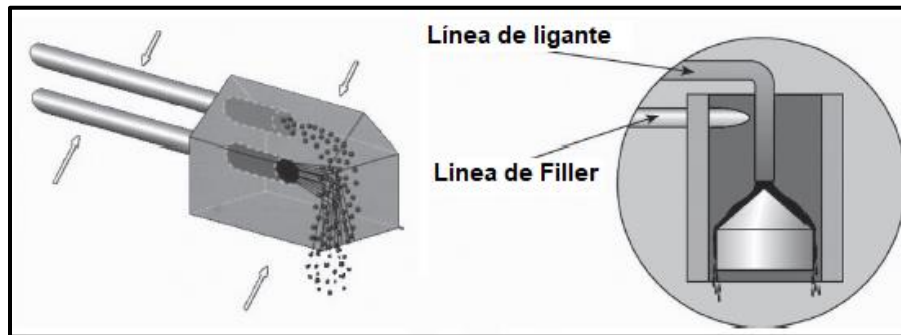


Figura 2.16. Campana /Cono de impacto [4].



Figura 2.17. Contenedor de filler montado en celdas de carga (Planta Bitumix Maipú). Fuente: Elaboración propia.

Las plantas, continuas y discontinuas, pueden equiparse, además y si fuese necesario, con un sistema de administración de filler de aportación o cal como agente anti-stripping.

2.4.9 Almacenamiento de MAC y equipo de carga

Generalmente las plantas están equipadas con silos de almacenamiento de MAC para permitir su funcionamiento continuo, independiente de la presencia de camiones de reparto. Los silos de almacenamiento se aíslan térmicamente para mantener la temperatura de la mezcla proveniente del mezclador, la cual es almacenada hasta que se carga en camiones para su entrega. Las especificaciones de cada planta limitan el tiempo de almacenamiento para cuidar que las propiedades de la MAC no se vean afectadas por el envejecimiento prematuro del ligante asfáltico.

Es importante que durante las operaciones de descarga y almacenamiento se mitigue la segregación de la mezcla. Para esto se utilizan dosificadores ubicados al final de la línea de entrega que recogen mezcla en pequeñas cantidades y la descargan en masa evitando un flujo continuo (Figura 2.18).



Figura 2.18. Dosificador de mezcla o pre silo [4].

El equipo de carga, implementado con un sistema de pesaje, depende de la condición portátil o estacionaria de la planta, ya que los silos se equipan con sistemas de pesaje distintos. Los silos portátiles tienen celdas de carga incorporadas, lo que permite que los camiones se carguen y el control se realice en base a la disminución del peso del contenedor cuando se ejecuta una descarga de MAC. Los silos estacionarios se montan sobre básculas para camiones que indican directamente el peso de tara del camión y el peso neto de la mezcla (Figura 2.19).



Figura 2.19. Silos estacionarios montados sobre báscula de camiones (Planta Bitumix Maipú). Fuente: Elaboración propia.

2.4.10 Sala de control

El funcionamiento de todos los equipos que componen una planta asfáltica se controla desde una sala de operaciones ubicada en un punto tal que entregue visibilidad de toda la operación de mezclado. Las salas de control cuentan con consolas que permiten al operador controlar los arranques y paradas de los equipos, apertura y cierre de compuertas, ingresar dosificaciones, controlar temperaturas, tiempos y cantidades, accionar paradas de emergencia.

2.5 Requisitos para plantas discontinuas o batch

Como se menciona en la Sección 2.3 las plantas asfálticas se distinguen por el procedimiento de mezclado de áridos y ligante asfáltico. En el caso particular de las plantas discontinuas, la operación de mezclado se lleva a cabo en la torre de dosificación donde ingresan los áridos a temperatura de trabajo que provienen del secador. Al ingresar a la torre son cribados y separados por tamaño en contenedores. Las plantas discontinuas dosifican por peso descargando los áridos de los contenedores en una tolva de pesaje para ser introducidos en el mezclador junto con el ligante asfáltico (Figuras 2.20 y 2.21).

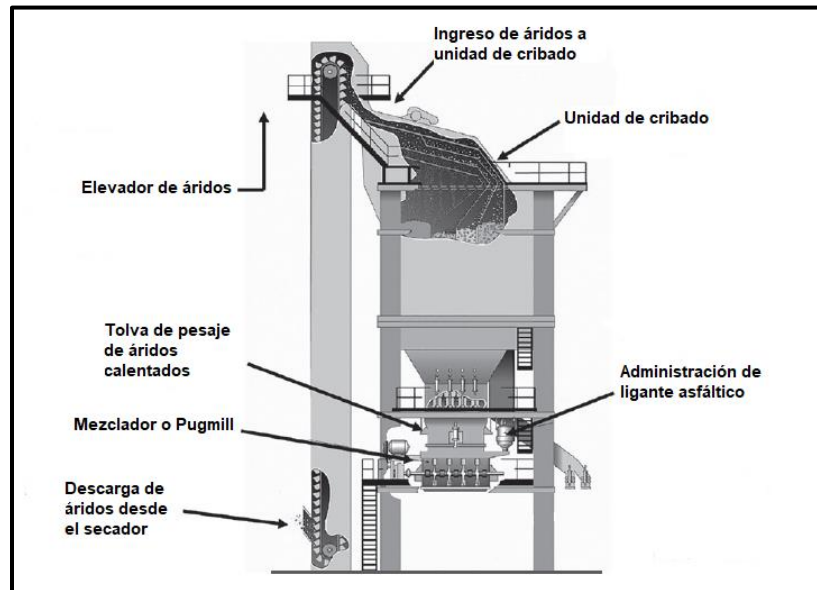


Figura 2.20. Configuración interior de la torre de dosificación [4].



Figura 2.21. Planta discontinua Bitumix Maipú. Fuente: Elaboración propia.

2.5.1 Unidad de cribado

Los áridos secos y calientes salen del secador y son transportados al punto más alto de la torre de dosificación, mediante un elevador vertical cerrado que los deja caer a través de la unidad de cribado, la cual separa el material por tamaños específicos.

La unidad de cribado consiste en un conjunto de cribas o tamices vibratorios de distintos tamaños. Los tamaños a utilizar dependen principalmente de la granulometría de los áridos para cumplir con la banda granulométrica indicada en el diseño de la mezcla. El árido que ingresa a los tamices o cribas primero se limpia de partículas con sobre tamaño y luego se ordenan por fracción en los distintos contenedores.

2.5.2 Contenedores de áridos calientes

Inmediatamente bajo la unidad de cribado se ubican los contenedores de áridos calientes que son los encargados de almacenar temporalmente cada tamaño de árido separado por las cribas o tamices hasta que son dosificados. Los contenedores están equipados con compuertas de descarga ubicadas en el fondo del contenedor. Además, cuentan con sistemas de muestreo de áridos que pueden ser automatizados o consistir en compuertas para muestreo manual.

El filler recuperado por los colectores de polvo no se procesa en los contenedores calientes. El sistema de administración se describe en 2.4.8.

2.5.3 Tolva de pesaje de áridos

La dosificación de los áridos se ingresa en al sistema de control de la planta que maneja la apertura y cierre de compuertas de los contenedores de áridos, del contenedor de filler recuperado y descarga las fracciones en una tolva de pesaje ubicada sobre el mezclador. Las fracciones se extraen una a la vez ya que el funcionamiento de la tolva se basa en los pesos acumulados (Figura 2.22).

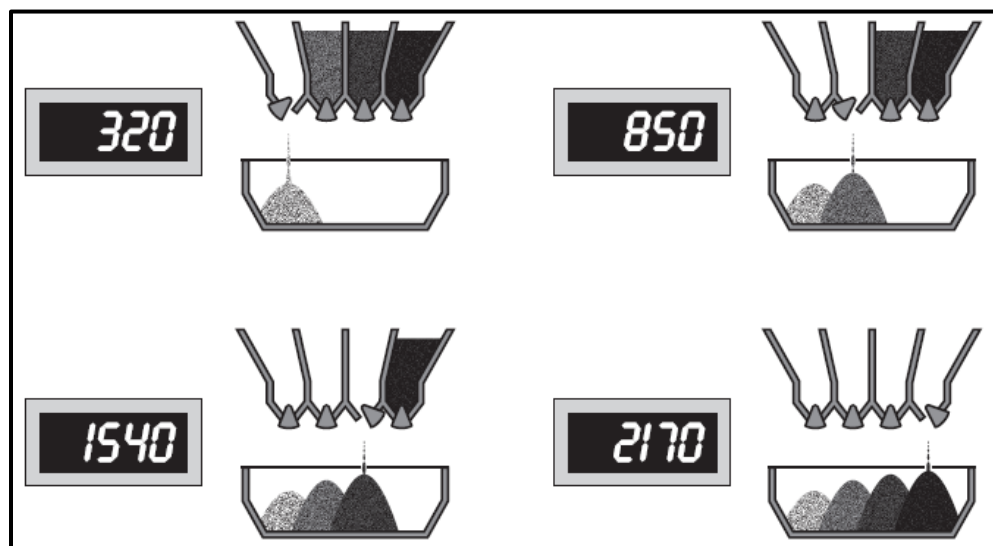


Figura 2.22. Dosificación de áridos [4].

2.5.4 Sistema de dosificación del ligante

El ligante asfáltico al igual que el filler no se procesa en la tolva de pesaje. Las plantas asfálticas discontinuas cuentan con un sistema de dosificación de ligante compuesto por un tanque o contenedor montado sobre un dispositivo de pesaje (Figura 2.23) que se llena mediante el accionar de una bomba controlada desde la sala de control de la planta. Cuando el ligante acumulado en el tanque alcanza el peso ingresado por el operador, se corta el suministro de ligante y es bombeado hasta el mezclador para mezclarse con los demás componentes de la MAC.



Figura 2.23. Contenedor de ligante asfáltico montado en celdas de carga (Planta Bitumix Maipú). Fuente: Elaboración propia.

2.5.5 Sistema de administración de RAP

Son dos los sistemas de administración más utilizados: el de introducción de RAP en tolva de pesaje y el de introducción en elevador de áridos calientes. En ambos métodos la transferencia de calor se genera de la misma manera, los áridos vírgenes introducidos en el secador se sobrecalientan y al juntarse con el RAP, húmedo y frío, lo secan y calientan. Dada la humedad contenida en el RAP este proceso libera gran cantidad de vapor y polvo que deben ser conducidos al sistema de escape y colección de polvo mediante la adición de conductos.

2.5.5.1.1 Introducción en tolva de pesaje

El RAP se introduce en la tolva de pesaje de áridos calientes como una fracción más o se agrega una tolva de pesaje específica para el RAP. Se debe determinar el contenido de ligante asfáltico en el RAP para ajustar la dosificación de ligante y cumplir con las especificaciones del diseño de mezcla.

2.5.5.1.2 Introducción en elevador de áridos

El RAP se introduce con los áridos a temperatura de trabajo en el elevador que conduce a la torre de dosificación. Con este método el RAP pasa por la unidad de cribado y se fracciona por tamaño en los distintos contenedores calientes, lo que significa que el análisis de contenido de asfalto, para ajustar la dosificación de ligante, se debe realizar por cada contenedor.

2.5.6 Mezclador o Pugmill

Consiste en una cámara de mezclado equipada con ejes horizontales en los cuales se montan barras metálicas transversales con paletas en los extremos para que el mezclador sea capaz de producir una MAC uniforme (Figura 2.24). Es fundamental que no existan fugas de contenido y que las paletas se encuentren en buen estado para evitar que existan zonas fuera de su alcance que afecten la homogeneidad de la mezcla y el revestimiento de los agregados. El reemplazo de las paletas está asociado a la condición de desgaste de las mismas, generalmente, estas condiciones están definidas en las especificaciones de cada planta.

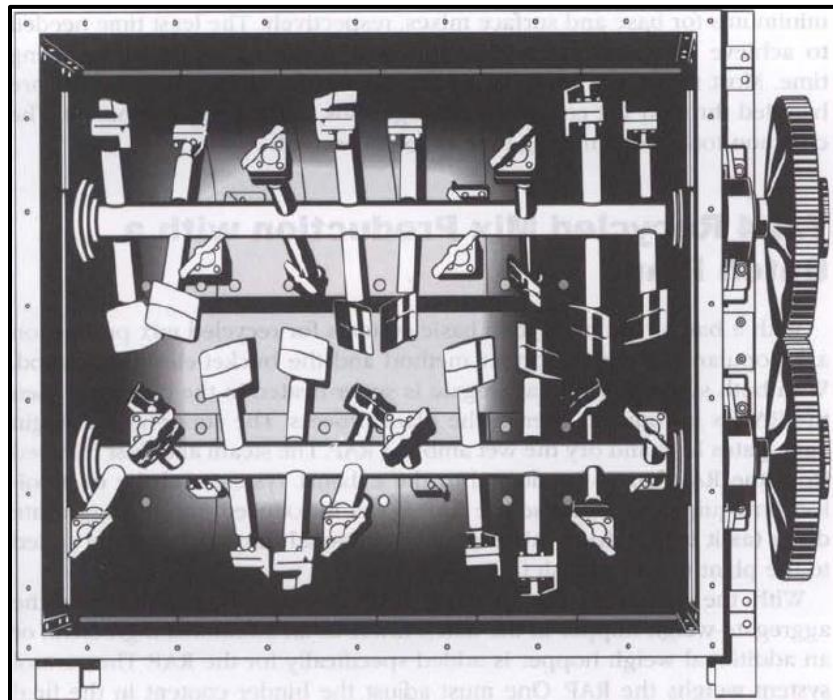


Figura 2.24. Mezclador [2].

Otro factor importante para la homogeneidad de la mezcla es la cantidad de material con la que se carga el mezclador. Se deben seguir las recomendaciones de carga del proveedor para evitar que la carga sea insuficiente o excesiva. Una buena práctica es cargar el mezclador hasta que apenas se vean las paletas durante la operación (Figura 2.25).

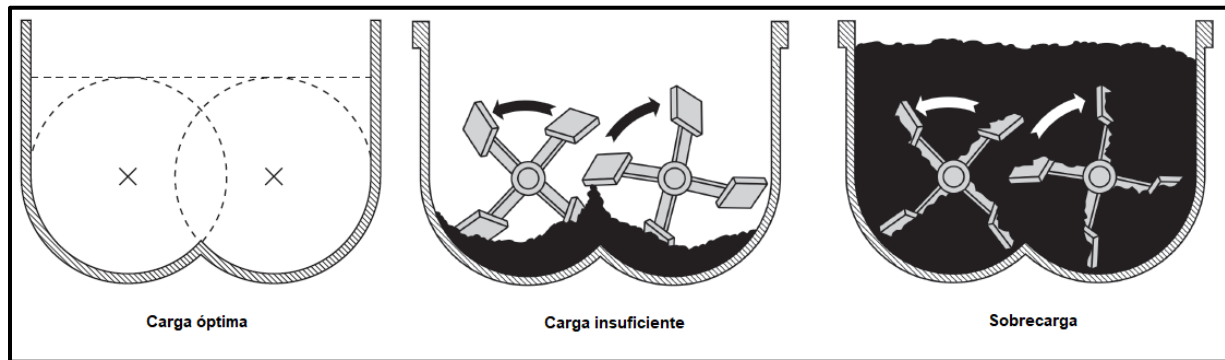


Figura 2.25. Carga del secador [4].

El mezclado se lleva a cabo en dos etapas. Cuando se introducen las fracciones de áridos, antes de mezclarse con el ligante, se combinan y homogenizan en un proceso conocido como mezcla en seco. Luego, se introduce el ligante asfáltico y se lleva a cabo la mezcla húmeda. El tiempo de mezclado es la suma del tiempo que demoran estas dos etapas por separado y debe ser suficiente para producir una mezcla homogénea. Para monitorear el ciclo de mezcla, las plantas cuentan con un dispositivo tiempo o cronometraje que permite bloquear el suministro de agregados y ligante al mezclador y bloquear la compuerta de este durante el ciclo de mezclado. Los términos utilizados en la operación del mezclador son:

- > Tiempo de ciclo: el intervalo de tiempo entre aperturas sucesivas de la compuerta de descarga del mezclador para lotes sucesivos.
- > Tiempo de mezcla: el intervalo de tiempo entre la apertura de la compuerta de la caja de pesaje de agregados y la apertura de la compuerta de descarga del mezclador.
- > Tiempo de mezcla en seco: el intervalo de tiempo entre la apertura de la compuerta de la caja de pesaje de agregados y el comienzo de la aplicación del ligante asfáltico.
- > Tiempo de mezcla en húmedo: el intervalo de tiempo entre el inicio de la aplicación del ligante asfáltico y la apertura de la compuerta de descarga del mezclador.
- > Tiempo final de mezclado: el intervalo de tiempo entre la terminación de la aplicación del ligante asfáltico y la apertura de la compuerta de descarga del mezclador.

2.5.7 Sistema de control de ciclo y dosificación automático

La correcta producción de MAC depende en gran parte del sistema de control y dosificación de cada planta. El sistema debe ser automatizado y capaz de dosificar con precisión y por peso todos los componentes de la MAC. Este sistema se coordina con el dispositivo de cronometraje del mezclador para controlar la secuencia del ciclo y el tiempo de mezcla.

2.6 Requisitos para plantas continuas

Las plantas continuas simplifican la operación de mezclado ya que no requieren de la torre de dosificación presente en las plantas discontinuas para la producción de MAC. En este tipo de plantas el secador, además de cumplir con lo descrito en 2.4.5, tiene la función de mezclar los agregados con el ligante asfáltico. Los áridos son dosificados en la alimentación en frío e ingresan al secador para ser acondicionados a la temperatura de trabajo. El ligante asfáltico es dosificado e ingresa al tambor secador/mezclador una vez terminado el proceso de mezcla en seco cuidando no entrar en contacto con la llama del secador. Una vez terminado el ciclo de mezcla, se descarga la MAC para su almacenamiento y entrega.

2.6.1 Alimentación y dosificación de áridos vírgenes

En las plantas continuas el sistema de alimentación de áridos descrito en 2.4.3 se complementa con un dispositivo de pesaje continuo para controlar las cantidades incorporadas por fracción antes de ser introducidas en el tambor (Figura 2.26). El dispositivo de pesaje se monta en la cinta transportadora principal que traslada los áridos desde las tolvas de alimentación en frío hasta el secador. La dosificación de los áridos se realiza mediante el ajuste de la velocidad de los alimentadores de banda, ubicados bajo cada una de las tolvas, de este modo se correlaciona la velocidad del alimentador con la cantidad descargada por fracción. La velocidad de los alimentadores debe ser siempre controlada y continua.



Figura 2.26. Sistema de pesaje en cinta transportadora (Planta Bitumix Rancagua). Fuente: Elaboración propia.

Como los áridos son dosificados antes de secarse, se debe controlar el contenido de humedad de las existencias durante la alimentación en frío para ajustar la dosificación del ligante asfáltico. La cantidad de ligante incorporada es en base al peso seco de los áridos.

2.6.2 Sistema de dosificación de ligante asfáltico

El flujo de ligante asfáltico se libera mediante el accionar de una bomba que lo trasporta a través de tuberías desde el punto de almacenamiento hasta el ingreso al tambor en un proceso continuo. La cantidad incorporada se controla mediante un flujómetro u otro dispositivo capaz de medir caudal. Para asegurar las cantidades incorporadas se realizan calibraciones al dispositivo de medición. El método de calibración más común consiste en alimentar un camión cisterna con ligante durante un periodo de tiempo establecido, luego pesar el camión en una báscula para camiones y restarle la tara del camión. De acuerdo con los resultados se realizan los ajustes al sistema de medición. Otra alternativa es el tanque de calibración, que realiza mediciones mediante celdas de carga integradas y entregan una lectura digital.

2.6.3 Sistema de administración de RAP

El RAP se introduce directamente en el tambor de secado y mezcla luego de finalizada la mezcla en seco (Figura 2.27). La dosificación cumple con lo descrito en 2.6.1. Los áridos se sobrecalientan para secar y calentar el RAP. El quemador se regula para controlar la temperatura del producto final combinado. Al juntar el RAP frío y húmedo con los áridos sobrecalentados se libera vapor el cual se elimina con la corriente de escape del tambor.



Figura 2.27. Introducción de RAP en el tambor (Planta Bitumix Rancagua). Fuente: Elaboración propia.

2.6.4 Unidad de secado/mezcla o tambor

En plantas continuas la unidad de secado descrita en 2.4.5 también cumple la función de mezclador de la MAC por lo que ya no solo tiene como objetivo homogeneizar los áridos, sino que también debe ser capaz de producir una mezcla uniforme y bien revestida.

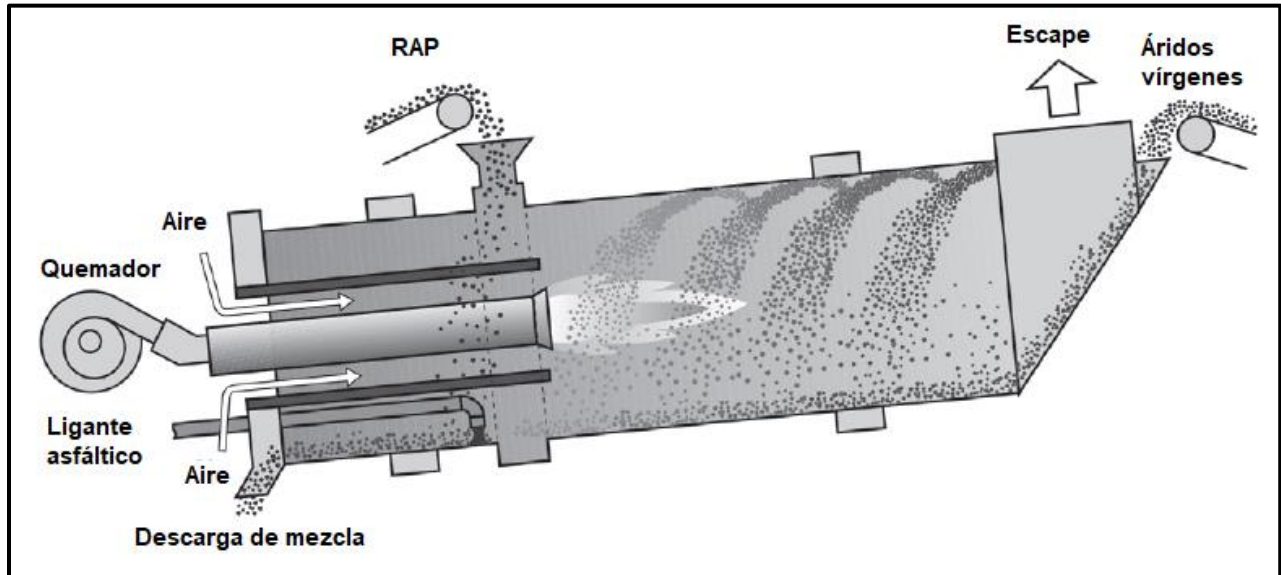


Figura 2.28. Tambor [4].

Los áridos ingresan a la zona de secado y calentamiento del tambor, donde con ayuda de las estrías instaladas en la cubierta interior se mueven alcanzando la temperatura requerida. Es importante cuidar que las estrías no estén sueltas, rotas, dobladas o desgastadas. El ligante ingresa por el extremo inferior del tambor para mezclarse con los agregados. La zona de mezcla debe alejarse o protegerse de la llama del quemador para evitar el envejecimiento acelerado del ligante (Figura 2.28). El filler recuperado por los colectores de polvo se ingresa en un punto próximo al ingreso del ligante para que las partículas sean atrapadas y cubiertas antes de volver a circular por la corriente de escape.

Existen tambores en los que la zona de mezclado se encuentra apartada de las zonas de calentamiento y secado, gracias al acople de mezcladores de paleta como se indica en las Figuras 2.29 y 2.30.

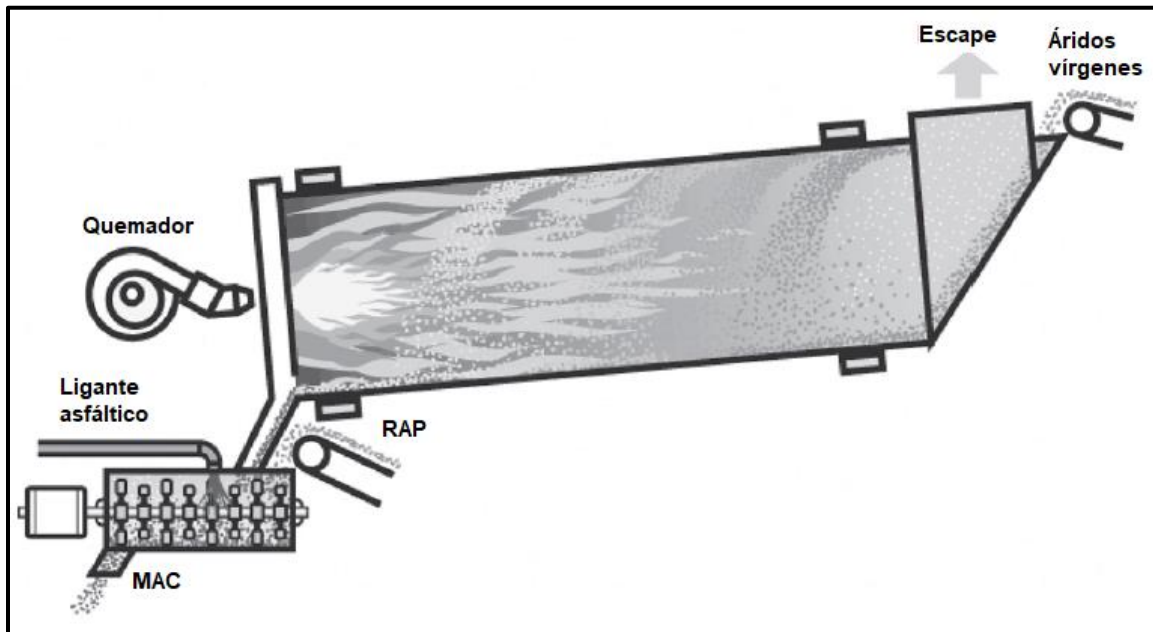


Figura 2.29. Secador con mezclador separado [4].

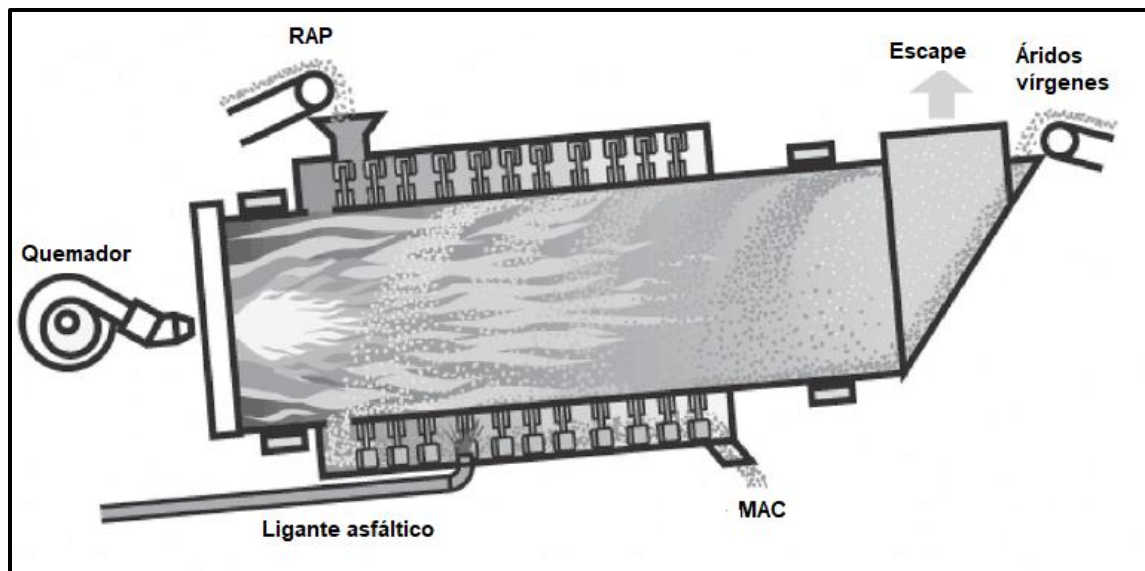


Figura 2.30. Secador con mezclador acoplado [4].

3 ANÁLISIS MANUAL DE CARRETERAS SECCIÓN 5.408**3.1 Requisitos para MAC**

El M.C especifica los requisitos que deben cumplir tanto los áridos y el ligante, como la mezcla asfáltica en sí en Sección 5.408.2, sin embargo. las exigencias se limitan únicamente a las requeridas por método Marshall para diseño de mezclas a pesar de que en Chile se han empleado mezclas asfálticas con diseño Superpave desde hace algunos años.

3.1.1 Áridos

En M.C 5.408.202 se describen los requisitos que deben cumplir las fracciones gruesa, fina, polvo mineral y la combinación de áridos. El diseño Marshall hace la distinción entre fracción gruesa y fina a partir el tamiz 2,5 mm (ASTM N°8), la porción retenida corresponde a la fracción gruesa y la que pasa a la fracción fina. Para ambas, se especifican las propiedades físicas que deben cumplir para ser utilizadas en una mezcla asfáltica en caliente.

Tanto para el polvo mineral como para los áridos combinados son indicadas las granulometrías a las que deben ajustarse. Se exige que los áridos sean combinados en proporciones tales que la mezcla resultante se ajuste a alguna de las bandas señaladas para el tipo de MAC a utilizar en el proyecto. Los tipos de MAC son definidos por granulometría; densa, semidensa, gruesa, abierta y fina. Cada banda se nombra a partir del tamaño nominal de la mezcla de áridos.

3.1.2 Ligante asfáltico

El M.C indica que en proyectos de pavimentación se deben usar cementos asfálticos según grado de viscosidad absoluta del tipo CA 24 o CA 14, salvo indicación contraria [1] los que deben cumplir con las especificaciones descritas en M.C 8.301.1 Asfaltos: Especificaciones para cementos asfálticos según grado de viscosidad.

3.1.3 Propiedades de las Mezclas Asfálticas

En M.C 5.408.203(1) y 5.408.203(2) se establecen los requisitos exigidos a las mezclas mencionadas en 3.1.1. En dichas secciones se referencia a M.C 8.302.47 Asfaltos: Método de diseño Marshall.

3.2 Caracterización de planta mezcladora

El M.C describe las características de las plantas mezcladoras en la Sección 5.408.302(2). La Tabla 3-1 recoge el listado descrito en dicha sección y lo ordena en base al cumplimiento de objetivos del proceso de producción; alimentación, acondicionamiento, dosificación y mezcla. Las características se asignan a uno o ambos tipos de planta según corresponda.

Tabla 3-1. Estado actual MC 5.408.302(2) [1].

Objetivo de producción	Plantas Continuas	Plantas Discontinuas
Alimentación de áridos	- Un mínimo de tres (3) tolvas para mezclas destinadas al almacenamiento y alimentación de los áridos en frío. - Alimentación por medio de una cinta transportadora y compuertas regulables.	
Alimentación de ligante asfáltico	Sin mención.	
Sistema de administración de agregados (RAP, filler de aportación, cal)	Sistema de medición y alimentación del polvo mineral (filler), si se utiliza.	
Sistema de recolección de polvo y control de emisiones	- Colector de polvo. - Ductos de aire auxiliares destinados a reducir el polvo en el área de trabajo. - Recolector de finos para el realimentador.	
Unidad de secado (Acondicionamiento)	- Secador de áridos. - Estrías del secador en buen estado. - Reja protectora del secador que impida el ingreso del sobretamaño. - Ventilador que permite controlar el flujo de aire al quemador y colector de polvo.	
Unidad de mezcla	Sin mención.	Mezclador de doble paleta.
Dosificación de áridos	Sin mención.	- Unidad de control de graduación del árido. - Tolvas para almacenar el árido caliente.
Dosificación de ligante asfáltico	Sin mención.	Elemento independiente para pesaje del asfalto o una bomba conectada al sistema de alimentación que permita controlar la cantidad incorporada.
Descarga de MAC	Elemento de pesaje que permita un control de la producción en operación continua.	

Como se observa en la Tabla 3-1, el Manual de Carreteras describe las características comunes entre ambas plantas y características particulares de la unidad de mezcla y dosificación de una planta discontinua o de lotes. La diferencia más relevante entre documentos normativos extranjeros, particularmente estadounidenses [2][4][6][7], y la directriz nacional es que en EE. UU. los requisitos para plantas mezcladoras son definidos para ambos tipos de plantas. En Chile, las mezclas asfálticas en caliente se producen tanto en plantas discontinuas como plantas continuas por lo que el hecho de que esta última no se incluya en el marco regulatorio de la Dirección de Vialidad del MOP da cuenta del estado de desactualización de este.

4 PROPUESTA DE MODIFICACIÓN

En este capítulo se presentan las modificaciones propuestas para la actualización del numeral 5.408 del M.C.

4.1 Estructura Numeral 5.408

Se reestructura la Sección 5.408 de acuerdo con la versión 2022 del Manual de Carreteras incorporando las secciones de Referencias y Terminología además de las modificaciones a las Secciones de Materiales y Procedimiento de Trabajo:

- **Sección 1** Descripción y Alcances
- **Sección 2** incorpora esta sección destinada a “Referencias”
- **Sección 3** incorpora esta sección destinada a “Terminología”
- **Sección 4** Materiales

Se incorporan especificaciones Superpave para ligantes asfálticos, agregados minerales y mezcla asfáltica en Caliente (MAC).

Requisitos Marshall y Superpave para ligantes asfálticos, agregados y mezclas asfálticas se especifican en secciones independientes.

- **Sección 5** Procedimiento de Trabajo

Se adapta sección **5.408.305 Producción de mezclas** incorporando descripción de equipos de plantas asfálticas continuas y discontinuas haciendo la distinción entre ambas. Adicionalmente se actualizan los controles realizados durante el proceso de producción de mezclas asfálticas.

- **Sección 6** Partidas del Presupuesto y Bases de Medición

4.2 Incorporación de requisitos Superpave para mezclas asfálticas en caliente

Los requisitos Superpave para los áridos en cuanto a granulometría y propiedades se especifican en AASHTO M 323. Las exigencias a las que debe ajustarse el ligante asfáltico se encuentran descritas actualmente en el Manual de Carreteras en su Sección 8.301.10. Estas especificaciones son recopiladas en la memoria “Diseño de mezclas Superpave y su incorporación al manual de carreteras” [8]. Para ampliar el alcance de la Sección 5.408 hacia las mezclas con diseño Superpave se propone:

- Subdividir Sección 5.408.201 Áridos en:

Sección 4.1.1 Requisitos Marshall, donde se conservan los requisitos descritos actualmente en M.C para la fracción gruesa, fracción fina, polvo mineral y áridos combinados ajustando la numeración existente, y

Sección 4.1.2 Requisitos Superpave, donde se incorporan las especificaciones de propiedades de origen, propiedades de consenso y granulometría de agregados combinados. Para adaptar el límite de los valores de las propiedades de consenso a la realidad nacional, se han adoptado los límites establecidos actualmente en el MC para la propiedad de Angularidad del agregado Grueso. Para aquellas sin límites definidos en el MC se han mantenido los valores de la especificación Superpave. En cuanto a las propiedades del origen se utiliza el mismo criterio. A partir de estos valores es que los límites para ambas propiedades son susceptibles a bajar debido a que los criterios y calidad de los agregados producidos en Chile difieren de los norteamericanos. El ajuste

de estos valores se encuentra fuera de los alcances de este estudio, pero puede ser material para futuros trabajos de título.

En consecuencia, se debe incorporar Sección 4.1.2 Requisitos Método Superpave:

“4.1.2.1- Mezcla de Áridos

Los áridos combinados deberán cumplir con las condiciones exigidas en las Tablas 5.408.4.J y 5.408.4.K. Las distintas fracciones de áridos deben combinarse en proporciones tales que la mezcla resultante cumpla con los requisitos de granulometría indicados en la Tabla 5.408.4.L. La fracción gruesa corresponde a la fracción que pasa por tamiz 4,75 mm (ASTM N° 4) y la fracción fina a la fracción que pasa por tamiz 4,75 mm (ASTM N° 4).

TABLA 5.408.4.J
PROPIEDADES DE ORIGEN O FUENTE DEL AGREGADO

Ejes equivalentes (EE) a 20 años de diseño	Desgaste de Los Ángeles	Sulfato de sodio o magnesio	*Materiales deletéreos	
	% Máx	% Máx	Terrones de arcilla/partículas desmenuzables	Partículas ligeras
(EE millones)	8.202.11	8.202.17	8.202.16	AASHTO T113
<0,3	35	15	<5	<5
0,3 a <3	35	15	<4	<4
3 a <10	30	15	<3	<3
10 a <30	30	15	<2	<2
≥30	25	<10	<1	<1
*Ensayos específicos y requisitos de propiedades que se determinan localmente				

TABLA 5.408.4.K
PROPIEDADES DE CONSENSO DEL AGREGADO

Diseño EE(a) (en millones)	Partículas chancadas, agregado grueso(b) % Mínimo		Contenido de vacíos no compactado del agregado fino % Mínimo		Equivalente de arena	Planas y alargadas(b)
	Profundidad desde la superficie		Profundidad desde la superficie		% Mínimo	% Máximo
	≤100 mm	>100	≤100 mm (f)	>100		
<0,3	60/-	-/-	-(d)	-	40	-
0,3 a <3	75/-	60/-	40(e)	40	40	10
3 a <10	85/80(c)	60/-	45	40	45	10
10 a <30	95/90	80/75	45	40	45	10
≥30	100/100	100/100	45	45	50	10
a. El nivel de tránsito del proyecto previsto que se espera en el carril de diseño durante un periodo de 20 años. Independientemente de la vida útil real del diseño de la calzada, determine los EE de diseño para 20 años. b. Este criterio no se aplica a las mezclas de tamaño máximo nominal del agregado de 4,75 mm. c. 85/80 significa que el 85% del agregado grueso tiene una o más caras fracturadas y el 80% tiene dos o más caras fracturadas. d. Para una mezcla de tamaño máximo nominal del agregado de 4,75 mm diseñada para niveles de tránsito por debajo de 0,3 millones de EE, el contenido mínimo de vacíos no compactados es 40. e. Para una mezcla de tamaño máximo nominal de agregado de 4,75 mm diseñada para niveles de tránsito iguales o superiores a 0,3 millones de EE, el contenido mínimo de vacíos no compactados es 45.						

TABLA 5.408.4.L
PUNTOS DE CONTROL DE LA GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS COMBINADOS

Tamaño tamiz mm	Tamaño máximo nominal del agregado-Puntos de control (% que pasa)											
	37,5 mm		25 mm		19 mm		12,5 mm		9,5 mm		4,75 mm	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
50,0	100											
37,5	90	100	100									
25,0		90	90	100	100							
19,0				90	90	100	100					
12,5						90	90	100	100		100	
9,5								90	90	100	95	100
4,75										90	90	100
2,36	15	41	19	45	23	49	28	58	32	67		
1,18											30	55
0,075	0	6	1	7	2	8	2	10	2	10	6	13

La granulometría de los áridos combinados se clasifica como granulometría gruesa cuando pasa por debajo del punto de control (PCS) que se indica en la Tabla 5.408.4.M. Las granulometrías que pasan sobre el PCS se clasifican como granulometría fina. Ver Figura 1.

TABLA 5.408.4.M
CLASIFICACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA

	Punto de control PCS para tamaño máximo nominal de la mezcla (% que pasa)					
Tamaño máximo nominal del agregado	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm
Tamiz de control primario	9,5 mm	4,75 mm	4,75 mm	2,36 mm	2,36 mm	1,18 mm
Punto de control PCS, % que pasa	47	40	47	39	47	40

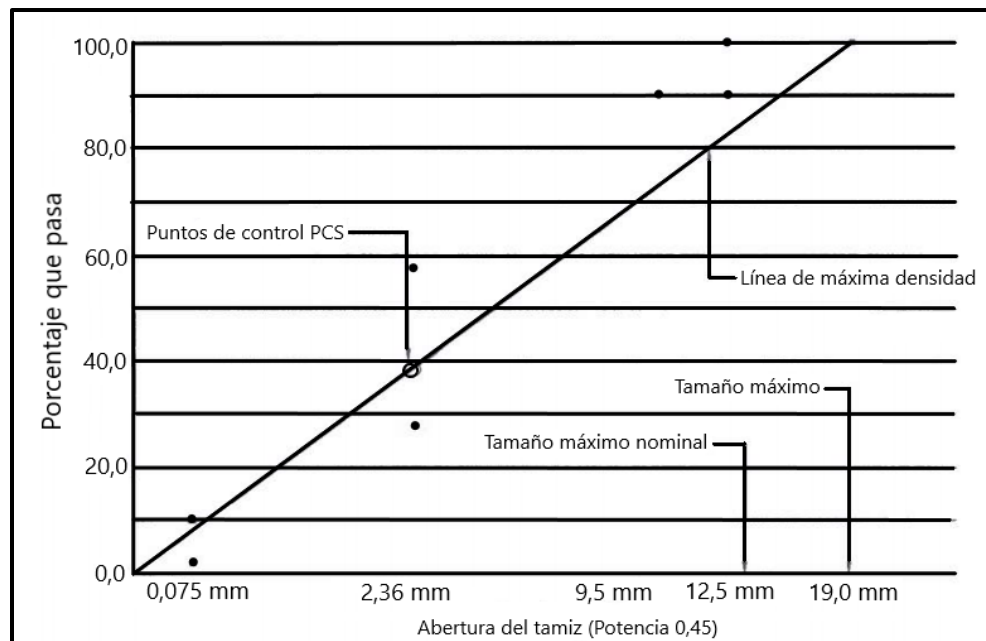


Figura 4.1. Método Superpave: Puntos de control (PCS) para una granulometría de áridos combinados con tamaño máximo nominal 12,5 mm

- En Sección 5.408.202 Asfalto incluir los requisitos Superpave para ligantes asfálticos referenciando a la Sección 8.301.10 Asfaltos: Especificaciones para ligantes asfálticos por grado de desempeño (PG) usando ensaye MSCR y actualizar numeración de la Sección a 4.2:

“Salvo indicación en contrario en el proyecto, se deberán usar cementos asfálticos según grado de viscosidad absoluta del tipo CA 24 o CA 14, según la zona y el clima del lugar donde se empleen, **o ligantes asfálticos por grado de desempeño (PG), según temperaturas extremas del pavimento y categoría de tránsito esperado.** Estos materiales deberán cumplir con la Especificación 8.301.1 y **8.301.10 respectivamente.**”

- En Sección 5.408.203 Propiedades de las mezclas asfálticas, incorporar Sección 4.3.3 Mezclas de Granulometrías Gruesas y Finas con diseño Superpave, con la siguiente descripción:

“El Contratista deberá presentar al Inspector Fiscal la dosificación de las mezclas asfálticas antes de comenzar la pavimentación y siempre que tenga producido como mínimo el 20 % de los agregados pétreos a utilizar en la temporada

La dosificación deberá ser visada por el Laboratorio de Vialidad en un plazo máximo de 25 días, contados desde la fecha de recepción de la solicitud del Inspector Fiscal y todos los materiales a emplear. El Contratista sólo podrá comenzar con la colocación de las mezclas asfálticas, cuando haya recibido la visación del Laboratorio de Vialidad. Si transcurrido el plazo de 25 días antes señalado, el Contratista no hubiese recibido la respuesta a la dosificación presentada, el Inspector Fiscal podrá autorizar el inicio de la ejecución de esta partida de la obra.

El diseño de la mezcla se hará mediante el Método descrito en AASHTO M 323 y R 35.

Las mezclas de granulometrías gruesas y finas deberán cumplir con lo indicado en las Tablas 5.408.4.P.”

El contenido de la tabla a incorporar se muestra en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1. Requisitos de diseño de la mezcla asfáltica Superpave [8].

Diseño EE (en millones)	Gravedad específica bruta como porcentaje de la gravedad específica máxima			Vacíos en el agregado mineral (VAM) % Mínimo						Vacíos llenos con asfalto (V _{LL}) ^(b) Rango %	Relación polvo/ligante Rango ^(c)
				Tamaño máximo nominal del agregado, mm							
	N _{inicial}	N _{diseño}	N _{máximo}	37,5	25	19	12,5	9,5	4,75		
<0,3	≤ 91,5	96,0	≤ 98,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	70-80 ^{(d)(e)}	0,6-1,2
0,3 a < 3	≤ 90,5	96,0	≤ 98,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	65-78 ^(f)	0,6-1,2
3 a < 10	≤ 89,0	96,0	≤ 98,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	65-75 ^{(c)(f)(g)}	0,6-1,2
10 a <30	≤ 89,0	96,0	≤ 98,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0		0,6-1,2
≥ 30	≤ 89,0	96,0	≤ 98,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	65-75 ^(g)	0,6-1,2
a. Los EE de diseño son el nivel de tránsito del proyecto previsto que se espera en el carril de diseño durante un período de 20 años. Independiente de la vida útil real del diseño de la calzada, determine los EE de diseño durante 20 años.											
b. Para mezclas de tamaño máximo nominal del agregado de 37,5 mm, el límite inferior especificado del V _{LL} será del 64 % para todos los niveles de tránsito de diseño.											
c. Para mezclas de tamaño de máximo nominal del agregado de 4.74 mm, la relación de polvo/ligante será											

de 1,0 a 2,0 para niveles de tránsito de diseño < 3 millones de EE, y de 1,5 a 2,0 para niveles de tránsito de diseño ≥ 3 millones de EE.

- d. Para mezclas de tamaño máximo nominal del agregado de 4,75 mm, la densidad relativa (como porcentaje de la gravedad específica máxima) debe estar dentro del rango de 94,0% a 96,0%.
- e. Para niveles de tránsito de diseño < 0,3 millones de EE y para mezclas de tamaño máximo nominal de 25,0 mm, el límite inferior especificado del rango de V_{LL} debe ser del 67 % y para mezclas de tamaño máximo del agregado nominal de 4,75 mm, el rango de V_{LL} especificado debe ser de 67 % al 69 %.
- f. Para niveles de tránsito de diseño > 0,3 millones de EE y para mezclas de tamaño máximo nominal del agregado de 4,75 mm, el rango de V_{LL} especificado debe ser del 66 % a 77 %.
- g. Para niveles de tránsito de diseño ≥ 3 millones de EE y para mezclas de tamaño máximo nominal del agregado de 9,5 mm, el rango de V_{LL} especificado debe ser del 73 % al 76 %.

4.3 Actualización de características de la planta mezcladora

Para caracterizar y distinguir las plantas mezcladoras se definen objetivos de producción: almacenamiento, alimentación, acondicionamiento, dosificación, mezclado, descarga y colección de polvo. El almacenamiento y alimentación es considerado para todos los componentes de la MAC; ligante asfáltico y agregados (áridos, RAP, filler de aportación, cualquier otro que el diseño de mezcla especifique)

Las plantas continuas y discontinuas se diferencian por lo equipos implementados para la dosificación y la descarga de la mezcla. En consecuencia, se propone:

- Complementar el primer párrafo de la Sección 5.408.302(2) y renumerar Sección con:

“La mezcla será preparada en **plantas fijas o móviles; estas podrán ser del tipo continuo o discontinuo**, que permitan reproducir las dosificaciones y la mezcla con las características exigidas por esta Sección. La planta que se utilice para la producción de mezcla asfáltica debe definirse de acuerdo a los requerimientos del proyecto (magnitud, ubicación, accesibilidad, programa de obra). Cualquiera sea el tipo de planta que se utilice, las unidades principales deberán estar en óptimas condiciones de funcionamiento, de manera de que trabajen en forma regular y **sean capaces cubrir la demanda de mezcla asfáltica del proyecto. Para tal efecto, las emisiones se registrarán por los umbrales establecidos por la legislación vigente.**

La planta mezcladora debe producir una mezcla asfáltica que contenga las proporciones específicas de cemento asfáltico y agregados establecidos en el diseño de mezcla. Para esto debe disponer como mínimo de los siguientes elementos:”

- Eliminar los elementos mínimos descritos en Sección 5.408.302(2) que caracterizar la planta mezcladora e incorporar los equipos en común en ambos tipos de planta:
 - Almacenamiento de ligante asfáltico capaz mantener la temperatura de mezclado requerida. Cada almacenamiento debe identificar el tipo de ligante que contiene y estar equipado con equipos termométricos certificados por un externo para indicar con precisión la temperatura del ligante asfáltico.
 - Tantas tolvas de alimentación de áridos en frío como el diseño de mezcla lo requiera, con divisores verticales entre contenedores;
 - Alimentación por medio de una cinta transportadora y alimentadores de banda de velocidad regulable por cada tolva de alimentación en frío. Cada entrada de alimentación en frío debe estar equipada con un sensor de flujo que alerte la detención del flujo de árido;

- Sistema de administración de RAP adecuado al diseño de mezcla, si se utiliza. Debe tener tantas tolvas de alimentación en frío como fracciones de RAP especifique el diseño. El sistema de dosificación debe ser calibrable y contrastable.
 - Silo de almacenamiento de filler de aportación, si se utiliza;
 - Sistema de alimentación y dosificación de filler de aportación, si se utiliza. El sistema de dosificación debe ser calibrable;
 - Reja protectora del secador/tambor que impida el ingreso de sobretamaño y agentes contaminantes;
 - Instrumento termométrico certificado por un externo para monitorear la temperatura cuando el árido sale del secador en el caso de plantas discontinuas, o cuando la mezcla sale del tambor en el caso de plantas continuas. La lectura del instrumento debe estar a la vista del operador de la planta;
 - Colector(es) de polvo capaz de filtrar las partículas polvo arrastradas por corriente de escape del secador para reincorporarlas a la mezcla.;
 - Pre silo capaz de vaciar la mezcla en una sola descarga en el equipo de almacenamiento o reparto;
 - Sistema de pesaje para camiones calibrable y contrastable;
 - Sala de control con visibilidad de toda la operación equipada con un sistema de bloqueo o parada de emergencia que permita la detención total de los equipos en funcionamiento. Debe reunir las condiciones para una operación segura; accesibilidad, limpieza, aislación del ruido;”
- Agregar Sección 5.2.2.1 para describir los equipos de dosificación y mezcla que permiten distinguir una planta asfáltica discontinua:
 - Secador de áridos que seque y homogenice temperatura;
 - Elevador que transporte el árido descargado del secador a la torre de dosificación;
 - Unidad de cribado compuesta por cribas vibratorias de diferentes tamaños que separan el árido seco y caliente en tamaños específicos;
 - Tolvas receptoras del árido a temperatura de trabajo y separado por tamaños ubicadas después de la unidad de cribado. Cada tolva debe estar equipada con un dispositivo que indique el nivel del depósito capaz de alertar cuando los áridos caen por debajo de cierto nivel y contar con un acceso o escotilla para el muestro del árido;
 - Dispositivo de pesaje para la dosificación de áridos calientes ubicado sobre la cámara de mezcla que permita obtener las cantidades por fracción establecidas en el diseño de mezcla. El dispositivo debe ser calibrable y contrastable para asegurar la correcta dosificación;
 - Sistema de alimentación de ligante asfáltico equipado con un tanque de pesaje montado en un dispositivo de pesaje calibrable que permita incorporar con precisión la cantidad adecuada;
 - Silo de almacenamiento de filler recuperado;
 - Sistema de alimentación y pesaje de filler recuperado;
 - Mezclador o cámara de mezcla que asegure el mezclado homogéneo de los componentes de la mezcla asfáltica;
 - Sistema de control de las operaciones de un ciclo de mezcla completo (pesaje y dosificación de componentes, temperaturas de trabajo, tiempo de mezcla, abertura de compuertas de tolvas y mezclador) con capacidad de registro de

temperaturas y cantidades. Debe monitorear el flujo de extracción de filler de manera que el colector del polvo funcione correctamente. El sistema debe tener la capacidad de producir la mezcla asfáltica de acuerdo con los parámetros de diseño establecidos;

- Agregar Sección 5.2.2.1 para describir los equipos de dosificación y mezcla que permiten distinguir una planta asfáltica discontinua:
 - Elemento de pesaje continuo ubicado en la cinta transportadora del sistema de alimentación áridos que permita un control de la dosificación basada en la velocidad de los alimentadores de banda;
 - Sistema de alimentación continua de ligante que permita controlar la cantidad incorporada. El sistema de alimentación debe ser calibrable;
 - Tambor que seque y homogenice la temperatura de los áridos y los combine con el ligante asfáltico en una mezcla uniforme;
 - Sistema de control de las operaciones de mezclado (dosificación de componentes, temperaturas de trabajo, tiempo de mezcla) con capacidad de registro de temperaturas y cantidades. Debe permitir la compensación de la humedad del árido. El sistema debe tener la capacidad de producir la mezcla asfáltica de acuerdo con los parámetros de diseño establecidos.”
- En Sección 5.408.302(3) Controles actualizar numeración y eliminar punto:
 - Proporción y granulometría de la mezcla caliente, según muestras extraídas de un mínimo de tres buzones de almacenamiento en mezclas de granulometrías densas o gruesas y de dos buzones en mezclas de granulometrías abiertas o finas;

5 SECCIÓN 5.408 DE MANUAL DE CARRETERAS MODIFICADA**MC 5.408 MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE****5.1 DESCRIPCIÓN Y ALCANCES**

En esta Sección se definen los trabajos de construcción de concretos asfálticos mezclados en planta y en caliente, incluyendo la provisión de materiales, los transportes, la distribución y la compactación. Las mezclas podrán ser de granulometría densa, semidensa, gruesa, abierta o fina, de acuerdo con lo que disponga el Proyecto.

En caso de utilizar RAP en mezclas asfálticas en caliente producidas en planta, se deberá seguir las directrices indicadas en Sección 5.423.

5.2 REFERENCIAS

- Sección 5.401 Imprimación
- Sección 5.402 Riego de Liga
- Sección 5.423 Mezclas Asfálticas en Caliente con RAP
- Sección 8.003.11 Método de Comparación de Ensayes de Control de Calidad y Criterios de Aceptación o Rechazo
- Sección 8.102.4 Suelos: Método para Determinar el Límite Plástico
- Sección 8.202.6 Agregados Pétreos: Método para Determinar la Cubicidad de las Partículas
- Sección 8.202.9 Agregados Pétreos: Método para Determinar el Equivalente de Arena*
- Sección 8.202.11 Agregados Pétreos: Método para Determinar el Desgaste Mediante la Máquina de Los Ángeles
- Sección 8.202.14 Agregados Pétreos: Método para Determinar Sales Solubles
- Sección 8.202.17 Agregados Pétreos: Método de los Sulfatos para Determinar la Desintegración*
- Sección 8.301.1 Asfaltos: Especificaciones para Cementos Asfálticos según Grado de Viscosidad.
- Sección 8.301.6 Asfaltos: Especificaciones para Cementos Asfálticos Modificados con Polímeros.
- Sección 8.301.10 Asfaltos: Especificaciones para Cementos Asfálticos por Grado de Desempeño (PG) usando Ensaye MSCR.
- Sección 8.302.29 Asfaltos: Método Estático para Determinar la Adherencia Agregado-Ligante Asfáltico.
- Sección 8.302.30 Asfaltos: Método para Determinar la Adherencia Agregado-Ligante Asfáltico mediante Carbonato de Sodio (Riedel-Weber).
- Sección 8.302.31 Asfaltos: Método Dinámico para Determinar la Adherencia Agregado-Ligante.
- Sección 8.302.38 Asfaltos: Método para Determinar la Densidad Real de Mezclas Asfálticas Compactadas.
- Sección 8.302.40 Asfaltos: Método para Determinar la Resistencia a la Deformación Plástica de Mezclas Asfálticas utilizando el Aparato Marshall*
- Sección 8.302.41 Asfaltos: Método para Determinar el Espesor de Mezclas Asfálticas Compactadas

SECCIÓN 5.408 DE MANUAL DE CARRETERAS MODIFICADA

- Sección 8.302.47 Asfaltos: Método de Diseño Marshall
- Sección 8.302.48 Asfaltos: Método de Diseño de Mezclas Asfálticas Abiertas
- Sección 8.302.56 Asfaltos: Método de para Determinar el Contenido de asfalto por Ignición*
- Sección 8.502.4 Auscultaciones y Prospecciones: Método para Determinar las Irregularidades Superficiales mediante Hi-Lo
- Sección 8.502.8 Auscultaciones y Prospecciones: Método para Determinar la Rugosidad de los Pavimentos mediante Perfilometría Longitudinal
- Sección 8.502.14 Auscultaciones y Prospecciones: Método para Determinar la Macrotextura del Pavimento Mediante Ensaye del Círculo de Arena
- Sección 8.502.15 Auscultaciones y Prospecciones: Método para la determinación de la Macrotextura del Pavimento Mediante Perfilometría Laser
- Sección 8.502.16 Auscultaciones y Prospecciones: Método para determinar el Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento con Péndulo Británico (TRRL)
- Sección 8.502.17 Auscultaciones y Prospecciones: Método para la Determinación de Coeficiente de Fricción Transversal del Pavimento con Scrim
- Sección 8.502.19 Auscultaciones y Prospecciones: Método de Homologación de Mediciones de Resistencia al Deslizamiento y Macrotextura
- AASHTO M 323 Superpave Volumetric Mix Design
- AASHTO R 35 Standard Practice for Superpave Volumetric Design for Asphalt Mixtures

5.3 TERMINOLOGÍA.

5.3.1 Contenido de asfalto (P_b): Es el porcentaje en masa de ligante asfáltico en la mezcla total, incluidos el ligante asfáltico y el agregado.

5.3.2 Ejes equivalentes de diseño: Corresponden a las cargas equivalentes de un eje de 80 KN

Aclaración: Los EE de diseño son el nivel de tránsito previsto del proyecto que se espera en el carril de diseño durante un período de 20 años. Para pavimentos diseñados para más o menos de 20 años, determine los EE de diseño para 20 años cuando utilice este método estándar.

5.3.3 Relación de polvo/ligante efectivo ($P_{0,075}/P_{be}$): En masa, la relación entre el porcentaje que pasa por el tamiz de 75 μ m (No. 200) (0,075mm) y el contenido efectivo de ligante asfáltico (P_{be}).

5.3.4 MAC: Mezcla asfáltica caliente.

5.3.5 RAP: Reclaimed Asphalt Pavement.

5.3.6 Tamaño máximo de agregado: Un tamaño más grande que el tamaño máximo nominal del agregado.

5.3.7 Tamaño máximo nominal del agregado: Un tamaño más grande que el primer tamiz que retiene más del 10 % del agregado.

5.3.8 Tamiz de control primario (PCS): El tamiz que define el punto de control entre las mezclas de grado fino y grueso para cada tamaño máximo nominal del agregado

5.3.9 Pavimento asfáltico reciclado (RAP): Materiales de pavimento removidos y/o procesados que contienen ligante asfáltico y agregados.

5.3.10 Vacíos llenos de asfalto (V_{LL}): El porcentaje de VAM lleno de ligante asfáltico (el volumen efectivo de ligante asfáltico dividido por el VAM).

5.3.11 Vacíos en el agregado mineral (VAM): El volumen del espacio vacío intergranular entre las partículas de agregado de una mezcla de pavimentación asfáltica compactada que incluye los vacíos de aire y el contenido de ligante efectivo, expresado como un porcentaje del volumen total de la muestra.

5.3.12 Gravedad específica: Es la relación entre la densidad y la densidad del agua a la temperatura preestablecida.

5.3.13 Gravedad específica bruta de la mezcla (G_{mb}): Es la relación entre la masa seca de la mezcla (ligante asfáltico y agregados) dividida por el volumen de ligante asfáltico efectivo, de agregados incluidos poros accesibles y no accesibles y vacíos de aire, por unidad de volumen de agua.

5.3.14 Gravedad específica máxima teórica de la mezcla (G_{mm}): Es la relación entre la masa del agregado y asfalto dividida por el volumen del agregado incluyendo poros accesibles y no accesibles más el volumen del asfalto efectivo, por unidad de volumen de agua.

Nota 1: Las definiciones dadas se aplican solo a las mezclas Superpave y difieren de las definiciones publicadas en otras normas AASHTO y Manual de Carreteras.

5.4 MATERIALES

5.4.1 Áridos

Los áridos deberán clasificarse y acopiarse separadamente en canchas limpias y estables habilitadas especialmente para este efecto, de manera que no se produzca contaminación ni segregación de los materiales. Se deben evitar condiciones de acopio que aumenten el contenido de humedad del material y la contaminación cruzada entre fracciones. De acuerdo al método utilizado en el diseño de mezcla, Marshall o Superpave, los áridos deberán ajustarse a los siguientes requisitos

5.4.1.1 Requisitos Método Marshall

5.4.1.1.1 Fracción Gruesa

Corresponde a la fracción retenida en tamiz 2,5 mm (ASTM N° 8), la cual deberá estar constituida por partículas chancadas, tenaces, limpias, entendiéndose por limpias, partículas libres de materia orgánica, arcilla o materias extrañas. Ante alguna duda, y con la aprobación del Inspector Fiscal y el Laboratorio de Vialidad, se podrá exigir su limpieza por lavado, aspiración u otro método aprobado por este Laboratorio a solicitud del Inspector Fiscal.

La fracción gruesa se deberá ajustar a los requisitos que se indican en la Tabla 5-1 para el tipo de mezcla que se especifique en el Proyecto.

Tabla 5-1 Requisitos para la fracción gruesa

Ensaye	Tipo de mezcla asfáltica				Método
	Rodadura	Intermedia	Base		
			Gruesa	Abierta	
Desgaste Los Ángeles (máx.)	25% (1)	35%	35%	30%	8.202.11
Desintegración en Sulfato de Sodio (máx.)	12%	12%	12%	12%	8.202.17
Partículas Chancadas (mín.)	90%	70%	60%	90%	8.202.6
Partículas Lajeadas (máx.)	10%	15%	15%	10%	8.202.6
Adherencia Método Estático (mín.)	95%	95%	95%	95%	8.302.29
Adherencia Método Dinámico (mín.) (2)	95%	95%	95%	95%	8.302.31

SECCIÓN 5.408 DE MANUAL DE CARRETERAS MODIFICADA

(1) El Proyecto podrá especificar otro valor de desgaste de Los Ángeles, debidamente justificado, el cual no podrá superar 35%.

(2) La adherencia dinámica sólo se exigirá en áreas con precipitación media anual superior a 350 mm. Si no cumplen los áridos con esta exigencia, se podrán utilizar previa incorporación de un aditivo que mejore la adherencia en obra.

5.4.1.1.2 Fracción Fina

Corresponde a la fracción que pasa por tamiz 2,5 mm (ASTM N° 8), la cual deberá estar constituida por agregados o provenientes de la trituración de rocas o gravas, las que deberán cumplir con las condiciones exigidas al árido grueso en Tabla 5.408.4.A sobre Desgaste de Los Ángeles. Sus partículas deberán ser duras, tenaces y libres de arcilla o sustancias perjudiciales. Ante alguna duda y con la aprobación del Inspector Fiscal, se podrá exigir su limpieza por lavado, aspiración u otro método aprobado por el Laboratorio de Vialidad, a solicitud del Inspector Fiscal. Estos áridos se emplearán en la preparación de mezclas densas, semidensas, gruesas y finas, debiendo cumplir con los requisitos indicados en la Tabla 5-2

Tabla 5-2 Requisitos para la fracción fina

Ensaye	Tipo de mezcla asfáltica				Método
	Rodadura	Intermedia	Base		
			Gruesa	Abierta	
Índice de Plasticidad	NP	NP	NP	NP	8.102.4
Adherencia Riedel – Weber (1)	Mín. 0 - 5	Mín. 0 - 5	Mín. 0 - 5	Mín. 0 - 5	8.302.30
Desintegración Sulfato de Sodio(máx.) (2)	15%	15%	15%	15%	8.202.17

(1) Si no cumplen los áridos con esta exigencia, se podrán utilizar previa incorporación de un aditivo que mejore la adherencia en obra.

(2) Solo se exigirá cumplimiento en obras ubicadas en las Regiones XIa y XIIa y en la alta cordillera o cuando lo indique el Proyecto.

5.4.1.1.3 Polvo Mineral (filler)

Si se requiere adicionar filler de aportación, éste deberá estar constituido por polvo mineral fino tal como cemento hidráulico, cal u otro material inerte de origen calizo, libre de materia orgánica y partículas de arcilla, debiendo ajustarse a la granulometría que se señala en la Tabla 5.408.4.C.

Tabla 5-3 Granulometría del Filler

Tamices		% que pasa en peso
(mm)	(ASTM)	
0,600	(N° 30)	100
0,315	(N° 50)	95 – 100
0,075	(N° 200)	70 – 100

5.4.1.1.4 Mezcla de Áridos

Los áridos combinados deberán cumplir con los requisitos indicados en la Tabla 5-4. Las distintas fracciones de áridos deberán combinarse en proporciones tales que la mezcla resultante cumpla con alguna de las bandas granulométricas especificadas en las Tablas 5.-5 a 5-9, para el tipo de mezcla a emplear de acuerdo con lo indicado en el Proyecto.

Tabla 5-4 Requisitos para áridos combinados

Ensaye	Tipo de mezcla asfáltica				Método
	Rodadura	Intermedia	Base		
			Gruesa	Abierta	
Sales Solubles (máx.)	2%	3%	3%	3%	8.202.14
Equivalente de Arena (mín.)	50%	45%	40%	50%	8.202.9

Tabla 5-5 Granulometría de áridos: Granulometría densa

Denominación		IV - 10 ⁽¹⁾	IV - 12 ⁽²⁾	IV - 20 ⁽²⁾
Tamices (mm)	(ASTM)	% que pasa en peso		
25	(1")			100
19	(3/4")		100	80 – 100
12.5	(1/2")	100	80 – 100	----
9.5	(3/8")	80 – 100	70 – 90	60 – 80
4.75	(Nº 4)	55 – 75	50 – 70	48 – 65
2.36	(Nº 8)	35 – 50	35 – 50	35 – 50
0.6	(Nº 30)	18 – 29	18 – 29	19 – 30
0.315	(Nº 50)	13 – 23	13 – 23	13 – 23
0.16	(Nº 100)	8 – 16	8 – 16	7 – 15
0.075	(Nº 200)	4 – 10	4 – 10	0 - 8

(1) La banda IV-10 solo podrá utilizarse para ciclovías.

(2) Estas bandas se utilizarán cuando sobre ellas se coloque una mezcla drenante u otra de similares características.

SECCIÓN 5.408 DE MANUAL DE CARRETERAS MODIFICADA

Tabla 5-6 Granulometría de áridos: Granulometría semi densa

Denominación		IV - A - 12	IV - A - 20
(mm)	Tamices (ASTM)	% que pasa en peso	
25	(1")		100
19	(3/4")	100	80 - 95
12.5	(1/2")	80 - 95	65 - 80
9.5	(3/8")	70 - 85	57 - 73
4.75	(Nº 4)	43 - 58	40 - 55
2.36	(Nº 8)	28 - 42	28 - 42
0.6	(Nº 30)	13 - 24	13 - 24
0.315	(Nº 50)	8 - 17	8 - 17
0.16	(Nº 100)	6 - 12	6 - 12
0.075	(Nº 200)	4 - 8	4 - 8

Tabla 5-7 Granulometría de áridos: Granulometría gruesa

Denominación		III - 10	III - 12a	III - 12b	III - 20
(mm)	Tamices (ASTM)	% que pasa en peso			
25	(1")				100
19	(3/4")		100	100	75 - 100
12.5	(1/2")	100	75 - 100	75 - 100	---
9.5	(3/8")	75 - 100	60 - 85	60 - 85	45 - 70
4.75	(Nº 4)	35 - 55	35 - 55	30 - 50	30 - 50
2.36	(Nº 8)	20 - 35	20 - 35	20 - 35	20 - 35
0.6	(Nº 30)	10 - 22	10 - 22	5 - 20	5 - 20
0.315	(Nº 50)	6 - 16	6 - 16	3 - 12	3 - 12
0.16	(Nº 100)	4 - 12	4 - 12	2 - 8	2 - 8
0.075	(Nº 200)	2 - 8	2 - 8	0 - 4	0 - 4

Tabla 5-8 Granulometría de áridos: Granulometría abierta

Denominación		II - 5	II - 10	II - 12	II - 20	II - 25
(mm)	Tamices (ASTM)	% que pasa en peso				
37.5	(1 1/2")					100
25	(1")				100	70 - 100
19	(3/4")			100	70 - 100	50 - 80
12.5	(1/2")		100	70 - 100	---	---
9.5	(3/8")	100	70 - 100	45 - 75	35 - 60	25 - 50
4.75	(Nº 4)	40 - 85	20 - 40	20 - 40	15 - 35	10 - 30
2.36	(Nº 8)	5 - 20	5 - 20	5 - 20	5 - 20	5 - 20
0.075	(Nº 200)	0 - 4	0 - 4	0 - 4	0 - 4	0 - 4

Tabla 5-9 Granulometría de áridos: Granulometría fina

Denominación		V - 10	V - 12
(mm)	Tamices (ASTM)	% que pasa en peso	
19	(3/4")		100
12.5	(1/2")	100	85 - 100
9.5	(3/8")	85 - 100	---
4.75	(Nº 4)	65 - 80	65 - 80
2.36	(Nº 8)	50 - 65	50 - 65
1.18	(Nº 16)	37 - 52	37 - 52
0.6	(Nº 30)	25 - 40	25 - 40
0.315	(Nº 50)	18 - 30	18 - 30
0.15	(Nº 100)	10 - 20	10 - 20
0.075	(Nº 200)	3 - 10	3 - 10

5.4.1.2 Requisitos Método Superpave

5.4.1.2.1 Mezcla de Áridos

Los áridos combinados deberán cumplir con las condiciones exigidas en las Tablas 5-10 y 5-11. Las distintas fracciones de áridos deben combinarse en proporciones tales que la mezcla resultante cumpla con los requisitos de granulometría indicados en la Tabla 5-12. La fracción gruesa corresponde a la fracción que pasa por tamiz 4,75 mm (ASTM N° 4) y la fracción fina a la fracción que pasa por tamiz 4,75 mm (ASTM N° 4).

Tabla 5-10 Propiedades de origen o fuente del agregado

Ejes equivalentes (EE) a 20 años de diseño	Desgaste de Los Ángeles	Sulfato de sodio o magnesio	*Materiales deletéreos	
	% Máx	% Máx	Terrones de arcilla/partículas desmenuzables	Partículas ligeras
(EE millones)	8.202.11	8.202.17	8.202.16	AASHTO T113
<0,3	35	15	<5	<5
0,3 a <3	35	15	<4	<4
3 a <10	30	15	<3	<3
10 a <30	30	15	<2	<2
≥30	25	<12	<1	<1
*Ensayos específicos y requisitos de propiedades que se determinan localmente				

SECCIÓN 5.408 DE MANUAL DE CARRETERAS MODIFICADA

Tabla 5-11 Propiedades de consenso del agregado

Diseño EE(a) (en millones)	Partículas chancadas, agregado grueso(b) % Mínimo		Contenido de vacíos no compactado del agregado fino % Mínimo		Equivalente de arena	Planas y alargadas(b)
	Profundidad desde la superficie		Profundidad desde la superficie		% Mínimo	% Máximo
	≤100 mm	>100	≤100 mm (f)	>100		
<0,3	60/-	-/-	-(d)	-	40	-
0,3 a <3	75/-	60/-	40(e)	40	40	10
3 a <10	85/80(c)	60/-	45	40	45	10
10 a <30	95/90	80/75	45	40	45	10
≥30	100/100	100/100	45	45	50	10

a. El nivel de tránsito del proyecto previsto que se espera en el carril de diseño durante un periodo de 20 años. Independientemente de la vida útil real del diseño de la calzada, determine los EE de diseño para 20 años.

b. Este criterio no se aplica a las mezclas de tamaño máximo nominal del agregado de 4,75 mm.

c. 85/80 significa que el 85% del agregado grueso tiene una o más caras fracturadas y el 80% tiene dos o más caras fracturadas.

d. Para una mezcla de tamaño máximo nominal del agregado de 4,75 mm diseñada para niveles de tránsito por debajo de 0,3 millones de EE, el contenido mínimo de vacíos no compactados es 40.

e. Para una mezcla de tamaño máximo nominal de agregado de 4,75 mm diseñada para niveles de tránsito iguales o superiores a 0,3 millones de EE, el contenido mínimo de vacíos no compactados es 45.

Tabla 5-12 Puntos de control de la granulometría de los agregados combinados

Tamaño tamiz mm	Tamaño máximo nominal del agregado-Puntos de control (% que pasa)											
	37,5 mm		25.0 mm		19.0 mm		12,5 mm		9,5 mm		4,75 mm	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
50,0	100											
37,5	90	100	100									
25,0		90	90	100	100							
19,0				90	90	100	100					
12,5						90	90	100	100		100	
9,5								90	90	100	95	100
4,75										90	90	100
2,36	15	41	19	45	23	49	28	58	32	67		
1,18											30	55
0,075	0	6	1	7	2	8	2	10	2	10	6	13

La granulometría de los áridos combinados se clasifica como granulometría gruesa cuando pasa por debajo del punto de control (PCS) que se indica en la Tabla 5-13. Las granulometrías que pasan sobre el PCS se clasifican como granulometría fina. Ver Figura 1.

Tabla 5-13 Clasificación de la granulometría

	Punto de control PCS para tamaño máximo nominal de la mezcla (% que pasa)					
Tamaño máximo nominal del agregado	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4.75 mm
Tamiz de control primario	9,5 mm	4,75 mm	4,75 mm	2,36 mm	2,36 mm	1.18 mm
Punto de control PCS, % que pasa	47	40	47	39	47	40

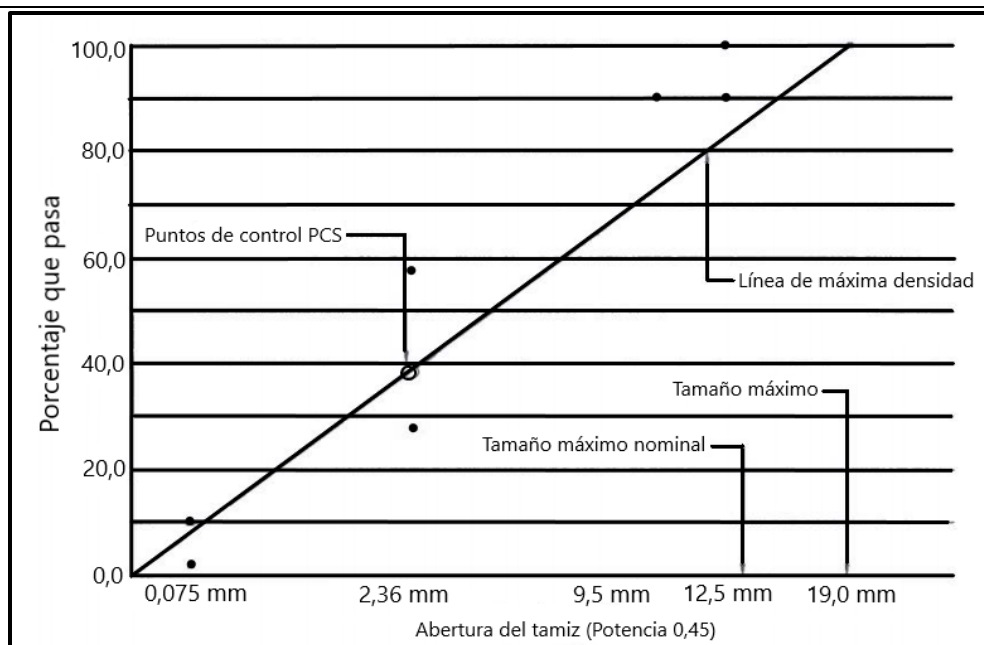


Figura 5.1 Método Superpave: Puntos de control (PCS) para una granulometría de áridos combinados con tamaño máximo nominal 12,5 mm

5.4.2 Asfalto

Salvo indicación en contrario en el proyecto, se deberán usar cementos asfálticos según grado de viscosidad absoluta del tipo CA 24 o CA 14, según la zona y el clima del lugar donde se empleen, o ligantes asfálticos por grado de desempeño (PG), según el clima de la zona geográfica y categoría de tránsito esperado. Estos materiales deberán cumplir con la Especificación 8.301.1 y 8.301.10 respectivamente.

Alternativamente, si el proyecto lo especifica, se usarán cementos asfálticos modificados con polímero, los que deberán cumplir con los requisitos de la Especificación 8.301.6 del MC-V8 o, asfaltos del tipo multigrado, los cuales deben cumplir con los requisitos de la Especificación 8.301.11 del MC-V8.

5.4.2.1 Propiedades de las mezclas asfálticas

5.4.2.1.1 Mezclas de Granulometrías, Semidensas, Gruesas y Finas con diseño Marshall

El Contratista deberá presentar al Inspector Fiscal la dosificación de las mezclas asfálticas antes de comenzar la pavimentación y siempre que tenga producido como mínimo el 20 % de los agregados pétreos a utilizar en la temporada.

La dosificación deberá ser visada por el Laboratorio de Vialidad en un plazo máximo de 25 días, contados desde la fecha de recepción de la solicitud del Inspector Fiscal y todos los materiales a emplear. El Contratista sólo podrá comenzar con la colocación de las mezclas asfálticas, cuando haya recibido la visación correspondiente. Si transcurrido el plazo de 25 días antes señalado, el Inspector Fiscal no hubiese recibido la respuesta a la dosificación presentada, éste podrá autorizar el inicio de la ejecución de esta partida de la obra.

Las propiedades de las mezclas asfálticas se determinarán en probetas preparadas según el Método descrito en 8.302.40 del MC-V8, y su dosificación se realizará a través del

SECCIÓN 5.408 DE MANUAL DE CARRETERAS MODIFICADA

Método descrito en 8.302.47 del MC-V8. El ensaye de susceptibilidad a la humedad, TSR, se deberá realizar según el Método 8.302.6 del MC-V8.

Las mezclas de granulometrías densas, semidensas, gruesas y finas deberán cumplir con lo indicado en las Tablas 5-14 y 5-15.

Tabla 5-14 Requisitos para mezclas asfálticas

Tipo de mezcla asfáltica	Estabilidad (N)	Fluencia (0,25 mm)		Huecos en la mezcla (%)		TSR (%)
	Mín.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
Rodadura	9.000	8	16	3	5	75
Intermedia	8.000	8	16	3	8	--
Base Gruesa	6.000	8	16	5	10	--
Superficie Fina	4.000	8	16	3	8	--

Tabla 5-15 Porcentajes mínimos de vacíos en el agregado mineral (VAM)

Tamaño nominal (mm)	Mínimo de vacíos (VAM)(%)
25	12,0
19	13,0
12,5	14,0
9,5	15,0
4,75	17,0
2,36	20,0
1,18	22,5

Una vez fijada una granulometría que cumpla con la banda especificada, se confeccionará la banda de trabajo, aplicando las tolerancias señaladas en el Método descrito en 8.302.47 del MC-V8. La banda granulométrica no podrá ser cambiada por otra sin previa autorización del Inspector Fiscal.

5.4.2.1.2 Mezclas de Granulometría Abierta con diseño Marshall

El Contratista deberá presentar al Inspector Fiscal la dosificación de las mezclas asfálticas antes de comenzar la pavimentación y siempre que tenga producido como mínimo el 20 % de los agregados pétreos a utilizar en la temporada

La dosificación deberá ser visada por el Laboratorio de Vialidad en un plazo máximo de 25 días, contados desde la fecha de recepción de la solicitud del Inspector Fiscal y todos los materiales a emplear. El Contratista sólo podrá comenzar con la colocación de las mezclas asfálticas, cuando haya recibido la visación del Laboratorio de Vialidad. Si transcurrido el plazo de 25 días antes señalado, el Contratista no hubiese recibido la respuesta a la dosificación presentada, el Inspector Fiscal podrá autorizar el inicio de la ejecución de esta partida de la obra.

El diseño de la mezcla se hará mediante el Método descrito en 8.302.48 del MC-V8. El contenido de asfalto deberá ser mínimo 3%, siempre que presente un recubrimiento completo del agregado y drenado no superior a 0,2% a la temperatura de mezclado.

SECCIÓN 5.408 DE MANUAL DE CARRETERAS MODIFICADA

Una vez fijada una graduación que cumpla con la banda especificada, se confeccionará la banda de trabajo, aplicando las tolerancias señaladas en el Método descrito en 8.302.47 del MC-V8. La banda granulométrica no podrá ser cambiada por otra sin previa autorización del Inspector Fiscal.

5.4.2.1.3 Mezclas con Granulometrías Gruesas y Finas con diseño Superpave

El Contratista deberá presentar al Inspector Fiscal la dosificación de las mezclas asfálticas antes de comenzar la pavimentación y siempre que tenga producido como mínimo el 20 % de los agregados pétreos a utilizar en la temporada

La dosificación deberá ser visada por el Laboratorio de Vialidad en un plazo máximo de 25 días, contados desde la fecha de recepción de la solicitud del Inspector Fiscal y todos los materiales a emplear. El Contratista sólo podrá comenzar con la colocación de las mezclas asfálticas, cuando haya recibido la visación del Laboratorio de Vialidad. Si transcurrido el plazo de 25 días antes señalado, el Contratista no hubiese recibido la respuesta a la dosificación presentada, el Inspector Fiscal podrá autorizar el inicio de la ejecución de esta partida de la obra.

El diseño de la mezcla se hará mediante el Método descrito en AASHTO M 323 y R 35.

Las mezclas de granulometrías gruesas y finas deberán cumplir con lo indicado en las Tablas 5.408.4.P.

Tabla 5-16 Requisitos de diseño de la mezcla asfáltica Superpave

Diseño EE (en millones)	Gravedad específica bruta como porcentaje de la gravedad específica máxima			Vacíos en el agregado mineral (VAM) % Mínimo						Vacíos llenos con asfalto (V _{LL}) ^(b) Rango %	Relación polvo/ligante Rango ^(c)
	Ninicial	Ndiseño	Nmáximo	37,5	25	19	12,5	9,5	4,75		
<0,3	≤ 91,5	96,0	≤ 98,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	70-80 ^{(d)(e)}	0,6-1,2
0,3 a < 3	≤ 90,5	96,0	≤ 98,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	65-78 ^(f)	0,6-1,2
3 a < 10	≤ 89,0	96,0	≤ 98,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	65-75 ^{(c)(f)(g)}	0,6-1,2
10 a < 30	≤ 89,0	96,0	≤ 98,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0		0,6-1,2
≥ 30	≤ 89,0	96,0	≤ 98,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	65-75 ^(g)	0,6-1,2

a. Los EE de diseño son el nivel de tránsito del proyecto previsto que se espera en el carril de diseño durante un período de 20 años. Independiente de la vida útil real del diseño de la calzada, determine los EE de diseño durante 20 años.

b. Para mezclas de tamaño máximo nominal del agregado de 37,5 mm, el límite inferior especificado del V_{LL} será del 64 % para todos los niveles de tránsito de diseño.

c. Para mezclas de tamaño de máximo nominal del agregado de 4,74 mm, la relación de polvo/ligante será de 1,0 a 2,0 para niveles de tránsito de diseño < 3 millones de EE, y de 1,5 a 2,0 para niveles de tránsito de diseño ≥ 3 millones de EE.

d. Para mezclas de tamaño máximo nominal del agregado de 4,75 mm, la densidad relativa (como porcentaje de la gravedad específica máxima) debe estar dentro del rango de 94,0% a 96,0%.

e. Para niveles de tránsito de diseño < 0,3 millones de EE y para mezclas de tamaño máximo nominal de 25,0 mm, el límite inferior especificado del rango de V_{LL} debe ser del 67 % y para mezclas de tamaño máximo del agregado nominal de 4,75 mm, el rango de V_{LL} especificado debe ser de 67 % al 69 %.

f. Para niveles de tránsito de diseño > 0,3 millones de EE y para mezclas de tamaño máximo nominal del agregado de 4,75 mm, el rango de V_{LL} especificado debe ser del 66 % a 77 %.

g. Para niveles de tránsito de diseño ≥ 3 millones de EE y para mezclas de tamaño máximo nominal del agregado de 9,5 mm, el rango de V_{LL} especificado debe ser del 73 % al 76 %.

5.5 PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO

5.5.1 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 la Sección 5.401, Imprimación, si corresponde a una base granular y de la Sección 5.402, Riego de Liga, si es un pavimento.

5.5.2 Producción de Mezclas

5.5.2.1 Plan de Trabajo

Antes de poner en marcha la planta asfáltica, el Contratista deberá proporcionar al Inspector Fiscal para su aprobación, un plan detallado de trabajo, el que deberá incluir, como mínimo, un análisis y descripción de los siguientes aspectos:

- Equipo Disponible

Se deberá indicar 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 deberá presentar 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 asignará a las diversas operaciones.

- Programación

Se deberá incluir el programa a que se ajustarán 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.

5.5.2.2 Características de la Planta Mezcladora

La mezcla será preparada en plantas fijas o móviles; estas podrán ser del tipo continuo o discontinuo, que permitan reproducir las dosificaciones y la mezcla con las características exigidas por esta Sección. La planta que se utilice para la producción de mezcla asfáltica debe definirse de acuerdo con los requerimientos del proyecto (magnitud, ubicación, accesibilidad, programa de obra). Cualquiera sea el tipo de planta que se utilice, las unidades principales deberán estar en óptimas condiciones de funcionamiento, de manera de que trabajen en forma regular y sean capaces cubrir la demanda de mezcla asfáltica del proyecto. Para tal efecto, las emisiones se regirán por los umbrales establecidos por la legislación vigente.

La planta mezcladora debe producir una mezcla asfáltica que contenga las proporciones específicas de ligante o asfáltico y agregados establecidos en el diseño de mezcla. Para esto debe disponer como mínimo de los siguientes elementos:

- Almacenamiento de ligante asfáltico capaz mantener la temperatura de mezclado requerida. Cada almacenamiento debe identificar el tipo de ligante que contiene y estar equipado con equipos termométricos certificados por un externo para indicar con precisión la temperatura del ligante asfáltico.
- Tantas tolvas de alimentación de áridos en frío como el diseño de mezcla lo requiera, con divisores verticales entre contenedores;

- Alimentación por medio de una cinta transportadora y alimentadores de banda de velocidad regulable por cada tolva de alimentación en frío. Cada entrada de alimentación en frío debe estar equipada con un sensor de flujo que alerte la detención del flujo de árido;
- Sistema de administración de RAP adecuado al diseño de mezcla, si se utiliza. Debe tener tantas tolvas de alimentación en frío como fracciones de RAP especifique el diseño. El sistema de dosificación debe ser calibrable y contrastable.
- Silo de almacenamiento de filler de aportación, si se utiliza;
- Sistema de alimentación y dosificación de filler de aportación, si se utiliza. El sistema de dosificación debe ser calibrable;
- Reja protectora del secador/tambor que impida el ingreso de sobre tamaño;
- Instrumento termométrico certificado por un externo para monitorear la temperatura cuando el árido sale del secador en el caso de plantas discontinuas, o cuando la mezcla sale del tambor en el caso de plantas continuas. La lectura del instrumento debe estar a la vista del operador de la planta;
- Colector(es) de polvo capaz de filtrar las partículas polvo arrastradas por la corriente de escape del secador para reincorporarlas a la mezcla.;
- Pre-silo capaz de descargar la mezcla en una sola masa en el equipo de almacenamiento o reparto;
- Sala de control con visibilidad de toda la operación equipada con un sistema de bloqueo o parada de emergencia que permita la detención total de los equipos en funcionamiento. Debe reunir las condiciones para una operación segura; accesibilidad, limpieza, aislación del ruido;

Las instalaciones de las plantas mezcladoras deben contar con escaleras y plataformas adecuadas para el tránsito de los operadores y acceso para mantenciones.

Las unidades de mezclado específicas de cada tipo de planta, continuas y discontinuas, deberán estar en óptimas condiciones de funcionamiento, de manera de que trabajen en forma regular y deberán disponer de los siguientes elementos:

5.5.2.2.1 Plantas discontinuas o de lotes

- Secador de áridos que seque y homogenice temperatura;
- Elevador que transporte el árido descargado del secador a la torre de dosificación;
- Unidad de cribado compuesta por cribas vibratorias de diferentes tamaños que separan el árido seco y caliente en tamaños específicos;
- Tolvas receptoras del árido a temperatura de trabajo y separado por tamaños ubicadas después de la unidad de cribado. Cada tolva debe estar equipada con un dispositivo que indique el nivel del depósito capaz de alertar cuando los áridos caen por debajo de cierto nivel y contar con un acceso o escotilla para el muestro del árido;
- Dispositivo de pesaje para la dosificación de áridos calientes ubicado sobre la cámara de mezcla que permita obtener las cantidades por fracción establecidas en el diseño de mezcla. El dispositivo debe ser calibrable y contrastable para asegurar la correcta dosificación;
- Sistema de alimentación de ligante asfáltico equipado con un tanque de pesaje montado en un dispositivo de pesaje calibrable que permita incorporar con precisión la cantidad adecuada;
- Silo de almacenamiento de filler recuperado;
- Sistema de alimentación y pesaje de filler recuperado;

- Mezclador o cámara de mezcla que asegure el mezclado homogéneo de los componentes de la mezcla asfáltica;
- Sistema de control de las operaciones de un ciclo de mezcla completo (pesaje y dosificación de componentes, temperaturas de trabajo, tiempo de mezcla, abertura de compuertas de tolvas y mezclador) con capacidad de registro de temperaturas y cantidades. Debe monitorear el flujo de extracción de filler de manera que el colector de polvo funcione correctamente. El sistema debe tener la capacidad de producir la mezcla asfáltica de acuerdo con los parámetros de diseño establecidos;

5.5.2.2.2 Plantas continuas o de tambor

- Elemento de pesaje continuo ubicado en la cinta transportadora del sistema de alimentación áridos que permita un control de la dosificación basada en la velocidad de los alimentadores de banda;
- Sistema de alimentación continua de ligante que permita controlar la cantidad incorporada. El sistema de alimentación debe ser calibrable;
- Tambor que seque y homogenice la temperatura de los áridos y los combine con el ligante asfáltico en una mezcla uniforme;
- Sistema de control de las operaciones de mezclado (dosificación de los componentes de la mezcla especificados en el diseño y temperaturas de trabajo) con capacidad de registro de temperaturas y cantidades. Debe permitir la compensación de la humedad del árido. Debe monitorear el flujo de extracción de filler de manera que el colector de polvo funcione correctamente. El sistema debe tener la capacidad de producir la mezcla asfáltica de acuerdo con los parámetros de diseño establecidos.

5.5.2.3 Controles

Durante el proceso de preparación de las mezclas asfálticas, se deberán efectuar los siguientes controles:

- La cantidad alimentada de árido en frío, en el punto de ingreso de éste a la planta, mediante peso húmedo registrado;
- Humedad de los áridos a la salida del secador mediante peso seco registrado;
- Temperatura media de los áridos a la salida del secador, la que deberá estar comprendida entre 150° y 175°C.
- Temperatura del cemento asfáltico que está siendo mezclado con los áridos, la que deberá estar de acuerdo con la viscosidad requerida;
- Cantidad de asfalto que está siendo incorporada y su reacción con los áridos que entran al mezclador;
- Homogeneidad de la mezcla asfalto-áridos, puesto que no se deberán colocar mezclas que presenten piedras sin recubrir o con escurrimiento libre del ligante bituminoso;
- Temperatura de la mezcla inmediatamente a la salida del mezclador, la que deberá estar de acuerdo con la viscosidad requerida; y,
- Contenido de asfalto y granulometría de los áridos de la mezcla preparada, la que deberá ajustarse a la banda de trabajo.

5.5.3 Transporte y Colocación

5.5.3.1 Requisitos Generales

Las mezclas deberán transportarse a los lugares de colocación en camiones tolva convenientemente preparados para ese objetivo y distribuirse mediante una terminadora autopropulsada.

La superficie sobre la que se colocará la mezcla deberá estar seca o ligeramente húmeda. En ningún caso se pavimentará sobre superficies congeladas, cuando la temperatura atmosférica sea inferior a 5°C o con tiempo brumoso o lluvioso. Cuando la temperatura ambiente descienda de 10°C, deberán tomarse precauciones especiales para controlar la temperatura de compactación.

El equipo mínimo que se deberá disponer para comenzar a colocar una mezcla será el siguiente:

- Terminadora autopropulsada, que deberá estar equipada con elementos que permitan controlar el espesor de la capa automáticamente, siendo capaz de absorber cualquiera deficiencia de la capa inferior.
- Rodillo tándem de dos ruedas de acero;
- Rodillo neumático; y
- Equipos menores, medidor manual de espesor, rastrillos, palas y otros.

5.5.3.2 Compactación

Una vez esparcidas, enrasadas y alisadas las irregularidades de la superficie, la mezcla deberá compactarse hasta que alcance una densidad promedio no inferior a 97% de aquella obtenida en la dosificación visada por el Método 8.302.40 del MC-V8, y será evaluada según la sección 5.4.1 de este numeral. En el caso de bermas, la exigencia de compactación será no inferior a 96% y serán evaluadas según la sección 5.4.1 de este numeral

Para las mezclas asfálticas de graduación abierta, la densidad de referencia será aquella que se determine en una cancha de prueba de dimensiones mínimas de 100 m de largo por 3,5 m de ancho. Esta densidad será la que se logre con un mínimo de tres pasadas de rodillo liso y la compactación no deberá prolongarse más allá de que se inicie la destrucción del agregado superficial y se evaluará según la sección 5.4.1 de este numeral. En el caso de ciclovías cuando este separada de la calzada y no pueda utilizarse los equipos de compactación especificados en la construcción de la calzada, la mezcla diseñada mediante ensayo Marshall con 75 golpes por cara la exigencia de compactación será no inferior a 95%, en caso contrario la exigencia será igual a la berma en ambos casos será evaluada según la sección 5.4.1 de este numeral.

La cantidad, peso y tipo de rodillos que se empleen deberá ser el adecuado para alcanzar la compactación requerida dentro del lapso de tiempo durante el cual la mezcla es trabajable.

Salvo que el Inspector Fiscal ordene otra cosa, la compactación deberá comenzar por los bordes más bajos, para proseguir longitudinalmente en sentido paralelo con el eje del camino, 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, la junta longitudinal deberá compactarse en primer lugar, para enseguida continuar con el proceso de compactación antes descrito. En las curvas con peralte, la compactación deberá comenzar por la parte baja, y progresar hacia la parte alta con pasadas longitudinales paralelas al eje.

Los rodillos deberán desplazarse lenta y uniformemente con la rueda motriz hacia el lado de la terminadora. La compactación deberá continuar hasta eliminar toda marca de rodillo y alcanzar la densidad especificada. Las maniobras de cambios de velocidad o de dirección de los rodillos, no deberán realizarse sobre la capa que se está compactando.

Para evitar la adherencia del concreto asfáltico a los rodillos, las ruedas deberán mantenerse húmedas.

En las superficies cercanas a aceras, cabezales, muros y otros lugares no accesibles a los rodillos, la compactación se deberá realizar por medio de pisones manuales, alisadores o pisones mecánicos, previamente calentados.

El concreto asfáltico que quede suelto, esté frío, contaminado con polvo o tierra o que en alguna forma se presente defectuoso, deberá retirarse y sustituirse por mezcla nueva caliente, la que deberá compactarse ajustándola al área circundante. Deberá eliminarse toda mezcla colocada en exceso y agregarse en los lugares donde falte.

Durante la colocación y compactación de la mezcla, se deberá verificar el cumplimiento de las siguientes condiciones:

- La superficie a cubrir deberá estar limpia, seca y libre de materiales extraños;
- La compactación deberá realizarse sólo cuando la temperatura de la mezcla está comprendida entre 110°C y 140°C, salvo cuando se deban compactar capas de espesores inferiores a 5 cm o mezclas de granulometrías abiertas, en cuyo caso se podrán compactar a temperaturas menores que 110°C. En los casos de mezclas con asfaltos modificados o del tipo multigrado se deberá cumplir con las indicaciones dadas por el proveedor correspondiente;
- La mezcla deberá alcanzar el nivel de compactación especificado, control que hará el Contratista mediante densímetro nuclear. No se permitirá la extracción de testigos excepto los de recepción. Sin embargo, el Inspector Fiscal podrá autorizar al Contratista extraer no más de cinco testigos por dosificación, para calibrar el equipo nuclear; y,
- La superficie terminada no deberá presentar segregación de material (nidos), fisuras, grietas, ahuellamientos, deformaciones, exudaciones ni otros defectos.

5.5.3.3 Macro textura y Resistencia al Deslizamiento

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 macro textura y la resistencia al deslizamiento no deberán ser inferiores a los valores indicados más adelante.

5.5.3.3.1 Macro textura

La medición de la macro textura se efectuará de preferencia dentro de un plazo de 4 meses después de dado al tránsito, mediante perfilómetro láser (véase el Método 8.502.15). El Laboratorio de Vialidad podrá homologar otros equipos de medición.

Las mediciones se realizarán en toda la longitud del camino y en cada una de las pistas, incluyendo singularidades como puentes, badenes u otros similares. Los resultados se informarán promediando los valores medidos en tramos de 200 m, donde el inicio y fin de cada tramo deberá ser múltiplo de 200 m. En caso que corresponda, el primer y último tramo podrá quedar de una fracción de 200 m.

En casos excepcionales, a juicio del Laboratorio de Vialidad, se podrá autorizar la medición de macro textura mediante el ensaye del círculo de arena (véase Método 8.502.14), efectuando 4 mediciones por kilómetro y por pista, en la huella externa.

El valor mínimo o umbral para el control receptivo de la macro textura de construcción se indica en la Tabla 6.203.303.C.

El parámetro de macro textura no estará afecto a multas, aceptándose sólo efectuar acciones correctivas en los tramos con deficiencia, para dar cumplimiento a lo especificado.

Los resultados de las mediciones de macro textura realizadas por el Autocontrol deben ser entregados por el Inspector Fiscal al Laboratorio de Vialidad, para que proceda en función de lo que se establece en 2.9 del Tópico 8.003.4. El Autocontrol deberá entregar promedios de las mediciones cada 50 m en planillas de cálculo y también en medio digital, el perfil inercial registrado por el instrumento y/o los datos sin procesar entregados por los sensores que hayan participado en el proceso de medición. Además, se deben informar las referencias de las correlaciones utilizadas.

5.5.3.3.2 Resistencia al Deslizamiento

La medición de la resistencia al deslizamiento (RD) se efectuará de preferencia dentro de un plazo de cuatro meses, después de dado el tránsito.

La medición de este parámetro se efectuará en forma continua en toda la longitud del camino y en cada una de las pistas, incluyendo singularidades como puentes, badenes u otros similares.

El equipo de medición de recepción es el SCRIM y la medición se efectuará de acuerdo con el Método 8.502.17.

Los resultados se informarán promediando los valores medidos en tramos de 200 m, donde el inicio y fin de cada tramo deberá ser múltiplo de 200 m. En caso de que corresponda, el primer y último tramo podrá quedar de una fracción de 200 m.

El Laboratorio de Vialidad podrá aceptar el empleo de otros equipos que permitan efectuar mediciones continuas, que haya sido homologado y que consideren la resistencia al deslizamiento de un neumático liso sobre la superficie de pavimento, pudiendo ser por acción de bloqueo parcial u otro. Para su utilización, las mediciones efectuadas por estos equipos deberán ser presentadas en unidades SFC (Sideway Friction Coefficient), para lo que necesariamente deben ser correlacionados con el SCRIM del Laboratorio de Vialidad, equipo que se considerará para estos efectos como patrón (véase el Método 8.502.19).

El valor mínimo o umbral para el control receptivo de la Resistencia al Deslizamiento de construcción, se indica en la Tabla 6.203.303.A

El parámetro de Resistencia al Deslizamiento no estará afecto a multas, aceptándose solo efectuar acciones correctivas en los tramos con deficiencia, para dar cumplimiento a lo especificado.

Excepcionalmente, y según lo determine el Laboratorio de Vialidad, podrá controlarse la RD con el Péndulo Británico, según el Método 8.502.16, efectuando en este caso 20 mediciones por kilómetro y por pista para proyectos urbanos y 10 mediciones por kilómetro y por pista para otros proyectos, en las rodaduras internas o externas. En este caso, para efectos receptivos, el umbral será de 60 BPN para rectas y curvas de radio igual o mayor que 600 m y de 70 BPN en los demás casos.

En caso de incumplimiento de los valores de RD exigidos, se deberán realizar las acciones correctivas en los tramos completos de 200 m con deficiencia, para dar cumplimiento a lo especificado.

Los resultados de las mediciones de RD realizadas por el Autocontrol deben ser entregados por el Inspector Fiscal al Laboratorio de Vialidad correspondiente, para que proceda en función de lo que se establece en 2.9 del tópico 8.003.4. El Autocontrol deberá entregar promedios de las mediciones cada 50 m en planillas de cálculo y también en medio digital, los valores en las unidades originales del instrumento y/o los datos sin procesar entregados por los sensores que hayan participado en el proceso de medición. Además, se deben informar las referencias de las correlaciones utilizadas.

5.5.4 Tolerancia y Multas

Si una vez terminada la colocación de la mezcla, ésta presentara deficiencias en el espesor, la compactación, la lisura y rugosidad de la superficie o en el contenido de asfalto, las áreas involucradas estarán afectas a las multas que se señalan más adelante. Cuando en un determinado sector del camino corresponda aplicar multa por más de una deficiencia, la multa a aplicar será la suma de las multas individuales con un máximo de 100%. Las multas se aplicarán sobre la cantidad de mezcla asfáltica afectada.

Para los efectos de establecer el valor de las mezclas asfálticas afectadas, se considerarán los metros cúbicos (m³) de mezcla asfáltica con deficiencias y un PU (precio unitario) equivalente a 1,5 veces el PU correspondiente del Presupuesto que rige el Contrato, y debidamente reajustado.

Los espesores y densidades de las capas serán establecidos a partir de testigos y se extraerán de acuerdo con los siguientes criterios:

- En caso de pavimentos continuos, los testigos se extraerán a razón de uno cada 1.750 m² o fracción de pavimento, por pista.
- En caso de áreas singulares, como cuellos de empalme, accesos u otras, definidas así por el Inspector Fiscal, que representen individualmente menos de 1.750 m² de pavimento, se extraerá un testigo por cada singularidad.
- En caso de áreas singulares que individualmente represente más de 1.750 m² de pavimento, se extraerá un testigo por cada 1.750 m² o fracción de pavimento.
- En el caso de bacheos, salvo que la ETE diga lo contrario, se extraerá un testigo por cada 1.750 m² o fracción de área bacheada, considerándose para este efecto la suma de las áreas parciales de los baches, las cuales deberán ser ordenadas correlativamente de acuerdo al kilometraje en orden creciente y por pista. El testigo se extraerá en el bache de mayor área.

La densidad se determinará con el Método descrito en 8.302.38 del MC-V8 y el espesor con el Método descrito en 8.302.41 del MC-V8. El contenido de asfalto se determinará con el Método por ignición descrito en 8.302.56 de MC-V8.

El Contratista deberá entregar al Laboratorio de Vialidad los elementos indicados en la Tabla 5.106.104.A. Las coronas de diamante para la extracción de testigos de asfalto deberán ser de 4" de diámetro y de una calidad tal que permita al Laboratorio de Vialidad la extracción de todos los testigos del contrato.

La extracción de testigos para la determinación de calidad de los pavimentos será efectuada por el Laboratorio de Vialidad, una vez que se haya dado término a la pavimentación del contrato o de un sector de él, en que deban extraerse al menos 25 testigos y a solicitud escrita

del Contratista al Inspector Fiscal. Junto con esta solicitud, el Contratista deberá dar cumplimiento a la entrega de los elementos, tales como brocas, sierras u otros.

La solicitud de extracción de testigos al Laboratorio de Vialidad se llevará a cabo presentando el formato que se entrega en la Lámina 8.003.5.D del Volumen 8 del Manual de Carreteras. Cabe hacer presente que obligatoriamente deben llenarse todos los campos que se solicitan en dicho formato y además esta debe entregarse en formato Excel, de manera de que pueda ser procesada por el Laboratorio de Vialidad para programar y determinar las cantidades y la ubicación de cada testigo a extraer. El Formato solicitud deberá ir con las firmas de la persona que preparó la información y la del Inspector Fiscal respectivamente.

Si el contratista no solicitare la extracción de testigos y/o no entregare los elementos indicados en el párrafo anterior, el Inspector Fiscal, deberá solicitar la extracción de testigos y la emisión del certificado al Laboratorio de Vialidad, a más tardar 30 días después de terminada la pavimentación. Los costos por elementos no entregados por el Contratista al Laboratorio serán descontados de las retenciones y/o garantías del Contrato.

El plazo para la extracción de testigos y la emisión del certificado pertinente será de 60 días a contar de la recepción de la solicitud de muestreo por parte del Laboratorio de Vialidad. El Laboratorio de Vialidad remitirá el certificado al Contratista, con copia al Inspector Fiscal y a la Dirección encargada del Contrato.

El Contratista será el responsable de rellenar todos los huecos dejados en el pavimento producto de la extracción de los testigos efectuada por el Laboratorio de Vialidad, y deberá hacerlo a la brevedad posible y en un plazo no mayor a 15 días después de extraídos los testigos. El relleno deberá ser de igual o superior calidad de la mezcla asfáltica empleada en la obra y esta mezcla de relleno será debidamente compactada. Corresponderá a la Inspección Fiscal verificar el cumplimiento de esta disposición.

El inspector Fiscal en un plazo máximo de 30 días contados desde la recepción del último certificado de control receptivo del ítem, que haya emitido el Laboratorio de Vialidad, deberá iniciar el proceso de evaluación. Finalizada la evaluación deberá notificar al Contratista, fijándole un plazo de 15 días desde la fecha de notificación para que ejerza su derecho a solicitar remuestreo.

Si transcurrido el plazo de 15 días el Contratista no ha solicitado el remuestreo, se entenderá renunciado su derecho y el Inspector Fiscal procederá calcular las multas, las cuales serán definitivas e inapelables y deberán ser canceladas en un plazo máximo de 30 días contados desde la fecha de notificación por parte del Inspector Fiscal; si así no ocurriere, la Dirección de Vialidad deberá saldar dichas multas con cargo a las retenciones y garantías del contrato.

5.5.4.1 Compactación

La compactación se evaluará a partir de los resultados de la determinación de densidad realizada a los testigos de mezcla asfáltica en caliente tomados por el Laboratorio de Vialidad. La compactación se expresará en porcentaje, redondeando a números enteros, para lo cual se dividirá la densidad medida del testigo por la densidad de diseño (Marshall si corresponde) y multiplicando el cuociente obtenido por 100.

La evaluación del porcentaje de compactación se hará por pista y las muestras deberán ser ordenadas correlativamente de acuerdo a su kilometraje en orden creciente.

La evaluación se hará por medias fijas tomando grupos de cinco muestras consecutivas y los criterios de aceptación serán los siguientes.

SECCIÓN 5.408 DE MANUAL DE CARRETERAS MODIFICADA

Las muestras individuales deberán cumplir con un porcentaje de compactación superior o igual que 95% de la densidad de diseño. En caso de incumplimiento de esta condición, se aplicará 100% de multa al sector representativo de estas muestras o se rehará según lo determine el Laboratorio de Vialidad y no se incluirán en la evaluación de las medias fijas. Los testigos inmediatamente anterior y posterior a la muestra con 100% de multa, para efectos de evaluación, se considerarán consecutivos.

Se aceptará el lote representativo de cinco muestras consecutivas si el promedio de los porcentajes de compactación es mayor o igual que 97% de la densidad de diseño. En caso de incumplimiento de esta condición, se aplicarán las multas señaladas en la Tabla 5-17. Los promedios se expresarán redondeados al entero.

Tabla 5-17 Multas por concepto de densidad a lotes evaluados

% de compactación (Promedio de Cinco Muestras)	Multas respecto del valor de la mezcla asfáltica afectada	
	Rodadura e Intermedia	Base Gruesa y Base Abierta
96%	10% o se rehace	10% o se rehace
95%	25% o se rehace	15% o se rehace
94%	100% o se rehace	100% o se rehace
Menor a 94%	Se rehace	Se rehace

Cuando un lote resulte con dos, tres o cuatro muestras o cuando debido a la magnitud de superficie a considerar sólo sea posible extraer un número de testigos entre dos y cuatro, la evaluación de ellos se hará considerando su promedio y se aplicarán los mismos criterios y multas que en lotes de cinco muestras.

En caso de testigos extraídos en bacheos y áreas singulares, o cuando un lote resulte con una muestra o cuando debido a la magnitud de la superficie a considerar sólo sea posible extraer un testigo, la evaluación se hará por determinación individual y se considerará lo siguiente:

El valor mínimo de porcentaje de compactación será de 97% para cada testigo individual. En caso de incumplimiento, se aplicarán las multas señaladas en la Tabla 5-18.

Tabla 5-18 Multas por concepto de densidad a muestras individuales

% de compactación	Multas respecto al valor de la mezcla asfáltica afectada
96%	10% o se rehace
95%	25% o se rehace
94 %	100% o se rehace
Menor que 94%	Se rehace

Las bermas se evaluarán aparte, extrayendo un testigo representativo cada 1.750 m² o fracción de pavimento, y la evaluación se hará por determinación individual. El valor mínimo de porcentaje de compactación será de 96%. En caso de incumplimiento se aplicarán las multas de la Tabla 5-19.

SECCIÓN 5.408 DE MANUAL DE CARRETERAS MODIFICADA

Tabla 5-19 Multas por concepto de densidad a bermas

% de compactación	Multas respecto al valor de lamezcla asfáltica afectada
95%	10% o se rehace
94%	15% o se rehace
93%	100% o se rehace
Menor que 93%	Se rehace

Cuando la ciclovía se encuentra separada de la calzada y no se pueda utilizar los equipos de compactación especificados en la construcción de la calzada, la mezcla diseñada mediante ensayo Marshall con 75 golpes por cara deberá tener un valor de compactación no inferior a 95%. En caso de incumplimiento se aplicarán las multas señaladas en la Tabla 5-20.

Tabla 5-20 Multas por concepto de densidad

% de compactación	Multas respecto al valor de lamezcla asfáltica afectada
94%	5% o se rehace
93%	10% o se rehace
92%	20% o se rehace
91%	100% o se rehace
Menor que 91%	Se rehace

5.5.4.2 Espesor

El espesor se evaluará a partir de los resultados de las mediciones realizadas a los testigos de mezcla asfáltica en caliente tomados por el Laboratorio de Vialidad. Independientemente de la unidad métrica en que se especifique el espesor contratado, los espesores deberán expresarse en mm, redondeando a números enteros.

La evaluación del espesor se hará por pista dentro de cada sector homogéneo. Se entenderá por sector homogéneo para este caso particular, aquél que tenga el mismo espesor contratado de capa asfáltica. Las muestras deberán ser ordenadas correlativamente de acuerdo a su kilometraje en orden creciente.

Cuando algún sector homogéneo sea interrumpido por otro sector homogéneo (distinto espesor contratado) se evaluarán los tres sectores obtenidos en forma independiente. Se procederá en la misma forma cuando se presente dos o más veces esta situación.

Las multas se aplicarán sobre la capa de superficie. Cualquier deficiencia que se detecte en las capas inferiores, será suplida por igual espesor de la capa inmediatamente superior. En la eventualidad de que la capa de superficie no pueda suplir las deficiencias, se aplicarán sobre esta capa, las multas que corresponda.

La evaluación se hará por medias fijas tomando grupos de cinco muestras consecutivas y los criterios de aceptación serán los siguientes:

Las muestras individuales deberán cumplir con espesor superior o igual a 92% del espesor contratado. En caso de incumplimiento de esta condición, se aplicará el 100% de multa al sector representativo de estas muestras, o se rehará, según lo determine el Laboratorio de Vialidad y no se incluirán en la evaluación de las medias fijas. Los testigos inmediatamente

SECCIÓN 5.408 DE MANUAL DE CARRETERAS MODIFICADA

anterior y posterior a la muestra con 100% de multa, para efectos de evaluación se considerarán consecutivos.

Se aceptará el lote representativo de cinco muestras consecutivas si el promedio de los espesores es mayor o igual al espesor contratado, en caso de incumplimiento de esta condición, se aplicarán las multas señaladas en la Tabla 5-21. Los promedios se expresarán en mm, redondeando a números enteros.

Tabla 5-21 Multas por concepto de espesor a lotes evaluados

Espesor promedio (e) de cinco muestras (mm)	Multas respecto al valor de la capa asfáltica de superficie
$e \geq 1,00 \text{ ec}$	---
$\text{ec} > e \geq 0,98 \text{ ec}$	5% o se rehace
$0,98 \text{ ec} > e \geq 0,96 \text{ ec}$	15% o se rehace
$0,96 \text{ ec} > e \geq 0,94 \text{ ec}$	25% o se rehace
$0,94 \text{ ec} > e \geq 0,92 \text{ ec}$	35% o se rehace
$0,92 \text{ ec} > e \geq 0,90 \text{ ec}$	100%, o se rehace
$e < 0,90$	Se rehace

Cuando un lote resulte con dos, tres o cuatro muestras, o cuando debido a la magnitud de superficie a considerar sólo sea posible extraer un número de testigos entre dos y cuatro la evaluación de ellos se hará considerando su promedio y corresponderá a un lote. Se aplicarán los mismos criterios y multas que en lotes de cinco muestras.

En caso de testigos extraídos en bacheos y áreas singulares o cuando un lote resulte con una muestra o cuando debido a la magnitud de superficie a considerar, sólo sea posible extraer un testigo la evaluación se hará por determinación individual y se aplicarán las multas señaladas en la Tabla 5-22.

Tabla 5-22 Multas por concepto de espesor a muestras individuales

Deficiencias por espesor (mm)	Multas respecto al valor de la capa asfáltica de superficie
$0,96 \text{ ec} > e \geq 0,94 \text{ ec}$	15% o se rehace
$0,94 \text{ ec} > e \geq 0,92 \text{ ec}$	25% o se rehace
$0,92 \text{ ec} > e \geq 0,90$	100% o se rehace
$e < 0,90$	Se rehace

Las bermas se evaluarán aparte, extrayendo un testigo representativo cada 1.750 m² o fracción de pavimento, y la evaluación se hará por determinación individual. En caso de incumplimiento se aplicarán las multas señaladas en la Tabla 5-22.

5.5.4.3 Contenido de Asfalto

El contenido de asfalto se evaluará a partir de los resultados de los ensayos efectuados a muestras de mezcla asfáltica en caliente tomadas en terreno por los Laboratorios de Autocontrol, Asesoría (si la hubiere) y de Vialidad. Los contenidos de asfalto informados por los distintos laboratorios deberán expresarse redondeados a una cifra decimal. En la evaluación no se considerarán las muestras tomadas en planta.

La evaluación del contenido de asfalto se realizará por jornada de trabajo y por dosificación. No se aceptarán controles simultáneos de distintos laboratorios para un mismo kilometraje durante las faenas de colocación de mezcla asfáltica. El Autocontrol deberá tomar al menos una muestra por cada sector de mezcla asfáltica extendida en forma continua y como mínimo dos muestras diarias.

Los bordes del área representativa de cada muestra en el sentido longitudinal se determinarán

considerando; el kilometraje de inicio del sector, los puntos medios entre muestras consecutivas y el kilómetro de término del sector, según corresponda para cada muestra, dentro de un sector en una jornada de trabajo. El área representativa de cada muestra se obtendrá multiplicando las longitudes así obtenidas por el ancho de la(s) pista(s), según corresponda. Se entenderá por sector en una jornada de trabajo al área de mezcla asfáltica extendida en forma continua.

Las muestras individuales deberán cumplir con un contenido de asfalto superior o igual a Pb- 0,5 (%) para la capa superficial y Pb-0,7 (%) para las demás, e inferior o igual a Pb+0,5 (%) para la capa superficial y Pb+0,7 (%) para las demás, siendo Pb el porcentaje de asfalto dosificado. En caso de incumplimiento de alguna de estas condiciones, se aplicará 100% de multa al área representativa de dicha muestra o se rehará según lo determine el Laboratorio de Vialidad y no se incluirá en el cálculo de los promedios diarios.

Se aceptará la jornada de trabajo, si el promedio de los análisis diarios realizados (dos mínimo), se mantiene en el rango $Pb \pm 0,3$ (%) para la capa superficial y $Pb \pm 0,5$ (%) para las demás. En caso de incumplimiento de esta condición, se aplicarán las multas señaladas en la Tabla 5-23, por exceso o por defecto. Los promedios se expresarán redondeados a una cifra decimal.

Tabla 5-23 Multas por concepto de contenido de asfalto

Capa	Variación absoluta del contenido de asfalto (%)	Multas respecto del valor de la capa asfáltica afectada
Rodadura	Hasta menor o igual que 0,3 Mayor que 0,3 y menor o igual que 0,5 Mayor que 0,5	--- 25% 100% o se rehace
Intermedia o Base gruesa o Base abierta	Hasta menor o igual que 0,5 Mayor que 0,5 y menor o igual que 0,7 Mayor que 0,7	--- 25% 100% o se rehace

5.5.4.4 Control de la Rugosidad (IRI)

La recepción final del pavimento será a través del control de IRI, solo en casos excepcionales y muy particulares en que por fundamento técnico presentado al LNV no sea

aplicable este control, tendrá que ser reemplazado por el control de Lisura detallado en la sección 5.4.5 de este numeral.

La medición del IRI la hará el Contratista mediante su Autocontrol, según lo especificado en el Método 8.502.8. En primera instancia, el Contratista calculará el IRI teórico y lo entregará al Inspector Fiscal.

Los resultados de las mediciones deberán ser informados en un plazo máximo de 30 días, contados desde el término de las faenas de pavimentación de la superficie de rodadura o de un sector que pueda ser auscultado por el Autocontrol.

Con estas mediciones el Autocontrol hará una preevaluación del IRI mediante medias fijas, considerando el promedio de tramos consecutivos en sectores homogéneos de pavimento, según lo especificado en el Método 8.502.8.

Se entenderá que la superficie del pavimento tiene una rugosidad aceptable, si todos los promedios de 5 (cinco) tramos consecutivos de 200 m o fracción tienen un valor de IRI igual o inferior a 2,0 m/km y ninguno de los valores individuales supere 2,8 m/km. El Inspector Fiscal podrá autorizar un valor mayor para la exigencia individual del Contrato, previa consulta formal al Laboratorio Nacional de Vialidad, y respuesta expresa de éste, sin perjuicio de la aplicación de las multas correspondientes.

En caso de incumplimiento de la exigencia de los valores individuales, el Contratista deberá efectuar las reparaciones necesarias para llegar a un valor del IRI bajo 2,8 m/km, previa consulta al Inspector Fiscal, quien estará facultado para autorizar o rechazar la metodología de reparación propuesta por el Contratista. Las reparaciones deberán considerar tramos completos de 200 m por el ancho de la pista o fracción como en el caso de inicio o término del contrato.

Si hay deficiencias en las medias fijas, el Contratista podrá solicitar al Inspector Fiscal autorización para reparar el tramo afectado, quien, al igual que en el caso de los valores individuales, estará facultado para autorizar o rechazar estas reparaciones, las que deberán considerar el o los tramos completos de 200 metros por el ancho de la pista o fracción como en el caso de inicio o término del contrato.

Una vez finalizadas las reparaciones, en caso de que las haya, el Autocontrol deberá realizar una nueva medición en los sectores reparados e informarlos al Inspector Fiscal en un plazo no superior a 30 días de efectuadas las reparaciones.

El Inspector Fiscal entregará el Informe de Autocontrol al Laboratorio de Vialidad correspondiente para que proceda en función de lo que se establece en 2.9 del tópico 8.003.4 el Laboratorio de Vialidad efectuará las mediciones de IRI, en la totalidad del contrato. Alternativamente y si lo estima necesario, podrá medir parte de él situación en la que se aplicará la prueba de hipótesis estadística establecida en el Método 8.003.11, para validar las mediciones del Autocontrol y el Inspector Fiscal realizará con ellas la evaluación correspondiente. Excepcionalmente, el Laboratorio de Vialidad, por razones de fuerza mayor relacionadas con la disponibilidad de equipos, personal u otras, podrá utilizar las mediciones realizadas por el Autocontrol para realizar la evaluación oficial. El Autocontrol deberá entregar promedios de las mediciones cada 50 m en planillas de cálculo y también en medio digital, el perfil inercial registrado por el instrumento y/o los datos sin procesar entregados por los sensores que hayan participado en el proceso de medición. Además, se deben informar las referencias de las correlaciones utilizadas.

Con las mediciones de IRI antes mencionadas, se realizará la evaluación oficial del IRI, considerando los valores individuales (tramos de 200 m) y medias fijas (promedio aritmético de

5 [cinco] tramos consecutivos en sectores homogéneos de pavimento), según lo especificado en el Método 8.502.8.

Si en la evaluación oficial no se cumple alguna exigencia por media fija o valor individual, el Contratista, si así lo solicita, podrá efectuar las reparaciones necesarias para corregir las deficiencias, bajo los mismos condicionamientos establecidos en este Numeral para las reparaciones anteriores a la evaluación oficial.

Las metodologías de reparación deberán ser tales que no alteren mayormente las características estructurales, de seguridad y de serviciabilidad de la mezcla asfáltica, establecidas en esta especificación (por ejemplo, el espesor de la capa). De originarse alguna deficiencia, se procederá según se establece en la la Sección 5.4 de este numeral.

Efectuadas las reparaciones, el Contratista tendrá derecho a solicitar por única vez mediciones finales en tramos completos de 200 m o múltiplos de éstos. Ellas podrán ser verificadas por parte del Laboratorio Nacional de Vialidad o validadas, si éste lo estima conveniente. El Autocontrol deberá entregar promedios de las mediciones cada 50 m en planillas de cálculo y también en medio digital, el perfil inercial registrado por el instrumento y/o los datos sin procesar entregados por los sensores que hayan participado en el proceso de medición. Además, se deben informar las referencias de las correlaciones utilizadas.

Una vez realizada la evaluación oficial final del IRI, en caso de incumplimientos de la exigencia por media fija, se aplicarán las multas indicadas en la Tabla 5-24, sobre el valor de la superficie de rodadura. La multa que afecte a una media fija se aplicará al tramo completo que la determina, es decir, el porcentaje de multa será el mismo para los cinco o menos tramos involucrados.

En todos los tramos que no cumplan la exigencia por valor individual, incluidos los que hubiesen sido autorizados para quedar sobre 2,8 conforme el párrafo 4º anterior, se aplicará una multa de 100% y se los incluirá para efectos de evaluación por media fija.

En el caso de que un tramo tenga multa por valor individual y además le corresponda multa por media fija, se considerará sólo el mayor valor.

No habrá exigencia de cumplir con el control de Rugosidad en las bermas pavimentadas (concreto asfáltico, hormigón), ni en otras singularidades, entendiéndose como ellas, todas aquellas alteraciones del perfil longitudinal del camino que no provengan de fallas constructivas, y que incrementen el valor de IRI en el tramo en que se encuentren. Se considerarán como singularidades, lo señalado en 8.502.8 punto 3.2 y serán, autorizados por el Inspector Fiscal, previa consulta al Laboratorio Nacional de la Dirección de Vialidad.

Para efectos de la evaluación, las singularidades que se pudieran presentar afectarán al tramo completo de 200 m en la pista en que se encuentran ubicadas, el que no se incluirá en la evaluación. Los tramos de 200 m que no se consideren en la evaluación por efecto de singularidades no dividirán el sector homogéneo en que se encuentran.

No se exigirá este control en recarpeteos asfálticos sobre pavimentos existentes, excepto cuando en el Proyecto se establezcan cotas de rasante para dichos recarpeteos.

Tabla 5-24 Multas por incumplimiento de IRI

IRI (m/km)	Multas respecto del valor de la capadesuperficie en el área afectada
2,0 < IRI ≤ 2,2	25%
2,2 < IRI ≤ 2,5	50%
2,5 < IRI ≤ 2,8	75%
2,8 < IRI ≤ 2,9	100% o se rehace
2,9 < IRI	Se rehace

Para los pavimentos asfálticos que presenten simultáneamente en un sector deficiencia de IRI y espesor, será el Proyectista, previa consulta al Laboratorio de Vialidad quien determinará en definitiva la metodología de reparación a utilizar.

El LNV se reserva el derecho de efectuar mediciones de verificación si lo estima conveniente, y en cualquier oportunidad.

5.5.4.5 Lisura

Este control será de tipo receptivo sólo cuando las Especificaciones Técnicas Especiales o la Bases de Licitación así lo señalen o cuando no se especifique control de rugosidad (IRI) No se exigirá este control de lisura para recapados asfálticos sobre pavimentos existentes, excepto cuando en el Proyecto se establezcan cotas de rasante para dichos recapados. En cualquier caso, no se aceptarán en la capa asfáltica de superficie irregularidades superiores a 8 mm para caminos con TMDA ≥ 1.000 veh/día y 10 mm para caminos con TMDA < 1.000 veh/día, determinadas según el Método 8.502.4 del MC-V8.

En el proceso de ejecución será responsabilidad del Contratista, a través de su Autocontrol, verificar la lisura del pavimento, tan pronto sea posible tras su construcción. El Contratista, previa autorización del Inspector Fiscal, deberá realizar las correcciones necesarias si se detectan valores superiores a 8 mm ó 10 mm, según sea el caso.

Las metodologías de reparación deberán ser tales que no alteren las características estructurales, de seguridad y de serviciabilidad de la capa asfáltica establecidas en esta especificación (por ejemplo, el espesor de la capa). De originarse alguna deficiencia debido a la reparación, se procederá según se establece en la parte pertinente del Numeral 5.408.304 de esta Sección.

Cuando corresponda efectuar el control de lisura del pavimento con fines receptivos, se mantienen los criterios señalados anteriormente, entendiendo que el Contratista está facultado para efectuar las reparaciones que autorice el Inspector Fiscal, previa solicitud. En caso de deficiencias, se aplicarán las multas indicadas en la Tabla 5-25 asociadas al nivel de irregularidad detectado, sobre el valor de la capa asfáltica de superficie afectada.

En controles realizados con o sin fines receptivos, el Laboratorio de Vialidad se reserva el derecho de realizar chequeos aleatorios a las mediciones realizadas, a todo el contrato o parte de él, según lo estime conveniente; de ser así, la medición efectuada por el Laboratorio de Vialidad prevalecerá sobre la del Autocontrol.

SECCIÓN 5.408 DE MANUAL DE CARRETERAS MODIFICADA

Tabla 5-25 Multas por irregularidad superficial

Irregularidad (mm)	Multas respecto del valor de la capa de rodadura en el área afectada	
	TMDA $\geq$ 1.000 veh/día	TMDA < 1.000 veh/día
5		-
6	10%	2%
7	15%	5%
8	30%	15%
9	100% o se rehace	25%
>10	Se rehace	100% o se rehace
>11		Se rehace

El área afectada comprenderá la longitud de la irregularidad, más 2 m por cada extremo, en el sentido longitudinal y por el ancho de la pista.

5.5.4.6 Macro textura y Resistencia al Deslizamiento

La evaluación receptiva de la macro textura y resistencia al deslizamiento se realizarán según los Métodos 8.502.15, 8.502.17 respectivamente.

En caso de incumplimiento de la exigencia de los valores mínimos receptivos de macro textura y/o resistencia al deslizamiento señalados en la Sección 5.3.3 de este numeral el Contratista deberá efectuar las reparaciones necesarias para llegar al valor mínimo exigido, previa consulta al Inspector Fiscal, quien estará facultado para autorizar o rechazar la metodología de reparación propuesta por el Contratista. Las reparaciones deberán considerar tramos completos de mínimo 50 m por el ancho de la pista

Una vez finalizadas las reparaciones, en caso de que las haya, el Autocontrol deberá realizar una nueva medición en los sectores reparados e informarlos al Inspector Fiscal en un plazo no superior a 30 días de efectuadas las reparaciones.

El Inspector Fiscal entregará el Nuevo Informe de Autocontrol al Laboratorio de Vialidad correspondiente para que proceda en función de lo que se establece en 2.9 del tópico 8.003, midiendo la totalidad del contrato. Alternativamente y si lo estima necesario, podrá medir parte de él, situación en la que se aplicará la prueba de hipótesis estadística establecida en el Método 8.003.11, para validar las mediciones del Autocontrol y con estas mediciones el Inspector Fiscal realizará las evaluaciones correspondientes. Excepcionalmente, el Laboratorio de Vialidad, por razones de fuerza mayor relacionadas con la disponibilidad de equipos, personal u otras, podrá utilizar las mediciones realizadas por el Autocontrol para realizar la evaluación oficial

Si en la evaluación oficial, un valor individual no cumple la exigencia mínima, el Contratista, deberá efectuar las reparaciones necesarias para corregir las deficiencias hasta cumplir con el umbral mínimo exigido, bajo los mismos condicionamientos establecidos en este Numeral para las reparaciones anteriores a la evaluación oficial.

Las metodologías de reparación deberán ser tales que no alteren mayormente las características estructurales, de seguridad y de serviciabilidad de la mezcla asfáltica, establecidas en esta especificación (por ejemplo, el espesor de la capa). De originarse alguna deficiencia, se procederá según se establece en la Sección 5.4 de este numeral.

Efectuadas las reparaciones, el Contratista deberá presentar nuevas mediciones. Ellas podrán ser verificadas por parte del Laboratorio Nacional de Vialidad o validadas, si éste lo estima conveniente. El Autocontrol deberá entregar promedios de las mediciones cada 50m en planillas de cálculo y en medio digital (CD o DVD) adjuntar los valores sin procesar del equipo o sensores que hayan intervenido en el proceso de medición, así como las referencias de las correlaciones utilizadas

5.5.4.7 Remuestreos

El Contratista tendrá derecho a solicitar sólo un remuestreo por cada uno de los controles receptivos. Todos los costos derivados de cualquier remuestreo serán de cargo total del Contratista y deberán ser cancelados una vez recibido el certificado del Laboratorio de Vialidad, ver Sección 5.4.8 de este numeral.

Si el Contratista solicita el remuestreo, deberá hacerlo mediante carta dirigida al Inspector Fiscal, adjuntando la evaluación correspondiente. El Laboratorio de Vialidad deberá efectuar el remuestreo y certificar los resultados en un plazo no mayor que 60 días, contados desde la fecha en que haya recibido conforme la solicitud del Inspector Fiscal. Una copia del certificado deberá ser entregada al Inspector Fiscal en el mismo plazo y otra copia será enviada a la Dirección Regional encargada del contrato o a la Subdirección de Obras, según corresponda.

El Inspector Fiscal confeccionará el cálculo definitivo de las multas, el que deberá considerar los muestreos originales y remuestreos que pudieran haberse realizado y de todos los controles receptivos, y lo comunicará al Contratista en un plazo máximo de 10 días

El Contratista deberá cancelar la multa en el plazo de 30 días, contados desde la notificación; si así no ocurriera, la Dirección deberá saldar dichas multas con cargo a las retenciones y garantías del Contrato.

El Laboratorio de Vialidad se reserva el derecho de tomar muestras adicionales, si le parece pertinente o le surgen dudas respecto del resultado del muestreo inicial, las que podrán ser incluidas en la evaluación.

Los remuestreos por incumplimiento del lote por concepto de compactación y espesor se harán extrayendo otros cinco testigos en los puntos medios de los sectores comprendidos entre testigos del muestreo original. El primer testigo a remuestrear se extraerá en el punto medio del sector comprendido entre el último testigo original del lote anterior y el primer testigo original del lote a remuestrear. De esta forma, se conformarán entre los testigos originales y del remuestreo dos lotes de cinco muestras, evaluando cada uno según lo señalado en la Sección 5.4.1 o 5.4.2 de este numeral y aplicando si procede, las multas estipuladas en las Tablas 5-17 o 5-21, según corresponda. Para determinar la nueva área representativa de cada testigo se considerarán las distancias medias entre los testigos originales y de remuestreo. El remuestreo podrá afectar las áreas de los testigos adyacentes no remuestreados.

Cuando un lote resulte con dos, tres o cuatro muestras o cuando debido a la magnitud de la superficie a considerar sólo sea posible extraer un número de testigos entre dos y cuatro, el remuestreo por incumplimiento del lote por concepto de compactación y espesor se hará extrayendo adicionalmente un número de testigos igual a los testigos originales. Los testigos de remuestreo se extraerán en los puntos medios del sector comprendido entre testigos del muestreo original del lote anterior y el primer testigo original del lote a remuestrear. De esta forma, se conformarán entre los testigos originales y del remuestreo dos lotes con igual número de muestras, evaluando cada uno según lo señalado en la Sección 5.4.1 o 5.4.2 de este numeral y aplicando si procede, las multas estipuladas en las Tablas 5-17 o 5-21, según corresponda.

Para determinar la nueva área representativa de cada testigo, se considerarán las distancias medias entre los testigos originales y de remuestreo. El remuestreo podrá afectar las áreas de los testigos adyacentes no remuestreados.

Cuando haya muestras con 100% de multa ubicadas entre las muestras que conforman el lote, el testigo de remuestreo, que corresponde extraer en la zona que no se incluyó en la evaluación, se extraerá en el punto medio entre el testigo original anterior al área con 100% de multa y el borde más próximo del área afectada correspondiente al testigo original con 100% de multa. Ver Lámina 5.408.5.A.

Cuando un lote resulte con una muestra o cuando debido a la magnitud de la superficie a considerar sólo sea posible extraer un testigo, el remuestreo por concepto de compactación y espesor se hará extrayendo, dentro del área representativa de la muestra, dos testigos adicionales. Los testigos de remuestreo se ubicarán en el punto medio entre el testigo original y los bordes del área afectada en el sentido longitudinal. Para determinar la nueva área representativa de cada testigo, se considerarán las distancias medias entre los testigos (original y de remuestreo) y los bordes del área afectada. No se considerarán los testigos de las áreas adyacentes. Cada testigo se evaluará como muestra individual según lo señalado en la Sección 5.4.1 o 5.4.2 de este numeral y aplicando si procede, las multas estipuladas en las Tablas 5-18 o 5-22, según corresponda. Este mismo procedimiento se aplicará a los remuestreos por incumplimiento de una muestra individual con 100% de multa, por concepto de densidad y espesor.

Los remuestreos por concepto de compactación y espesor de áreas singulares y baches se realizarán extrayendo al azar un testigo adicional dentro del área representativa del testigo original; se evaluará el promedio de ambos, como muestra individual según lo señalado en la Sección 5.4.1 o 5.4.2 de este numeral y se aplicarán si procede, las multas estipuladas en las Tablas 5-18 o 5-22, según corresponda.

Los remuestreos por incumplimiento del contenido de asfalto de una jornada diaria se realizarán extrayendo, dentro del área que ésta representa, igual número de testigos que el muestreo original. Los testigos se deberán ubicar al azar dentro del área representativa de cada una de las muestras originales. Los resultados que arrojen los testigos prevalecerán sobre los de las muestras originales, no considerando estas últimas en el cálculo de la multa. El testigo representará la misma área de la muestra original. La evaluación se hará considerando los criterios señalados en Sección 5.4.3 de este numeral. aplicando si procede, las multas señaladas en la Tabla 5-23.

Los remuestreos por incumplimiento del contenido de asfalto de una muestra individual con 100% de multa se harán extrayendo un testigo al azar en el sector correspondiente a la muestra afectada. El resultado que arroje el testigo prevalecerá sobre el de la muestra original, no considerando esta última en el cálculo de la multa. El testigo representará la misma área que la muestra original. La evaluación se hará considerando los criterios señalados en en Sección 5.4.3 de este numeral y aplicando si procede, las multas señaladas en la Tabla 5-23.

5.5.4.8 Costo de Extracción de Testigos para Remuestro

Una vez que el Laboratorio de Vialidad reciba por parte del Inspector Fiscal, la solicitud de remuestreo con la evaluación correspondiente, el Laboratorio de Vialidad procederá a determinar el costo de la extracción, ensayes y análisis de testigos. El costo se calculará a partir de los valores de la Tabla 5.501.315.H, los cuales consideran, entre otros aspectos, la ubicación del contrato, números de testigos, personal, movilización, equipos, etc.

Los valores corresponden a valores mínimos, los cuales pueden variar debido a la complejidad en la extracción de los testigos, según lo determine el Laboratorio de Vialidad. El valor de la U.F. será el correspondiente a la fecha de emisión del certificado de ensaye. Se entenderá por Laboratorio de Vialidad aquel en donde se realizarán los ensayos.

El Laboratorio de Vialidad emitirá al Inspector Fiscal un documento en que se estipule el costo total de extracción, ensaye y análisis de testigos. El Contratista deberá comunicar al Inspector Fiscal mediante un documento la aceptación del costo correspondiente.

El Laboratorio de Vialidad efectuará la extracción, ensaye y análisis de los testigos y certificará los resultados en un plazo no mayor a 60 días contados, desde la fecha en que haya recibido conforme el documento con la aceptación del costo correspondiente. Una copia del certificado de ensaye deberá ser entregada al Inspector Fiscal, otra copia será enviada a la Dirección encargada del contrato o a la Subdirección de Obras, según corresponda y otra copia será enviada a la Dirección de Contabilidad y Finanzas de la región correspondiente al contrato.

El Contratista deberá cancelar el costo correspondiente directamente en la Dirección de Contabilidad y Finanzas del Ministerio de Obras Públicas; si así no ocurriere, la Dirección de Vialidad deberá saldar dichos costos con cargo a los estados de pago pendientes, o a las retenciones y garantías, si fuere necesario.

Remuestreo por concepto de IRI, se realizará según lo señalado anteriormente en Sección 5.4.4 Control de Rugosidad.

Los remuestreos por concepto de lisura se efectuarán sólo cuando se hayan hecho las reparaciones autorizadas por el Inspector Fiscal. Los resultados de este remuestreo reemplazarán a los del muestreo original y se hará la evaluación según lo indicado en Sección 5.4.5 de este numeral.

Los remuestreos por concepto de macro textura y resistencia al deslizamiento, se realizarán según lo señalado en Sección 5.4.6 de este numeral.

5.6 PARTIDAS DEL PRESUPUESTO Y BASES DE MEDICIÓN

En las ETE del Proyecto se establecerán las características pertinentes de la capa o capas asfálticas en caliente, respecto del tipo de asfalto y granulometría a emplear. Las partidas que se establecen a continuación incluyen el suministro de todos los materiales, equipos y mano de obra necesarios para la confección de las mezclas en caliente, incluso su transporte y colocación, compactación, terminación y demás trabajos y actividades requeridos para cumplir con lo especificado en esta Sección.

Cuando se trate de un recapado asfáltico sobre un pavimento existente, y el Proyecto especifique cotas preestablecidas de rasante para dicho recapado, el volumen de mezcla de nivelación de la capa inferior se determinará geométricamente y se considerará para efectos de pago en la Partida correspondiente. En caso contrario, el suministro y colocación de la mezcla de nivelación será por cuenta del Contratista.

5.6.1 Concreto Asfáltico de Rodadura

Se cuantificará por metro cúbico (m³) de concreto asfáltico de rodadura, de acuerdo con las dimensiones teóricas de ancho, espesor y largo, en las cantidades que sean requeridas por el Proyecto y aprobadas por el Inspector Fiscal.

5.6.2 Concreto Asfáltico Capa Intermedia

Se cuantificará por metro cúbico (m³) de concreto asfáltico, capa intermedia, de acuerdo con las dimensiones teóricas de ancho, espesor y largo, en las cantidades que sean requeridas por el Proyecto y aprobadas por el Inspector Fiscal.

5.6.3 Base Asfáltica en Caliente de Graduación Gruesa

Se cuantificará por metro cúbico (m³) de base asfáltica en caliente de graduación gruesa, de acuerdo con las dimensiones teóricas de ancho, espesor y largo, en las cantidades que sean requeridas por el Proyecto y aprobadas por el Inspector Fiscal.

5.6.4 Base Asfáltica en Caliente de Graduación Abierta

Se cuantificará por metro cúbico (m³) de base asfáltica en caliente de graduación abierta, de acuerdo con las dimensiones teóricas de ancho, espesor y largo, en las cantidades que sean requeridas por el Proyecto y aprobadas por el Inspector Fiscal.

MANUAL DE CARRETERAS		TESTIGOS DE REMUESTREO Y NUEVA CONFORMACIÓN DEL LOTE PARA LOS CASOS DE TESTIGOS CON 100% MULTA UBICADOS ENTRE MUESTRAS QUE CONFORMAN UN LOTE		5.408.5. A
VOL. N°5				Junio 2022
Pista 1				○ Testigos originales del lote ○ R Testigos de remuestreo del lote ○ o_3 Testigo original anterior al área con 100% multa d_3 distancia entre el testigo original anterior y el borde del área del testigo original anterior de la zona con 100% multa que no se incluye en la evaluación del lote ○ R_3 Testigo de remuestreo que corresponde extraer en la zona que no se incluyó en la evaluación. Se extrae en $d_3/2$  Zona que no se incluye en la evaluación del lote por presentar testigo con 100% multa
Pista 2				○ o_1 ○ R_1 ○ o_2 ○ R_2 ○ o_3 ○ R_3 d_3 ○ o_4 ○ R_4 Zona que se excluye de la evaluación por lote

6 CONCLUSIONES

Actualmente la especificación para Mezclas Asfálticas en Caliente del Manual de Carreteras descrita en Sección 5.408 data del año 2003 a pesar de la actualización realizada al numeral el año 2021 cuya principal modificación es la incorporación de la lámina 5.408.304.A. En dicha sección se describen los trabajos relativos a las MAC desde la producción hasta la colocación de la mezcla. Tras la implementación en Chile de mezclas asfálticas con diseño Superpave el año 2016, surge la necesidad de regular los aspectos técnicos relativos a este sistema, asimismo ocurre con la especificación para Plantas de Producción de Mezclas Asfálticas en Caliente.

En el presente trabajo se ha presentado una propuesta de modificación al numeral 5.408 que busca actualizar y regular los aspectos técnicos relativos a la producción mezclas asfálticas desde la provisión de sus componentes hasta la configuración de las plantas mezcladoras mediante la incorporación de las exigencias Superpave para los agregados de la mezcla y ligante asfáltico y enriqueciendo la especificación de Plantas asfálticas para poder distinguir dos tipos; plantas continuas y discontinuas.

Las principales modificaciones propuestas se detallan a continuación:

- Actualización de la estructura del numeral 5.408 incorporando las secciones de Referencias y Terminología.
- Incorporación de especificaciones Superpave para ligante asfáltico, agregados y MAC.
- Actualización de especificaciones para Plantas Asfálticas incorporando especificación para plantas continuas o de tambor y planta discontinuas o de lotes.

En cuanto a la incorporación de requisitos Superpave se trabajó en base al estudio “Diseño de mezclas Superpave y su incorporación a Manual de Carreteras” de la alumna Barbara Cortes. Los límites establecidos en dicho documento para las propiedades de consenso del agregado son susceptibles a modificación ya que requieren de la adaptación de sus valores límites a los que presenten los áridos utilizados en Chile, así mismo con las propiedades de origen puesto que dichos valores son propios de cada fuente de extracción. Esta adaptación no está dentro de los alcances de esta memoria, pero puede ser utilizado como tema de estudio para futuros trabajos de título.

Relativo a la especificación de Plantas Asfálticas las principales diferencias entre el MC y HMA Production manual del Michigan Department of Transportation y Standard Specifications del New York State Department of Transportation recaen en la profundidad de la especificación de los equipos de una planta de producción. Estas fueron utilizadas como referencia para la estructuración de la propuesta en complemento a las visitas realizadas a las Plantas Asfálticas de Bitumix en Maipú y Rancagua.

La propuesta de modificación presentada eventualmente deberá ser analizada por los distintos entes encargados de la edición en el Manual de Carreteras para asegurar que sea un texto que tenga aplicabilidad. Como archivos anexos a esta memoria se presenta:

- Sección 5.408 modificada con el formato del Manual de Carreteras.
- Traducción al español del MS-22 Construction of Quality Asphalt Pavements Edición 2020.

- Traducción al español del HMA Production manual, Section 2: Certification procedure of Hot Mix Asphalt (HMA) Plants del Michigan Department of Transportation
- Traducción al español del Standard Specifications, Section 400: Hot Mix Asphalt. New York State Department of Transportation.

Estos documentos no están incluidos en este archivo para no afectar el formato original.

7 REFERENCIAS

- [1] Manual de carreteras, Volumen 5: Especificaciones Técnicas Generales de Construcción, Sección 5.408 Mezclas asfálticas en caliente. Ministerio de Obras Públicas. Chile. 2022.
- [2] MS-4, The Asphalt Handbook, Chapter 7: Manufacture of Hot Mix Asphalt. The Asphalt Institute. USA. 2007.
- [3] MS-22, Construction of Quality Asphalt Pavements, Chapter 3: Materials. The Asphalt Institute. USA. 2020.
- [4] MS-22, Construction of Quality Asphalt Pavements, Chapter 5: Asphalt Plants. The Asphalt Institute. USA. 2020.
- [5] MS-2, Asphalt Mix Design Methods, Chapter 3: Selection of material and storage of aggregates. The Asphalt Institute. USA. 2015
- [6] HMA Production manual, Section 2: Certification procedure of Hot Mix Asphalt (HMA) Plants. Construction Fields Services Division, Michigan Department of Transportation. USA. 2020.
- [7] Standard Specifications, Section 400: Hot Mix Asphalt. New York State Department of Transportation. USA. 2008.
- [8] Cortez, Bárbara. Diseño de mezclas Superpave y su incorporación a Manual de Carreteras, Capítulo 5. UTFSM. Chile. 2021.
- [9] Lorca, Víctor. Diseño Volumétrico de una mezcla asfáltica en caliente mediante la metodología Superpave. UTFSM. Chile. 2016.
- [10] Calderón, Luciano. Diseño de mezclas en caliente mediante método Superpave con y sin adición de RAP. UTFSM. Chile. 2019.
- [11] T-119, Technical Paper Dryer Drum Mixer. Don Brock J. ASTEC. USA
- [12] Manual de carreteras, Volumen 8: Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control. Sección 8.301.10 Asfaltos: Especificaciones para Cementos Asfálticos por Grado de Desempeño (PG) usando Ensaye MSCR.. Chile. 2022.
- [13] Manual de carreteras, Volumen 8: Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control. Sección 8.301.1 Asfaltos: Especificaciones para Cementos Asfálticos según Grado de Viscosidad. Ministerio de Obras Públicas. Chile. 2022.
- [14] AASHTO M 323. Standard Specification for Superpave Volumetric Mix Design. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials. 2022.