

ANALISIS DE CASOS DE AHUELLAMIENTO EN MEZCLAS ASFALTICAS CHILENAS

GUILLERMO THENOUX Z. Ingeniero Civil, MSc, PhD

Depto. Ingeniería y Gestión de la Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile
gthenoux@ing.puc.cl

HECTOR CARRILLO O. Ingeniero Civil, Investigador Asociado

CIIV Centro de Ingeniería e Investigación Vial, DICTUC S.A.
hcarrill@ing.puc.cl

RESUMEN

Este trabajo presenta una serie de conclusiones y recomendaciones que los investigadores han formulado en base a la investigación post-construcción de varios de casos de ahuellamiento y exudación de mezclas asfálticas, todos ellos en concesiones viales que se han construido desde el año 1995 en adelante.

El estudio de estos casos ha permitido determinar una serie de factores que influyen en el desarrollo del ahuellamiento, como compactación de la mezcla, granulometría del agregado, clima y tráfico, y otros factores. Como resultado de estas investigaciones, se entregan recomendaciones de diseño y construcción, para evitar fallas prematuras por ahuellamiento en mezclas sometidas a condiciones de servicio severas.

1. INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

El Centro de Ingeniería e Investigación Vial (CIIV) ha estudiado varios casos de ahuellamiento, y algunos de exudación, ocurridos en mezclas asfálticas, todos producidos en caminos de concesiones viales construidos con posterioridad al año 1995.

Con distintos objetivos, se han estudiado las mezclas asfálticas construidas en estos proyectos, lo que ha llevado a los investigadores a reunir importantes antecedentes sobre el comportamiento de mezclas asfálticas chilenas en condiciones extremas de servicio.

En base a estos antecedentes los investigadores consideran que es necesario revisar las actuales especificaciones, para mejorar el desempeño de las mezclas asfálticas en condiciones de alto tráfico y clima caluroso.

1.2 Objetivos

El objetivo del presente trabajo es dar a conocer las conclusiones a que han llegado los investigadores tras el análisis de casos reales de ahuellamiento, y las recomendaciones que se cree pueden ayudar a mejorar el desempeño de las mezclas asfálticas en condiciones de servicio extremas.

2. ESTUDIO BIBLIOGRAFICO

2.1 Definición y Descripción del Ahuellamiento

El ahuellamiento es un tipo de defecto o falla que se produce en pavimentos asfálticos, que consiste en una depresión canalizada en la huella de circulación de los vehículos. Se produce en pavimentos asfálticos sometidos a una combinación de elevados niveles de tránsito, tráfico pesado y/o lento, y altas temperaturas de servicio.

Por otra parte, el ahuellamiento puede tener su origen en deformaciones de la mezcla asfáltica de superficie, o en deformaciones en capas subyacentes:

Ahuellamiento en la capa asfáltica. El efecto se presenta en los primeros 7 a 10 cm de mezcla más cercanos a la superficie (Brown, Cross, 1992). La mezcla asfáltica bajo esta profundidad se encuentra aislada térmicamente y además está sometida a esfuerzos menores que las capas superiores. Este tipo de ahuellamiento es independiente del diseño estructural del pavimento.

Ahuellamiento producido en capas subyacentes. En este caso las causas pueden ser, principalmente, una mala compactación de las bases granulares o tensiones de trabajo mayores a las tensiones admisibles en la subrasante. Es decir, las causas en este caso son de tipo constructivo o de diseño estructural del pavimento.

El perfil transversal de la deformación es diferente en cada caso (ahuellamiento de la mezcla o de capas inferiores), y es relativamente fácil de distinguir para un profesional con experiencia. Por lo general, será conveniente adoptar la palabra ahuellamiento (rutting) para referirse a la deformación plástica de la mezcla asfáltica, y utilizar la palabra deformación para referirse a las deformaciones por tensiones de las capas subyacentes.

El ahuellamiento de la capa asfáltica ocurre por la acumulación de pequeñas deformaciones plásticas de la mezcla que ocurren cada vez que se aplica una carga sobre el pavimento. El asfalto (y por ende la mezcla) exhibe un comportamiento viscoelástico a temperaturas de servicio, esto es, las deformaciones que presenta ante cargas corresponden a una combinación entre deformación plástica (o viscosa) y elástica. La componente elástica de la deformación se recupera, mientras que la componente plástica se acumula. Este efecto se muestra en la Figura 1, que muestra el modelo reológico de un material viscoelástico desarrollado por Maxwell y las componentes de deformación ante un ciclo carga - descarga.

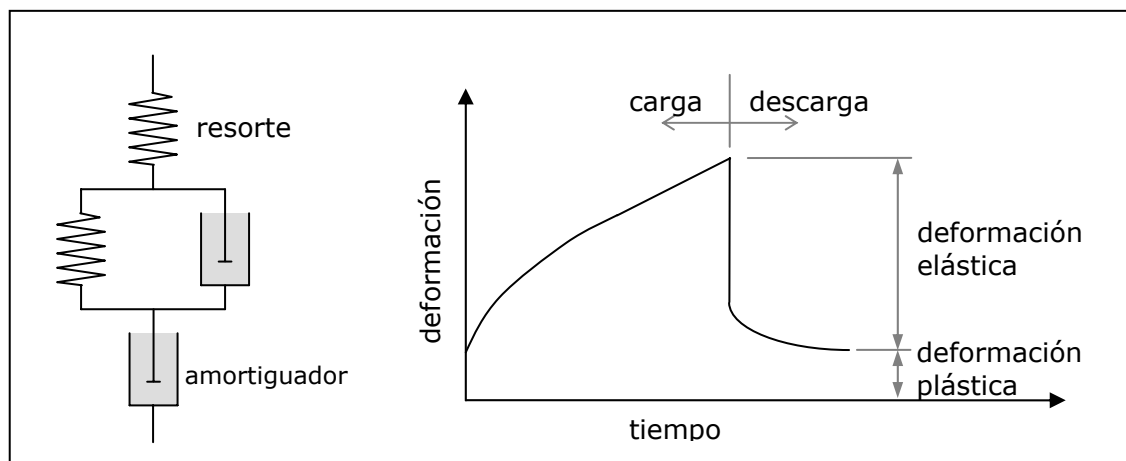


FIGURA 1. Modelo reológico del comportamiento de materiales viscoelásticos.

En condiciones normales de operación, las deformaciones producidas por el tránsito son despreciables, sin embargo existen factores que tienden a aumentar la tasa de deformación de la mezcla asfáltica y eventualmente producen ahuellamiento. Estos factores, que normalmente actúan en conjunto, están relacionados al clima y al tráfico:

Altas temperaturas. El ahuellamiento generalmente se produce en verano, ya que las temperaturas altas aumentan la componente plástica de deformación del asfalto, por lo tanto aumentan las deformaciones remanentes. En ocasiones el ahuellamiento se puede producir en forma parcial en dos o tres veranos consecutivos.

Cargas pesadas. Las cargas pesadas aumentan la magnitud de las deformaciones y por lo tanto aumentan la tasa de deformación de la mezcla.

Circulación a bajas velocidades. El tráfico lento disminuye la rigidez del asfalto, por lo que aumenta la componente plástica de deformaciones, es decir, se produce un efecto equivalente a un aumento de la temperatura de servicio.

Por otra parte una mezcla asfáltica puede ser más o menos resistente a las deformaciones, en función de una serie de factores de diseño, como grado asfáltico, propiedades del agregado y parámetros de dosificación. En las siguientes secciones se analizan brevemente cada uno de estos factores.

2.2 Efecto del Grado Asfáltico

La selección del grado asfáltico debe hacerse principalmente en base al clima, sin embargo también influyen factores de proyecto, como el nivel de tránsito y las velocidades de circulación. Es por esto que en la actualidad se considera que las especificaciones por penetración no es suficiente para garantizar un buen desempeño del asfalto.

El sistema Superpave ha propuesto una solución al tema de la selección del grado asfáltico mediante una especificación basada en el comportamiento. Así es posible seleccionar un asfalto de acuerdo a las condiciones específicas del proyecto, de acuerdo al grado PG XX-YY, que determina el rango de temperaturas de desempeño adecuado del asfalto.

2.3 Efecto del Agregado

(a) Granulometría

Las mezclas tradicionales se producen en base a granulometrías continuas o densas. Estas mezclas, en condiciones extremas de servicio, pueden ser susceptibles de ahuellarse.

Recientes investigaciones indican que para que una mezcla sea resistente al ahuellamiento, debe existir un contacto íntimo entre las partículas gruesas, más resistentes y de mayor fricción interna. El mismo concepto es aplicado en las mezclas SMA (*Stone Mastic Asphalt* o *Stone Matrix Asphalt*). La cantidad de agregado de menor tamaño debe ser tal que pueda ser colocado en el espacio que dejan los agregados más gruesos, sin interferir en su contacto interpartícula, y así sucesivamente con los tamaños más finos.

La Figura 2 muestra la banda Superpave TM 19 (en formato Superpave). La recomendación de diseño es que a medida que el tráfico aumenta, la granulometría se acerque al límite inferior de la banda en los tamaños finos (a partir de 4,75 o 2,36), como muestra la figura.

Cuando hay un exceso de arenas de tamaño medio, la mezcla puede ser inestable en condiciones extremas de servicio. Esto produce una deformación paulatina de la mezcla, y un reacomodo interno de las partículas, acercándose unas a otras. Cuando las partículas gruesas quedan en contacto, de modo que proveen suficiente fricción interna, la deformación se detiene.

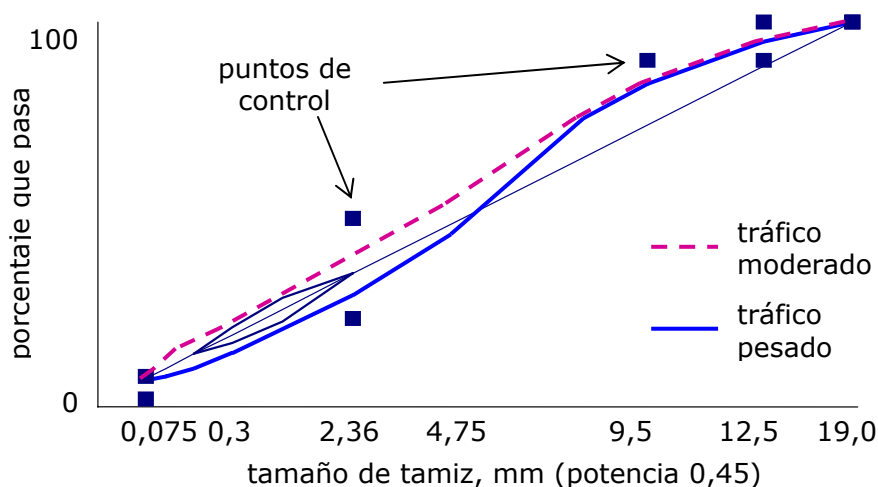


FIGURA 2. Granulometría para tráfico pesado y moderado.

(b) Forma y Textura

Tanto la forma como la textura son propiedades que tienen que ver con el origen del agregado. Las partículas rodadas obtenidas de depósitos fluviales normalmente tienen una textura lisa y una forma redondeada, por lo que no son adecuadas para producir mezclas

asfálticas, puesto que no proveen suficiente fricción interna para resistir las cargas. Las partículas que se obtienen en plantas de chancado tienen forma angulosa y textura rugosa, producto de la trituración mecánica. Estas partículas proveen grandes fricciones internas que las hacen adecuadas para producir mezclas asfálticas resistentes al ahuellamiento.

2.4 Propiedades volumétricas de la mezcla

Numerosos informes de investigación, así como textos de estudio, concuerdan que el contenido de vacíos es, por sí solo, el parámetro de desempeño más importante de una mezcla asfáltica.

Existe acuerdo en que el rango adecuado de desempeño de una mezcla se consigue para contenidos de vacíos de 3 a 8 % (Brown, 1990; Asphalt Institute, 1997). Para contenidos de vacíos bajo 3 %, la mezcla es muy propensa a exudar y/o ahuellarse. Por otro lado, para contenidos de vacíos superiores al 8 %, la mezcla puede sufrir excesiva oxidación, agrietamiento prematuro y desintegración.

Para determinar el contenido asfáltico óptimo, el criterio de diseño del método Marshall especifica un contenido de vacíos de 3 a 5 %, mientras que el método Superpave especifica un 4 %. Estos valores se refieren a la condición de la mezcla tras dos a tres años de servicio, una vez que ha sido compactada por el tráfico, como se aprecia en la Figura 3 (Foster, 1984).

Por lo tanto, para alcanzar esta condición en terreno, es necesario compactar la mezcla hasta un nivel de vacíos cercano al 8 %, ya que el tráfico densificará la mezcla hasta su nivel final, en el rango de 3 a 5 %. Una sobrecompactación de la mezcla, ya sea por error de diseño, exceso de compactación durante la colocación, o por un tráfico pesado no considerado durante el diseño, producirá una disminución en el contenido de vacíos que puede producir el ahuellamiento y/o la exudación de la mezcla.

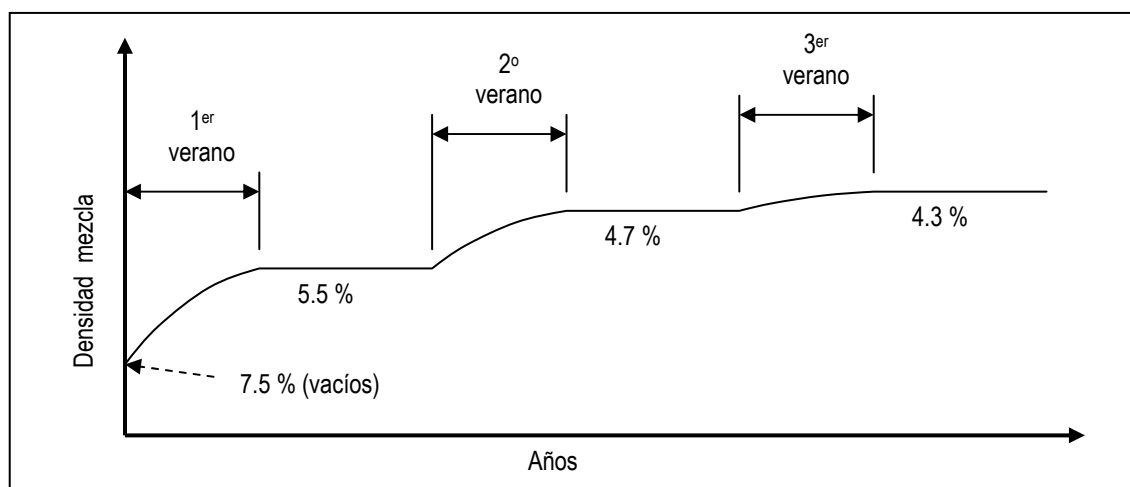


FIGURA 3. Variación de densidad y contenido de vacíos en la mezcla asfáltica.

Otros parámetros volumétricos relacionados con el ahuellamiento y exudación, que están relacionados al contenido de vacíos, son el VMA y contenido asfáltico.

El VMA, o contenido de vacíos del agregado mineral, es una propiedad que depende del agregado (forma y granulometría) y del contenido asfáltico. Valores de VMA muy bajos pueden indicar que en terreno el asfalto no tendrá suficiente espacio y que por lo tanto podría ahuellarse y/o exudar. Valores de VMA muy altos también se han asociado con el ahuellamiento, ya que se requerirá un mayor contenido asfáltico para cumplir las especificaciones de diseño (FHWA, 2001).

Por otro lado, el contenido asfáltico está relacionado con el contenido de vacíos. La estabilidad Marshall, a pesar de no ser un parámetro relevante en el comportamiento de las mezclas frente al ahuellamiento, muestra cómo afecta el contenido asfáltico al comportamiento mecánico de las mezclas. Hasta cierto valor, la estabilidad aumenta con incrementos en el contenido asfáltico. A partir de dicho valor, la estabilidad de la mezcla disminuye con nuevos incrementos en el contenido asfáltico. Esto se debe al efecto lubricante que produce un exceso de asfalto, que reduce el contacto entre las partículas de agregado y por lo tanto disminuye la fricción interna de la mezcla. En cuanto al efecto del contenido asfáltico sobre la resistencia al ahuellamiento, los estudios realizados en USA indican que el contenido asfáltico es más incidente en la susceptibilidad al ahuellamiento que el grado asfáltico, aunque es menos importante que el contenido de vacíos (Brown, Cross, 1992).

3. ANALISIS DE MEZCLAS ASFALTICAS CHILENAS

3.1 Descripción de casos estudiados

El Centro de Ingeniería e Investigación Vial, ha estudiado varios proyectos donde se ha producido ahuellamiento, y en menor medida, exudación. Entre los proyectos estudiados se cuentan Autopista del Sol, Autopista Santiago-Talca, Autopista Talca-Chillán y Autopista Chillán-Collipulli. Este último proyecto no fue estudiado por el CIIV, sin embargo se cuenta con antecedentes técnicos de las mezclas asfálticas.

Los estudios realizados incluyeron la recopilación de antecedentes de construcción y la toma de muestras de mezcla asfáltica para análisis en laboratorio. El procedimiento de ensayos utilizado permitió medir el contenido de vacíos de las mezclas, y determinar sus granulometrías y contenidos asfálticos, entre otros datos.

Los resultados obtenidos en los estudios realizados permitieron encontrar causas comunes del ahuellamiento de las mezclas, las que se resumen en la Tabla 1. En las siguientes secciones se presenta un análisis de estos problemas y sus causas.

TABLA 1. Resumen de problemas y causas.

Problema	Causas
Bajo contenido de vacíos (Va)	excesiva compactación de la mezcla en terreno compactación en laboratorio poco representativa variaciones de la mezcla en terreno
Estructuras minerales débiles	a. granulometría muy densa b. angularidad y forma
Grado asfáltico inadecuado	a. selección no se basa en reología

En las siguientes secciones se analiza con más detalle cada una de las causas expuestas en la Tabla 1, y además se analiza el contexto histórico por el cual se podría explicar por qué el ahuellamiento es un tipo de falla relativamente reciente en Chile.

3.2 Bajo contenido de vacíos de la mezcla

(a) Sobrecompactación de la Mezcla en Terreno

En general, las mezclas analizadas fueron construidas bajo las especificaciones de la edición 1975 del Manual de Carreteras. Dichas especificaciones exigían una compactación de la mezcla mayor al 98 % respecto de la densidad Marshall. Esto equivale a una densidad del 94 % respecto de la densidad máxima teórica de la mezcla, y a un nivel de vacíos de la mezcla del 6 %, como se muestra en la Figura 4 (Asphalt Institute, 2001).

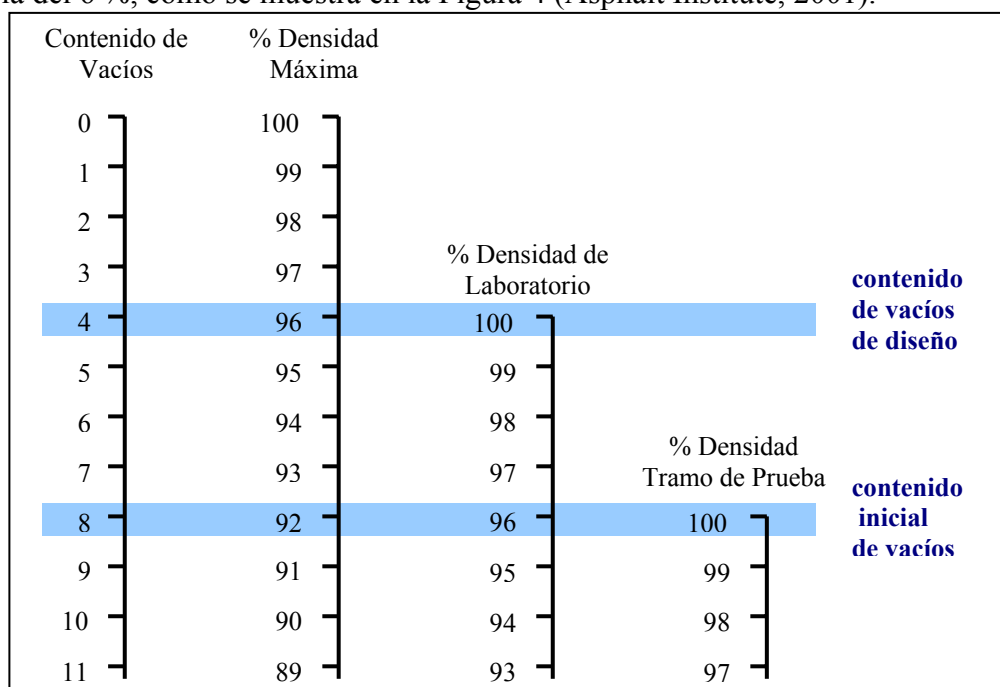


FIGURA 4. Relación entre densidades y contenido de vacíos de la mezcla asfáltica.

Para cumplir dichas especificaciones, era común compactar la mezcla a densidades del orden del 100 % de la densidad Marshall o más, por lo que en la práctica el nivel de vacíos de la mezcla colocada era cercano al 4 %. Estos niveles de compactación producen mezclas muy sensibles a sufrir ahuellamiento.

En la actualidad, las especificaciones de construcción exigen densidades mayores al 96 %. Para analizar lo que esto significa, se ha graficado en la Figura 5 la distribución de resultados de densidad obtenida en uno de los proyectos estudiados (densidades medidas en 134 testigos, correspondientes a 68 km de una calzada). Una forma razonable de asumir la construcción de una carpeta asfáltica (desde el punto de vista del constructor), es asegurar un procedimiento de compactación tal que sólo un 5 % de la superficie de la carpeta tenga una densidad menor al 96 %.

Asumiendo la variabilidad (desviación estándar) determinada anteriormente, se obtendría matemáticamente que para cumplir dicho objetivo la media tendría que ser un 97 %. Se considera que una densidad media del 97 % puede aún ser alta, siendo recomendable una densidad promedio del 96 %. Esto es más importante si se consideran proyectos de menor escala, con menores volúmenes de producción, donde se han medido variabilidades de hasta 1,4 para la densidad relativa. Por otro lado, se considera que es necesario limitar las densidades máximas de compactación, y así evitar mezclas con contenidos de vacíos iniciales bajos.

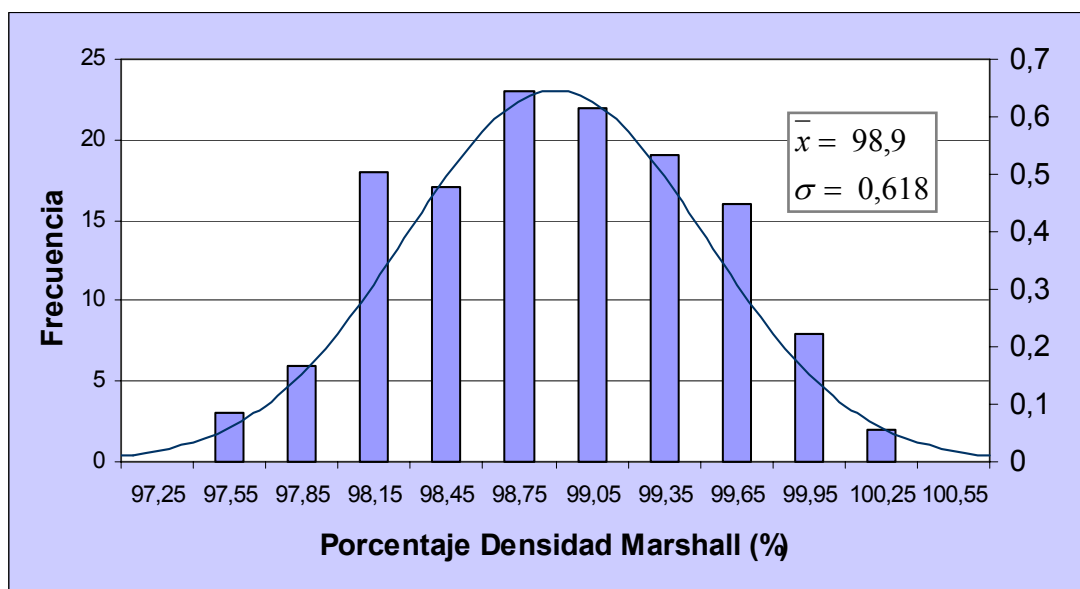


FIGURA 5. Distribución de densidades relativas obtenidas en un proyecto de construcción.
(b) *Compactación en Laboratorio Poco Representativa*

El procedimiento de diseño requiere la preparación de probetas de mezcla asfáltica compactadas. En el método Marshall se utiliza un martillo de compactación, el cual simula

la compactación que sufrirá la mezcla durante la colocación y posterior tráfico en servicio (durante dos a tres años).

Los investigadores creen que para condiciones de servicio extremas, con altos niveles de tránsito y un alto porcentaje de cargas pesadas, la compactación máxima alcanzada con el martillo Marshall (75 golpes/cara) es insuficiente. Es decir, la compactación por tráfico de la mezcla será mayor a la que logre el martillo, por lo tanto el diseño en laboratorio producirá mezclas con contenidos de asfalto altos para las condiciones del proyecto.

Estas mezclas serán densificadas a niveles mayores a los considerados durante el diseño y por lo tanto sus contenidos de vacíos se reducirán prematuramente, con el consiguiente riesgo de ahuellamiento y exudación.

El compactador giratorio utilizado en el sistema Superpave, es capaz de simular de mejor manera la compactación de la mezcla durante la construcción y servicio inicial. Se considera que su utilización en Chile sería beneficiosa para los pavimentos asfálticos de autopistas y carreteras de alto uso comercial y de carga.

(c) Variaciones de la Mezcla en Terreno

El control de densidad practicado en Chile se realiza en función de la densidad Marshall obtenida en laboratorio durante el diseño de la mezcla. Durante dicho diseño, se utilizan muestras específicas del agregado, por lo que los valores obtenidos no necesariamente deberían representar lo que sucede tiempo después en terreno.

La mezcla que efectivamente se coloque en el proyecto puede ser distinta a la mezcla que se diseñó en laboratorio, principalmente producto de cambios en el agregado. Variaciones en la granulometría, diferencias en el proceso de mezclado, etc., son factores que harán que la mezcla tenga propiedades distintas a las medidas durante el diseño. Una de las variaciones más importantes tiene que ver con el VMA, el cual siempre es menor en la mezcla producida en planta. Esta variación es reconocida por el método Superpave, y en consideración se recomienda evitar mezclas cuyos valores de VMA sean muy bajos para los contenidos de asfalto óptimos.

En USA, incluso antes del desarrollo del sistema Superpave, se recomienda verificar en el laboratorio de terreno las propiedades de la mezcla producida en planta, de modo de corregir diferencias importantes de los parámetros de diseño (Asphalt Institute, 1997 y 2001; FHWA, 2001; Brown y Cross, 1992). Si la mezcla de planta cumple con los criterios de diseño, la mezcla se aprueba y se sigue adelante con la construcción, sin embargo la densidad que se debería utilizar para el control corresponde a la densidad obtenida con la mezcla de planta, ya que es más representativa de lo que realmente se está colocando.

3.3 Estructuras minerales débiles

(a) Granulometría muy Densa

Las granulometrías muy densas son susceptibles de ahuellarse ante condiciones de tráfico exigentes (ver Sección 2.3.a). Las bandas chilenas se considera no son lo suficientemente abiertas para estas condiciones. Las Figuras 6 y 7 muestran las bandas MOP IV-12 y IV-20 en formato Superpave. Como puede verse en las figuras, no es fácil encontrar granulometrías que sigan las recomendaciones dadas por el sistema Superpave, lo mismo sucede con la banda IV-25.

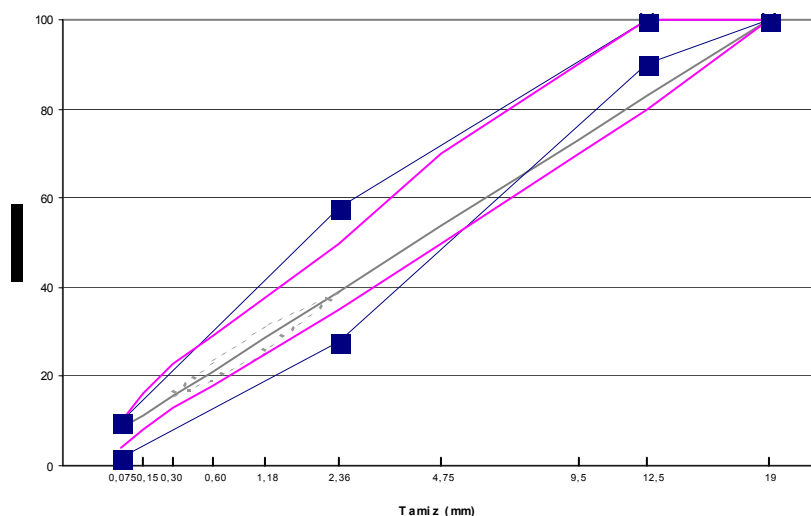


FIGURA 6. Banda granulométrica IV-12 en formato Superpave.

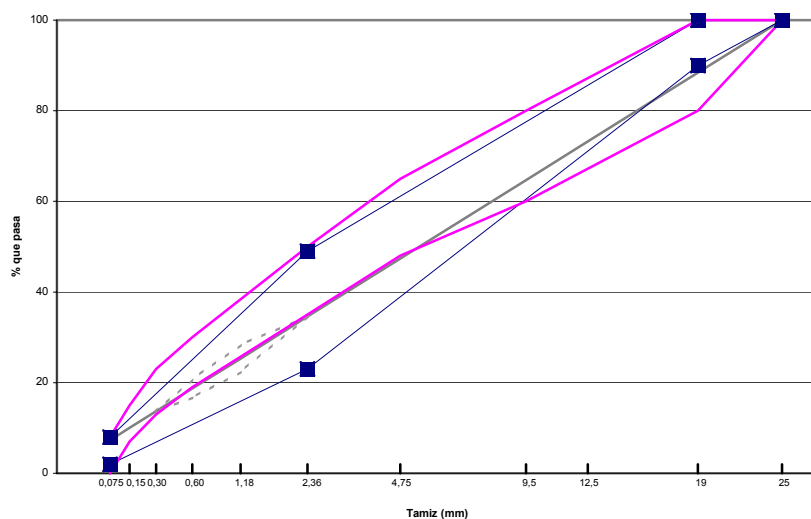


FIGURA 7. Banda granulométrica IV-20 en formato Superpave.

(b) *Forma y Textura*

De los estudios realizados por el CIIV se desprende que sería conveniente aumentar las exigencias de forma y textura (lajas y material chancado) de los agregados para mezclas sometidas a condiciones extremas de servicio.

El sistema Superpave ha incluido en su método de diseño de mezclas lo siguiente:

Angularidad del agregado fino. Se ha incorporado un ensayo para medir la angularidad del agregado fino, ya que se ha comprobado que este parámetro afecta fuertemente el comportamiento de las mezclas frente al ahuellamiento. Un exceso de arenas rodadas puede producir mezclas deformables que se conocen como ‘mezclas tiernas’. A pesar que el ensayo ha sido cuestionado por algunos investigadores, sigue siendo el único ensayo disponible para medir este parámetro.

Angularidad del agregado grueso. Se controla la forma y porcentaje de chancado. La innovación corresponde a la consideración que se hace de la ubicación de la mezcla en el pavimento y el tráfico que circula. Mientras mayor sea el tráfico y/o más cerca de la superficie se encuentre la mezcla, mayores son los requerimientos.

3.4 Grado asfáltico inadecuado

En Chile, los cementos asfálticos se clasifican según su penetración, que corresponde a una clasificación basada en ensayos empíricos. Los grados de penetración más comunes son el CA 60-80 (normalmente usado en clima cálido) y CA 80-100 (para climas fríos).

Por otra parte, el nuevo sistema Superpave clasifica los asfaltos por grado de desempeño, que corresponde a un rango de temperaturas de servicio en el cual un asfalto tendrá un comportamiento aceptable. Para caracterizar el asfalto se utilizan ensayos reológicos, en base a los cuales se clasifica un asfalto de acuerdo a su grado de desempeño PG XX-YY, que indica las temperaturas máximas y mínimas de servicio para las cuales el asfalto tendrá un comportamiento aceptable. Para un proyecto en particular, el grado PG necesario para la mezcla asfáltica depende de:

Condiciones climáticas históricas de la región (20 años de registro, como mínimo)

Condiciones del tráfico del proyecto. Considera tráficos pesados (EE) o lentos. En casos extremos el límite de temperatura máxima del grado PG debe aumentarse.

Confiabilidad del proyecto. De acuerdo a la confiabilidad se debe aumentar las exigencias en cuanto al grado PG, para asegurar una menor probabilidad de falla.

Estudios realizados por el CIIV permiten concluir que los grados asfálticos chilenos típicos corresponden a los indicados en la Tabla 2.

TABLA 2. Correspondencia entre grados asfálticos chilenos y Superpave.

Grado de Penetración	Grado de Desempeño
CA 60 - 80	PG 64-22
CA 80 - 100	PG 58-28

En el caso de uno de los proyectos estudiados, se estimó el grado asfáltico requerido, considerando un temperatura máxima estimada de pavimento de 60 °C, con una desv. estándar de 2 °C, un tráfico esperado a 20 años mayor a 30 millones de EE y una confiabilidad de proyecto del 90 %. Esto dio como resultado un asfalto PG 70-YY. Es decir, el asfalto usado normalmente en climas cálidos (CA 60-80) no sería adecuado para estas condiciones extremas de servicio. Más aún, en función de las temperaturas y confiabilidades usadas, es posible que se requiere incluso un grado PG 76-YY. Una conclusión importante que se puede desprender de este análisis, es que el grado asfáltico no se selecciona en función del clima, sino que en función del proyecto, que incluye el clima y otros factores.

3.5 Contexto histórico

Resulta importante analizar, desde un punto de vista histórico y técnico, por qué fenómeno del ahuellamiento se ha presentado en los últimos años y en proyectos con altos estándares de calidad de construcción.

Hasta hace 10 años, el ahuellamiento era un fenómeno de muy baja ocurrencia en los pavimentos del país, siendo más común el agrietamiento por fatiga. Esto llevó a pensar que los materiales chilenos, de muy buena calidad, otorgaban resistencia a la mezcla frente al ahuellamiento. Esto, hasta cierto punto, es cierto, sin embargo en la actualidad los materiales son aún mejores, lo que no explica la ocurrencia de fenómenos de ahulleamiento. Una explicación complementaria se relaciona con una evolución de la calidad de los procesos constructivos, y en especial, de plantas asfálticas. La situación en Chile, 15 años atrás, era la siguiente:

Gran parte de las plantas mezcladoras tendían a sobrecalentar las mezclas para cubrir grandes distancias de transporte.

Las plantas eran de antigua generación con muy poca tecnología incorporada, donde el asfalto entraba en contacto con flujos de aire a alta temperatura.

Se tendía a construir mezclas con contenidos bajos de asfalto.

Estos tres elementos eran causantes de obtener mezclas asfálticas muy rígidas, que no eran susceptibles a ahueallar., sin embargo sí eran propensas a sufrir agrietamiento prematuro o agrietamiento por fatiga. Estudios realizaos por el autor alrededor de 1980 muestran que algunas mezclas alcanzaban grados de envejecimiento equivalentes a 12 años de servicio, sólo después del mezclado en planta.

Actualmente, existen en el país plantas asfálticas modernas que producen menor impacto en el asfalto y una mayor calidad de mezcla. Además, los niveles de producción son mayores (especialmente en las concesiones), lo que justifica la instalación de plantas cercanas a las obras y con ello han disminuido las distancias de transporte. Esto ha significado al mismo tiempo una menor temperatura de la mezcla en la planta. Por último, las constructoras tienden a producir mezclas por lado rico de asfalto.

4. RECOMENDACIONES PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DE MEZCLAS CHILENAS

A continuación se entregan recomendaciones para mejorar el desempeño de mezclas asfálticas de rodado sometidas a condiciones extremas de servicio. Las recomendaciones se dividen en dos grupos: el primero corresponde a recomendaciones para que los contratistas produzcan mezclas asfálticas menos propensas a ahuellar bajo el contexto actual de especificaciones; mientras el segundo corresponde a recomendaciones que se cree deberían ser estudiadas por la autoridad y eventualmente incorporadas a las especificaciones existentes, con el objeto de producir mejores mezclas para carreteras de alto tránsito.

4.1 Recomendaciones para mejorar las mezclas: punto de vista del contratista

(a) *Parámetros Volumétricos*

Se recomienda disminuir el contenido de asfalto de las mezclas, mediante el manejo de la granulometría del agregado y valores bajos de VMA. Otra forma es diseñar la mezcla con un contenido de vacíos del 5 %, para asegurar un comportamiento menos plástico de las mezclas. Esto permitiría, además, contrarrestar el efecto negativo de la exigencia de compactar las mezclas a un 97% de la densidad Marshall.

(b) *Agregado*

Se recomienda utilizar granulometrías que se acerquen al límite inferior de las bandas del Manual de Carreteras. La banda IV-12 puede ser especialmente útil, puesto que permite acercarse a la recomendación Superpave para alto tráfico (ver Figuras 2 y 6). Por otro lado, es posible mejorar sustancialmente el desempeño de las mezclas asfálticas utilizando agregados 100 % chancados, con un mínimo porcentaje de agregado alargado o lajeado. Se recomienda también medir la angularidad del agregado fino (AASHTO T304), de modo de asegurarse de utilizar agregado con buenas propiedades mecánicas.

(c) *Grado Asfáltico*

En proyectos que consideren altos niveles de tránsito en climas caluroso, se recomienda utilizar asfaltos más duros (p. ej: 50-60), que resistan de mejor manera el ahuellamiento, o mejor aún, se puede verificar el grado PG del asfalto a utilizar en el proyecto.

4.2 Recomendaciones para mejorar las especificaciones para mezclas asfálticas

(a) *Agregados*

En el caso de los agregados, se recomienda adoptar los criterios y especificaciones del método Superpave. La adopción de estos criterios y especificaciones no debería significar un costo adicional para las agencias gubernamentales y contratistas, ya que están basados en ensayos tradicionales (salvo el ensayo de Angularidad del Agregado Fino).

Los criterios mencionados incluyen también el formato de granulometría a la potencia 0,45, y la eventual adopción de las bandas Superpave, para uso en mezclas de alto tránsito.

(b) *Asfalto*

La adopción del sistema Superpave en este caso representaría un esfuerzo importante, básicamente por la necesidad de adquirir equipos nuevos desarrollados bajo el programa SHRP, los cuales tienen un elevado costo. Por otra parte, las especificaciones Superpave serán incorporadas en el nuevo Volumen 8 del Manual de Carreteras, lo que se considera un avance importante para la adopción del sistema completo. En todo caso, dados los tipos de ensayos que se requieren para la especificación Superpave, se considera que no se requiere necesariamente que los equipos sean adquiridos por todos los usuarios.

(c) *Método de Diseño*

Para mejorar el método de diseño de mezclas asfálticas para carreteras de alto volumen de tránsito, se considera altamente recomendable:

Realizar una verificación de los parámetros de diseño con muestras de mezcla producida en planta, y actualizar la información de referencia en base a dichos resultados. El control de densidad de la mezcla asfáltica debería ser realizado considerando los valores obtenidos con mezcla de planta.

Incorporar límites máximos al VMA, para evitar mezclas con contenidos asfálticos demasiado altos.

Estudiar una eventual modificación de los niveles de compactación exigidos a las mezclas asfálticas. En particular se recomienda incluir un límite máximo para evitar la construcción de mezclas con bajos contenidos de vacíos.

Por otra parte, se cree que el método de diseño de mezclas Superpave, incluyendo las especificaciones para agregado, podría ser incorporado en Chile en el mediano plazo. La incorporación de las especificaciones de desempeño para ligantes se considera un paso importante en este sentido. El sistema Superpave está constituido por métodos y ensayos que se consideran más representativos de las condiciones reales de las mezclas asfálticas, a la vez que incluye procedimientos más racionales y menos empíricos.

5. CONCLUSIONES

El ahuellamiento, y también la exudación, son fenómenos que tienen su origen en una combinación de factores que se conjugan en el diseño, construcción y servicio. Los análisis realizados en casos chilenos concuerdan con investigaciones realizadas en USA, donde se concluye que las principales causas tienen que ver con los parámetros volumétricos y la granulometría de la mezcla.

Se cree que las especificaciones y métodos utilizados en Chile pueden ser mejorados incorporando algunos elementos y criterios del sistema Superpave. La incorporación del sistema Superpave completo sería también un gran avance para construir mezclas más durables en carreteras sometidas a altas exigencias, como es el caso de las autopistas concesionadas.

Por último, es necesario realizar investigaciones profundas sobre el comportamiento de mezclas en condiciones extremas de servicio, especialmente a través de tramos de prueba controlados, de modo de estudiar el efecto de diversos parámetros. Los factores que se consideran más importantes de estudiar son la granulometría y el nivel de compactación.

6. REFERENCIAS

Asphalt Institute, **Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot Mix Types**, Manual Series No. 2, The Asphalt Institute, Lexington, Kentucky, 1997.

Asphalt Institute, **Construction of Hot Mix Asphalt Pavements**, Manual Series No. 22, The Asphalt Institute, Lexington, Kentucky, 2001.

Brown, E. R., **Density of Asphalt Concrete - How Much is Needed?**, Report No. 90-3, National Center for Asphalt Technology, Alabama, 1990.

Brown, E. R., Cross, S., **A Study of In-Place Rutting of Asphalt Pavements**, Report No. 89-2, National Center for Asphalt Technology, Alabama, 1989.

Brown, E. R., Cross, S., **A National Study of Rutting in Hot Mix Asphalt (HMA) Pavements**, Report No. 92-5, National Center for Asphalt Technology, Alabama, 1992.

Federal Highway Administration, **Performance of Coarse-Graded Mixes at Westrack - Premature Rutting**, United States Department of Transportation, Washington, 1998.

Federal Highway Administration, **WesTrack Forensic Team Consensus Report - Superpave Mixture Design Guide**, United States Department of Transportation, Washington, 2001.

Foster, Charles, **Development of Marshall Procedures for Designing Asphalt Paving Mixtures**, National Asphalt Pavement Association, Maryland, 1984.

Harman, T., D'Angelo, J., Bukowski, J., **Superpave Asphalt Mixture Design - Workshop Workbook**, Federal Highway Administration, Washington, 2000.