



la superficie en forma de exudación, creando un superficie lisa, algunas veces con deformación plástica, lo que crea una condición riesgosa para el agarre de los neumáticos de los vehículos, además de un deterioro que puede ser progresivo, generando primeramente hundimientos locales, cambio de espesores en la capa asfáltica y posteriormente agrietamientos por falta de capacidad de soporte.

Una sobrecompactación de la mezcla colocada en sitio, ya sea por error de diseño, exceso de compactación durante la colocación a temperaturas altas no adecuadas, 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. (Thenoux, G. 2002)

Debido a la importancia de conservar vacíos en las mezclas asfálticas, estas son diseñadas para obtener en laboratorio un 4% de vacíos respecto a la Densidad Máxima Teórica (Densidad con 0% de vacíos). Esta densidad con 4% de vacíos es conocida como la Densidad Marshall obtenida en laboratorio por medio de la metodología del mismo nombre (Metodología Marshall). A partir de estas propiedades volumétricas obtenidas en laboratorio, lo ideal es que la compactación en sitio genere un porcentaje de densificación del 92% al 97% respecto a la Densidad Máxima Teórica (94.5%  $\pm$  2.5%). La figura 1 muestra la relación de densidades que se obtienen tanto para laboratorio como para sitio.

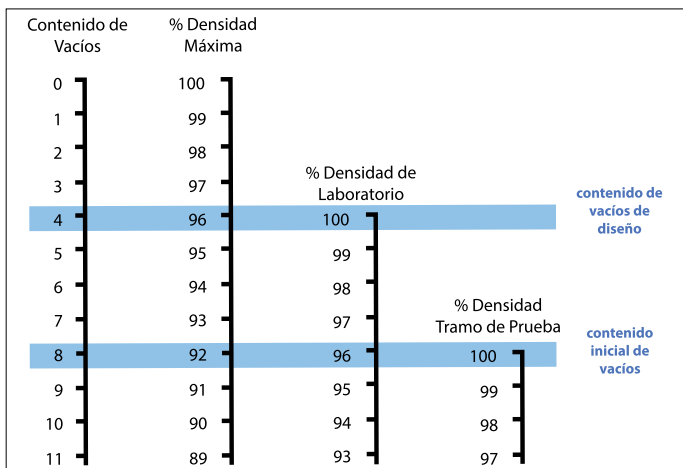


Figura 1: Relación de densidades y vacíos de la Mezcla Asfáltica

## Parámetros volumétricos (VFA/VMA)

Los parámetros volumétricos de porcentaje de vacíos en la mezcla (V%), vacíos minerales en el agregado (VMA) y los vacíos llenos de asfalto (VFA) pueden generar un riesgo potencial de incumplimientos dentro del rango de contenido de asfalto (óptimo  $\pm$  0.5%) establecido en los diseños de mezclas.

Se entiende que VFA es el porcentaje de vacíos entre las partículas de agregado que se encuentran llenos de asfalto y VMA (vacíos minerales en el agregado) como los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado, incluyendo los espacios llenos de asfalto en una mezcla compactada.

El exceder los valores establecidos en la metodología Marshall, en dichos parámetros, puede causar deterioros por inestabilidad de la mezcla o por exudación de asfalto.

Valores de VMA muy bajos pueden indicar que en operación el asfalto no tendrá suficiente espacio y que por lo tanto podrá ahuellarse y/o exudar. (FHWA, 2001).

Valores de VMA muy altos también se han asociado con la exudación, ya que se requerirá un mayor contenido asfáltico para cumplir las especificaciones de diseño. Este exceso de asfalto hace efecto lubricante entre los agregados, reduciendo el contacto entre las partículas de agregado y por lo tanto disminuyendo la fricción interna de la mezcla, pudiendo llegar a tener una mezcla más deformable y con riesgo de exudación. (Morea, F. 2011).

## Variación de los agregados

Al aumentar el valor de Gbs de los agregados va a existir una reducción de volumen para el mismo peso (tal como se esquematiza en la Figura 2) por tanto los vacíos disponibles entre las partículas van a ser llenados por asfalto, por lo que el valor de VMA aumenta, implicando una mayor cantidad de asfalto.

Si el valor de Gbs aumenta en el tiempo ya sea por cambio de características del agregado o por cambios de fuente del material (examinando la Figura 2 de derecha a izquierda), podría provocar el efecto de tener más cantidad de asfalto de la requerida debido a la reducción en el volumen de agregado (menos cantidad de piezas, Figura 3) para crear la capa delgada de asfalto que recubre las partículas minerales, pudiendo llegar a quedar asfalto en exceso, lo que podría ser perjudicial para

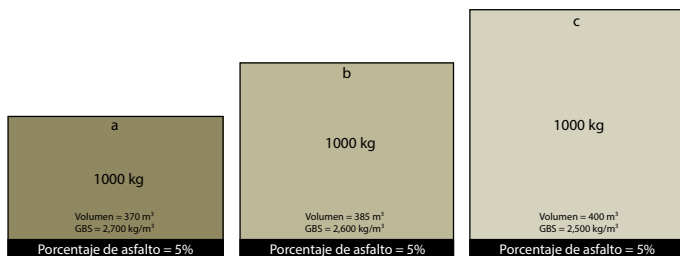


Figura 2: Relación de Gbs y volumen con un peso constante

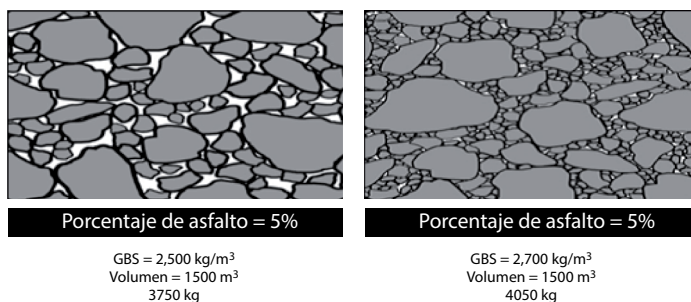


Figura 3: Esquema de mezcla asfáltica con 5% de contenido de asfalto para diferentes Gbs del agregado

la carpeta asfáltica en servicio, manifestándose una posible inestabilidad o migración de asfalto a la superficie (exudación).

## Método de diseño

Actualmente es utilizado el método Marshall para diseño de mezclas asfálticas, el cual utiliza un martillo de compactación estándar, el cual simula la compactación en sitio que sufrirá la mezcla durante la colocación y posterior tráfico en servicio (durante dos a tres años).

Sin embargo se estima que para condiciones con altos niveles de tránsito y un alto porcentaje de cargas pesadas, la compactación de 75 golpes por cara considerada en esta metodología con el martillo Marshall es insuficiente. Se considera que la compactación por tráfico de la mezcla asfáltica es mayor a la que se logre con el martillo, por lo tanto el diseño en laboratorio podría producir mezclas con contenidos de asfalto altos para las condiciones del proyecto. Estas mezclas al ser densificadas a niveles mayores a los considerados durante el diseño provocan que se reduzca el contenido de vacíos y consecuentemente se presenta el riesgo de ahuellamiento y exudación. (Thenoux, G. 2002)

## Temperatura ambiental

El ahuellamiento (deformación plástica) y exudación de las mezclas asfálticas inestables es un fenómeno que además se asocia a las altas temperaturas del pavimento dadas por la temperatura ambiental imperante en la zona donde se coloque, y es más probable que ocurra en verano (en ocasiones el ahuellamiento se puede producir en forma parcial en dos o tres veranos consecutivos). A temperaturas altas, el asfalto se comporta más como un fluido viscoso que como un sólido elástico (notorio en ligante con baja viscosidad), por lo que aumenta la componente plástica de deformación del mismo y aumentan en consecuencia las deformaciones remanentes.

Este comportamiento del ligante se traslada a la mezcla. La falta del mástico produce deformaciones permanentes bajo el tránsito debido al acomodamiento de la estructura pétreo de agregados gruesos. Si la rigidez del ligante no es suficiente, no es capaz de sujetar las partículas de agregado en su sitio y éstas pueden moverse compactando el esqueleto hacia una configuración más densa, pudiendo ocurrir exudaciones y deformaciones excesivas en la superficie.

Los sitios de la superficie del pavimento que presentan mayor vulnerabilidad a exudación y deformación plástica lógicamente se deben identificar en las zonas de mayor carga para mezclas colocadas que no están diseñadas para esas condiciones. Pero además de la magnitud de la carga que debe soportar la mezcla asfáltica colocada, es importante considerar si la carga es estática o dinámica. En casos en que la carga sea estática, se concentra la carga mayor tiempo en un mismo sitio, lo que genera que pueda presentar mayores deformaciones y exudación, como lo son el caso de paradas de autobuses o intersecciones donde constantemente se presentan esfuerzos adicionales por frenado. Por otro lado, se debe considerar que la velocidad del tránsito también es un factor a tomar en cuenta en los sitios más vulnerables a deformación y exudación debido a que a menor velocidad, mayor es la concentración de cargas respecto a sitios donde se desarrollan mayores velocidades de tránsito. Por este motivo es que suelen "alisarse" y deformarse con mayor rapidez los carriles de tránsito pesado y lento en carreteras de doble carril por sentido.

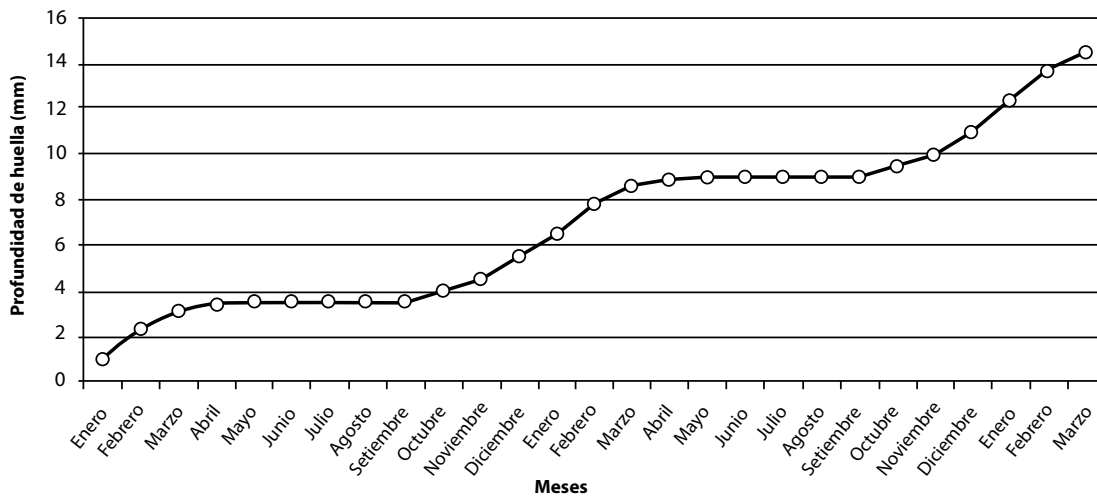


Figura 4: Acumulación de deformaciones permanentes en veranos sucesivos.  
Fuente: Deformaciones permanentes en mezclas asfálticas. Francisco Morera

## Consecuencias de la exudación

La exudación es considerada un tipo de falla de los pavimentos flexibles por diferentes metodologías (PCI, SIECA, entre otras), produciéndose un afloramiento de material bituminoso de la mezcla asfáltica a la superficie de pavimento formándose una película continua de ligante, creando una superficie brillante, resbaladiza y reflectora que usualmente es pegajosa. Se puede catalogar con niveles de severidad, hasta que la mancha ha ocurrido de forma extensa y gran cantidad de asfalto se pega a los zapatos y neumáticos. Estas manchas de asfalto, se vuelven resbaladizas en combinación con películas de agua, generando condiciones de tránsito peligrosas por el riesgo de derrapes. Por esto, es conocido que las mezclas inestables que tienden a deformarse o a exudar (flujo de asfalto a la superficie) presentan problemas graves de resistencia al deslizamiento, al disminuir la adherencia entre los neumáticos y la capa asfáltica de ruedo.

## Tratamientos de la exudación

En casos moderados y localizados de exudación se pueden aplicar tratamientos de arena o agregado compactado (precalentando si fuera necesario), de manera que genere una superficie rugosa que provea resistencia al deslizamiento.

En casos críticos es necesario aplicar tratamientos superficiales en toda la superficie, que renueve la rugosidad de la superficie, siempre y cuando no existan deformaciones considerables.

Sin embargo, al existir deformaciones y superficie lisa o exudada en gran parte de la superficie de ruedo, lo recomendable es aplicar un perfilado que elimine la mezcla inestable existente, dejando una superficie con una regularidad aceptable para luego colocar una capa de ruedo nueva con las condiciones requeridas de soporte, regularidad final y rugosidad.

## Referencias

- Thenoux, G. Carrillo, H. Análisis de casos de ahuellamiento en mezclas asfálticas. Universidad Católica de Chile. Centro de Ingeniería e Investigación Vial. 2002.
- Morea, Francisco. Deformaciones permanentes en mezclas asfálticas. Universidad Nacional de la Plata. 2011
- 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., 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.
- Harman, T., D'Angelo, J., Bukowski, J., Superpave Asphalt Mixture Design - Workshop Workbook, Federal Highway Administration, Washington, 2000.