

Pruebas adicionales a las mezclas asfálticas en el Ecuador. Una necesidad imperiosa.

Additional tests for asphalt mixtures in Ecuador. A critical need.

Ing. Rolando Vila Romaní, Ph.D

Laboratorio de Carreteras
Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Ecuador.
rolando.vila@cu.ucsg.edu.ec

Ing. Gustavo Patricio García Caputi

Laboratorio de Carreteras
Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Ecuador.
gustavo.garcia@cu.ucsg.edu.ec

Resumen

El control de calidad a las mezclas asfálticas en el Ecuador se hace mediante la verificación de que la mezcla fabricada conforme al diseño Marshall, cumple su composición y reproduce las características volumétricas y mecánicas (estabilidad Marshall y flujo) de la misma, además de alcanzar una adecuada compactación en obra.

El objetivo de este trabajo es demostrar la necesidad de pruebas adicionales a las mezclas asfálticas en el Ecuador para mejorar la efectividad de su control de calidad y el comportamiento en obra, a través de un estudio experimental de pruebas dinámicas sobre muestras procedentes de diferentes plantas, utilizando un equipo Nottingham Asphalt Tester (NAT).

Para ello, se analizaron mezclas asfálticas producidas por cuatro plantas cercanas a Guayaquil, con diferentes agregados minerales y similar tipo de asfalto, variando la compactación en grupos de briquetas con 35, 50 y 75 golpes/cara. A estos grupos se les determinaron las propiedades volumétricas básicas y se les realizaron tres tipos de pruebas dinámicas de desempeño con un equipo NAT: módulo de rigidez, compresión cíclica y fatiga.

Se concluye que respecto al número de muestras que cumplen con el diseño y con un nivel de compactación aceptable para la obra (puntos válidos), los módulos de rigidez obtenidos son bajos, incumpléndose en el 60% de los casos la exigencia considerada. En las pruebas de compresión cíclica se obtienen valores de deformación elevados en el 50% de los casos. Se confirma que la verificación de las propiedades mecánicas de desempeño en la etapa de diseño de mezcla es de suma importancia para asegurar un uso apropiado, vinculada a una compactación aceptable.

Palabras clave: Mezclas asfálticas. Módulo de rigidez. Deformación permanente. Fatiga.

Summary

The quality control in asphalt mixes in Ecuador is done by verifying if the mixture is under Marshall design, if it fulfills its composition and reproduces volumetric and mechanical characteristics (Marshall stability and flow), as well as achieving adequate compaction on site.

The purpose of this paper is to demonstrate the need for additional testing asphalt mixes in Ecuador to improve the effectiveness of its quality control and behavior at road work, through an experimental study of dynamic tests on samples from different plants, using equipment Nottingham Asphalt Tester (NAT).

For this, asphalt mixtures produced by four different plants near Guayaquil were analyzed. These asphalts mixtures had different mineral aggregates and similar asphalt type, varying compaction specimens groups of 35, 50 and 75 blows / face. Volumetric properties were determined for each group, and they were also tested with three types of performance dynamic tests using a NAT: stiffness modulus, cyclic compression and fatigue.

It is concluded that for the number of samples that meet the design and a level acceptable to the work compaction (valid points) obtained stiffness modules are low, non-conformities in 60% of cases the requirement concerned. In cyclic compression tests deformation values are obtained elevated in 50% of cases. The verification of the mechanical properties of performance in the design stage of mixing is critical to ensure its proper use, and this is also linked to an acceptable level of compaction.

Keywords: Asphalt mixtures. Stiffness modulus. Permanent deformation. Fatigue.

Introducción

La mezcla asfáltica en caliente para pavimentos de carreteras está compuesta por una combinación de agregados minerales y un cemento asfáltico, ambos con calidades muy particulares, cuyas proporciones en la mezcla más la efectividad del proceso constructivo definirán propiedades que pudiesen ser muy variables.

Tradicionalmente, los procedimientos para el control de la calidad (QC) y el aseguramiento de la calidad (QA) de la mezcla que se fabrica en planta en el Ecuador se limitan a la verificación de la composición de la mezcla y la comprobación de ciertos parámetros volumétricos y resistentes previstos en el diseño Marshall. Los parámetros volumétricos usuales son: densidad, porcentajes de vacíos con aire en la mezcla, de vacíos en el agregado mineral y de vacíos rellenos de asfalto. Los parámetros resistentes, relacionados específicamente con la deformación plástica, son la estabilidad Marshall y el flujo. A nivel de obra terminada, el aseguramiento y control

se concentra en la verificación de la densidad de campo y en el chequeo de los espesores de capa colocados.

De hecho, el sistema QC/QA actual se basa en el siguiente diagrama de bloques (Harvey et al, 1996), que se muestra en la Figura 1, donde se busca garantizar el cumplimiento de la fórmula de trabajo (FT) determinada para la mezcla asfáltica.

Pese a cumplirse usualmente con este tipo de control QC/QA, es frecuente ver en el país pavimentos fisurados o deformados a los pocos

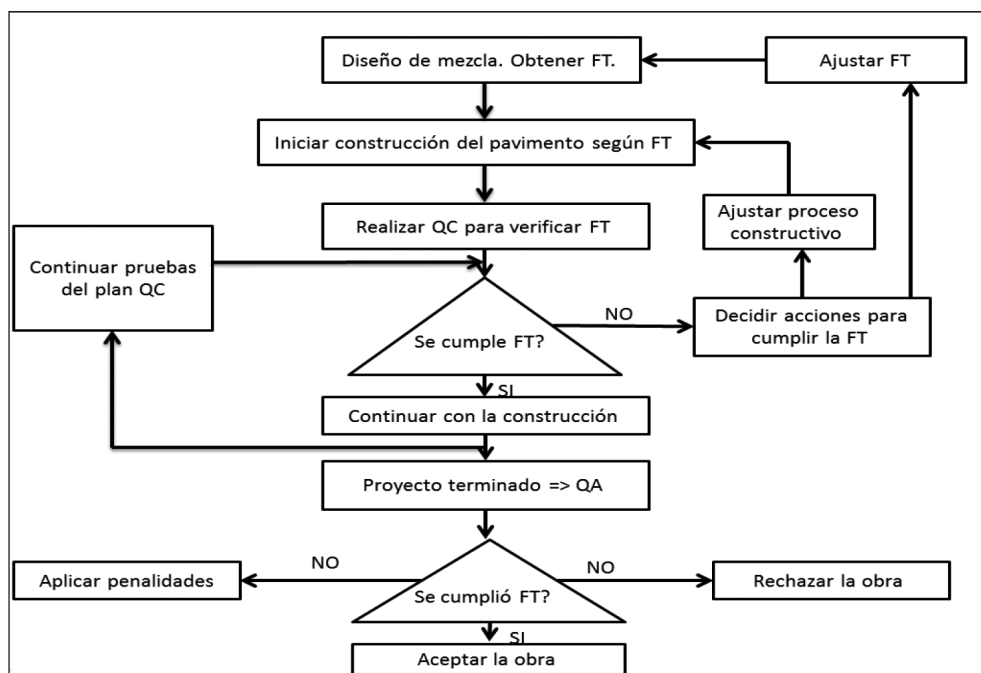


Figura 1. Sistema QC/QA existente

años de su construcción o rehabilitación, lo que demuestra la insuficiencia de este sistema que genera para su corrección una amplia inversión de recursos por parte del Estado. Por tanto existe la necesidad de considerar seriamente la aplicación de nuevas pruebas, para lo cual es importante el estudio teórico-práctico de los parámetros relacionados con éstas, así como las posibles exigencias a cumplirse en dichas pruebas, al menos de las que particularmente están acordes con los equipamientos existentes.

Un primer intento en llamar la atención sobre estos aspectos en el Ecuador fue la inclusión en las especificaciones técnicas publicadas en el año 2000 (MTO, 2000) el criterio de que para tráfico muy pesado las mezclas para capa de rodadura deben ser sometidas a un estudio detallado que incluya sus módulos de rigidez y la evaluación del comportamiento ante las deformaciones y la fatiga. En la práctica, esto no fue respetado y recién se está considerando seriamente este criterio.

Entre 1987 y 1993, el Programa Estratégico de Investigación en Carreteras, SHRP, de los E.E.U.U. dirigió una investigación conducente al desarrollo de nuevas especificaciones para materiales asfálticos, cuyo producto final fue el denominado sistema SUPERPAVE (Asphalt Institute, 1996).

Este sistema está constituido por 3 componentes básicos: (1) especificaciones para los ligantes asfálticos basadas en su desempeño, (2) un procedimiento de diseño de mezclas y (3) técnicas de análisis de mezclas para predecir su desempeño. Aunque los tres componentes fueron concebidos para aplicarse en forma conjunta, en general las especificaciones del ligante se implementaron primero, seguido posteriormente por el procedimiento de diseño de la mezcla. Las técnicas de análisis de mezcla sólo se han implementado de manera limitada para algunos proyectos experimentales u otras aplicaciones especiales (Mc Daniel, 2007), situación que se mantiene hasta el presente. Por este motivo, en muchos países es frecuente para el análisis de mezclas el empleo de pruebas de desempeño que no se corresponden precisamente con el SUPERPAVE.

El objetivo de este trabajo es demostrar la necesidad de pruebas adicionales a las mezclas asfálticas en el Ecuador para mejorar la efectividad de su control de calidad y el comportamiento en obra, a través de un estudio experimental de pruebas dinámicas sobre muestras procedentes de diferentes plantas, utilizando un equipo Nottingham Asphalt Tester (NAT).

Elementos sobre los mecanismos de destrucción frecuentes en las mezclas asfálticas

Existe una gran cantidad de información sobre los mecanismos de fallo de las mezclas asfálticas en pavimentos, así como de las pruebas para su estudio y control (NCAT, 2009), (Rondón et al, 2012). Solo se tratarán a continuación los que más inciden en las carreteras del Ecuador.

Deformación permanente

Este fenómeno se define como la deformación vertical permanente que se va acumulando en la capa asfáltica bajo el paso de las ruedas cargadas, causada por la densificación y por los movimientos laterales que generan las deformaciones de corte. La deformación plástica en el pavimento suele desarrollarse en los primeros años de explotación, apareciendo en forma de depresión longitudinal en la zona de paso de las llantas y algunas veces acompañado de resaltos a los lados. A este deterioro suele denominárselo también "ahuellamiento".

Los principales factores que contribuyen al ahuellamiento son: asfaltos blandos y/o en exceso, agregados minerales redondeados, granulometrías finas en la mezcla, mala compactación, tráfico pesado canalizado y presencia de altas temperaturas.

Las pruebas de laboratorio para su evaluación pueden categorizarse como:

- A. Pruebas empíricas:** Prueba Marshall, prueba Hveem, máquina giratoria del Cuerpo de Ingenieros e indicador de presión lateral.
- B. Pruebas de simulación:** Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA), ensayo en pista de Hamburgo, del LCPC, etc.
- C. Pruebas fundamentales:** Pruebas uniaxiales y triaxiales bajo carga monotónica (creep) o bajo cargas repetidas, ensayo de corte Superpave (SST: Superpave Shear Tester).

Fisuramiento por fatiga

Tradicionalmente, la fatiga se ha asociado a las flexiones de la capa asfáltica debido a las cargas, que generan deformaciones por tracción en la parte inferior de las mismas. A este tipo de fisuramiento se le denomina "*Bottom-up Fatigue Cracking*" (BUC). Bajo el tráfico estas fisuras se interconectan creando piezas pequeñas angulares parecidas a la piel de cocodrilo. Este tipo de fatiga está relacionada con las cargas o sobrecargas, con insuficiencias estructurales en el

pavimento (capa asfáltica muy delgada o bases débiles), con problemas de drenaje que permiten el debilitamiento de las capas de agregados no aglomerados y con deficiencias constructivas que provocan altas deflexiones en la vía.

En años más recientes se han estudiado fisuras de fatiga que comienzan en la superficie y se propagan hacia abajo. A este tipo de fisuramiento se le denomina "Top-down Cracking" (TDC). Los mecanismos que causan este tipo de grietas (NCHRP, 2002) son las tensiones y deformaciones por tracción en la superficie provocadas también por las cargas por rueda, los esfuerzos cortantes que ocurren en la superficie de la capa asfáltica causadas por las llantas radiales con alta presión de contacto cerca de los bordes y el severo envejecimiento de la mezcla asfáltica cerca de la superficie que provoca en ella una alta rigidez.

Como un criterio general se considera que, para pavimentos con capas asfálticas delgadas, el agrietamiento por fatiga comienza en la parte inferior de la capa (BUC), mientras que para pavimentos gruesos la fatiga comienza en la superficie (TDC).

Las principales pruebas de laboratorio que pueden realizarse para el control del fisuramiento por fatiga son:

- A. Pruebas empíricas:** Tracción indirecta con carga monotónica a cierta temperatura.
- B. Pruebas de simulación:** Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA).
- C. Pruebas fundamentales:** Flexión repetida simple o apoyada, tracción directa, tracción indirecta (diametral) bajo carga repetida, método de la energía disipada, fractura mecánica, prueba de tracción indirecta Superpave (IDT: Indirect Tensile Tester).

Se llama la atención a que ninguna de estas pruebas es utilizada típicamente en el diseño de una mezcla asfáltica, ni en los controles QC/QA convencionales.

Susceptibilidad a la humedad (daño por el agua)

Cuando un alto nivel de humedad existe en la superficie de una capa asfáltica construida con agregados de baja calidad, el tráfico puede provocar daños prematuros como peladuras y en último caso desmoronamientos, ahuellamientos o fisuras.

Existen tres mecanismos por los cuales la humedad puede afectar la integridad de la mezcla (Terrel

et al, 1994): la pérdida de cohesión (resistencia) de la película de asfalto, las fallas de la adhesión (ligadura) entre agregado - asfalto y la degradación o fractura de partículas individuales de agregados cuando se someten a la congelación.

Numerosas pruebas han sido desarrolladas para considerar el efecto del daño por el agua en una mezcla, algunas cualitativas, otras cuantitativas, pero mayormente empíricas. Éstas son:

- A. Pruebas empíricas:** Prueba de agua hirviendo, inmersión estática, prueba Lottman, prueba Tunnicliff - Root, prueba Lottman modificada (AASHTO T 283, aceptada por Superpave), inmersión - compresión, susceptibilidad al vapor de agua, prueba de hinchamiento y estabilidad Marshall retenida.
- B. Pruebas de simulación:** Ensayos en pista, prueba de adsorción neta y sistema de acondicionamiento ambiental.

Estudio a mezclas asfálticas con pruebas adicionales de desempeño

En la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, UCSG, existe un equipo Nottingham Asphalt Tester (NAT) modelo NU-10, que permite realizar varias pruebas reológicas. El NAT aplica las cargas mediante un sistema neumático con servo-control, midiéndose la fuerza aplicada por el transductor de la celda de carga. El equipo utiliza una computadora junto con un sistema digital de adquisición de datos y control de sistema que permite desarrollar las distintas pruebas y procesar la información a través de programas específicos. Con el NAT se pueden realizar diferentes tipos de pruebas: módulos de rigidez bajo deformación o carga controlada, compresión cíclica uniaxial sin confinamiento (creep dinámico) y pruebas de fatiga bajo dispositivo de tracción indirecta.

Para la realización de estas pruebas en general se consideran las metodologías dadas por el fabricante del equipo (Cooper, 2002), que coinciden con los del Comité Europeo de Normalización (CEN, 2000) respecto a la configuración de cargas y al sistema de medición y control; aunque, para el caso de la prueba de compresión cíclica uniaxial, la CEN establece cierto confinamiento de la muestra, ya que el plato de carga tiene un diámetro menor que el de la muestra cilíndrica a ensayar.

A continuación se muestran los resultados de un estudio desarrollado en la UCSG (Parrales, 2013), donde se realizaron pruebas adicionales con el NAT a mezclas asfálticas producidas en cuatro diferentes

Planta	Tipo de Material	Tipo de Roca	Dosificación
A	Piedra 12.5 mm	Andesita	15%
	Piedra 9.5 mm	Andesita	65%
	Arena	Arena de río	20%
	Asfalto AC-20	-	7,0%
B	Piedra 19.1 mm	Basalto	20%
	Piedra 9.5 mm	Basalto	60%
	Arena fina	Arena de banco	20%
	Asfalto AC-20	-	6,0%
C	Piedra 12.5 mm	Aluvial	32%
	Piedra 9.5 mm	Aluvial	45%
	Arena	Arena de río	23%
	Asfalto AC-20	-	5,7%
D	Piedra 12.5 mm	Caliza	40%
	Piedra 9.5 mm	Caliza	40%
	Arena	Arena de río	20%
	Asfalto AC-20	-	6,2%

Tabla 1. Dosificaciones de las mezclas estudiadas.

plantas cercanas a la ciudad de Guayaquil, con diferentes tipos de agregados y asfalto AC-20. Todas las mezclas son densas con granulometrías continuas de tamaño máximo nominal 12.5 mm. En la Tabla 1 se pueden ver las dosificaciones de dichas mezclas según los diseños.

Las mezclas de hecho cumplen con los criterios QC actuales, establecidos para mezclas compactadas con energía del 100%, es decir, 75 golpes/cara a las briquetas tipo Marshall, golpes correspondientes al tráfico pesado. Los parámetros volumétricos obtenidos se muestran en la Tabla 2 y los resistentes en la Tabla 3.

PLANTA	RICE	GRAVEDAD ESPECÍFICA	% VACÍOS
A	2,217	2,140	3,50
B	2,541	2,431	4,34
C	2,518	2,410	4,28
D	2,252	2,143	4,84
EXIGENCIA	XXX	XXX	3 - 5

Tabla 2. Parámetros volumétricos del QC establecido.

Para desarrollar este estudio, de cada planta se hicieron 3 grupos de 5 briquetas. Cada uno de los grupos por planta se compactó con una energía diferente, aplicando 35, 50 y 75 golpes/cara. Finalmente, se tuvieron 12 grupos con un total de 60 briquetas.

PLANTA	ESTABILIDAD MARSHALL (KN)	FLUJO (mm)
A	11,3	2,5
B	12,7	2,5
C	11,9	2,8
D	10,1	3,0
EXIGENCIA	> 8	2,0 - 3,6

Tabla 3. Parámetros resistentes del QC establecido.

Las pruebas de laboratorio comprendieron una prueba Rice por cada tipo de mezcla, la medición de las densidades de todas la briquetas, el cálculo del porcentaje de vacíos en las mismas y la determinación de las relaciones correspondientes con las propiedades reológicas evaluadas, que fueron: dos pruebas de módulos de rigidez bajo deformación controlada, una prueba de compresión cíclica (a una de las briquetas anteriores) y prueba de fatiga a tres briquetas, con ensayo previo de módulo de rigidez bajo carga controlada.

Porcentaje de vacíos

En Ecuador la exigencia mínima de compactación en obra admitida para mezclas asfálticas es de 97% de la densidad de las briquetas fabricadas en laboratorio con la mezcla producida en planta (MTO, 2002), lo que significa que, en obra y para capas de rodadura, se admitan porcentajes máximos de vacíos en la mezcla entre 6 y 8%.

En la Tabla 4 se presentan los porcentajes de vacíos promedios obtenidos para las diferentes compactaciones, así como los porcentajes máximos admitidos en obra, que se calculan sumándole 3% a los vacíos obtenidos para 75 golpes/cara (100% de la energía de compactación). Puede observarse que los únicos casos, donde los vacíos superan los máximos admitidos en obra, corresponden a la Planta A y D con 35 golpes/cara. Esto significa que se tienen 10 puntos de comparación válidos.

Porcentaje de vacíos

Planta	Compactación (golpes/cara)			% máximo en obra
	35	50	75	
A	7,20%	5,24%	3,50%	6,50%
B	6,44%	5,15%	4,34%	7,34%
C	6,09%	5,31%	4,28%	7,28%
D	8,98%	6,44%	4,84%	7,84%

Tabla 4. Porcentajes de vacíos promedios y máximo admitido en obra para las diferentes plantas.

Módulo de rigidez

Se muestra en la Figura 2 la variación entre los módulos de rigidez bajo deformación controlada respecto al porcentaje de vacíos en la mezcla. El módulo de rigidez de la mezcla indica la capacidad de distribuir la carga y proteger las capas subyacentes por lo que es una propiedad

dominante en el comportamiento del pavimento. Su evaluación en el equipo NAT se realizó a la temperatura de 20°C, empleando un nivel de deformación controlada de 5 micrones y ondas sinusoidales con intervalo de tiempo, entre el inicio del pulso de carga y el punto en el que la carga es máxima, de 0,12 segundos.

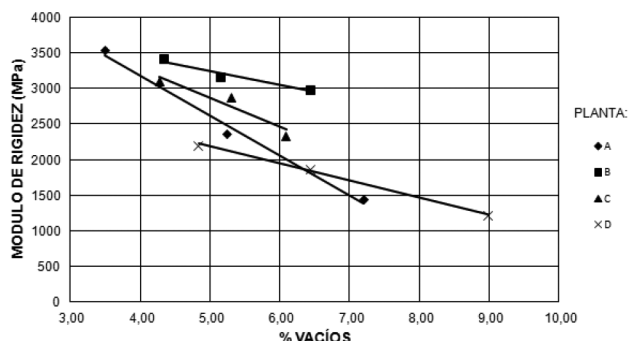


Figura 2. Relación entre el módulo de rigidez y el porcentaje de vacíos.

Puede observarse en dicha figura, que en todas las mezclas de las distintas plantas al aumentar el porcentaje de vacíos disminuye el módulo de rigidez, pero con diferente razón de variación. La mezcla de la Planta A es la de mayor razón de variación (comportamiento más perjudicial), seguida por la Planta C.

De acuerdo a nuestras experiencias, las mezclas asfálticas debidamente compactadas deben originar módulos, bajo las condiciones de ensayo empleadas, mayores a 3000 MPa. Entre 3000 y 2000 MPa el comportamiento puede ser variable. Por debajo de 2000 MPa la capacidad estructural de la mezcla es inadecuada.

Considerando 3000 MPa como un valor mínimo, se tiene que 6 de los 10 valores promedios no cumplirían, lo que corresponde al 60% de los puntos válidos. Incluso, si la referencia fuese de 2500 MPa entonces 4 valores no cumplirían, es decir, el 40%. En general, los puntos que cumplen son los correspondientes a 75 golpes/cara con la excepción de la Planta D. Vale destacar que en la normativa para diseño de pavimentos empleada en el Ecuador (AASHTO, 1993) el módulo de diseño usual para mezclas asfálticas es aproximadamente 3000 MPa, el que sería fácil de incumplir en obra.

Porcentaje de deformación permanente

En la Figura 3 puede observarse la incidencia del porcentaje de vacíos en el nivel de deformación de las briquetas determinado mediante una prueba de compresión cíclica uniaxial, para estimar el comportamiento ante las deformaciones plásticas.

Un ciclo de carga consiste en la aplicación de una tensión durante 1 segundo seguido por 1 segundo de descanso, con ondas cuadráticas. El ensayo se realizó a una temperatura de 40°C, con una magnitud de carga de 100 kPa, midiendo las deformaciones provocadas por 3600 repeticiones de dicha carga.

En la Figura 3 se aprecia que al aumentar el porcentaje de vacíos se incrementa el porcentaje de deformación pero con diferente razón de variación según las mezclas ensayadas. La mezcla proveniente de la Planta C es la de mayor razón de variación (comportamiento más perjudicial), seguida por la Planta A.

Según los criterios británicos (Cooper, 2002) bajo estas condiciones de ensayo una mezcla con un buen comportamiento a la deformación tendrá valores por debajo de 1%. Con deformaciones superiores a 2% la mezcla tendrá asegurado un mal comportamiento y entre 1 y 2% existe incertidumbre en el desempeño respecto a las deformaciones. En una investigación realizada en la UCSG (Vila, 2013), se comprobó que existe una buena relación entre la exigencia del 1% de deformación en la prueba aplicada con el adecuado comportamiento ante el ahuellamiento en el sitio. En el 93,5% de los casos dicha relación se cumplió.

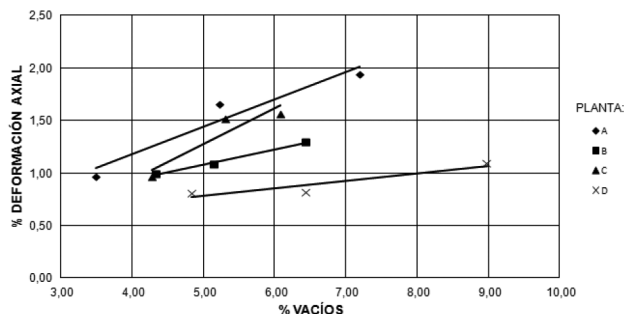


Figura 3. Relación entre la deformación y el porcentaje de vacíos.

Puede apreciarse que considerando 1.0% de deformación como valor máximo, se tiene que 5 de los 10 valores obtenidos no cumplirían, lo que corresponde al 50% de los puntos válidos. Los puntos que mayoritariamente cumplen son los que corresponden al 100% de la energía de compactación, es decir, 75 golpes/cara. El mejor comportamiento ante las deformaciones lo ofrece la mezcla de la Planta D.

Fatiga

La prueba de fatiga se realizó por el método diametral o de tracción indirecta, aplicado a la briketa un esfuerzo controlado. Previamente,

tiene que determinarse el módulo de rigidez bajo el mismo esfuerzo. Con la prueba de fatiga se obtiene el número de aplicaciones de carga requeridas para alcanzar una deformación máxima de 5 mm. El tiempo de carga es de 120 milisegundos y la temperatura para el estudio fue de 20°C. Los resultados suelen representarse en gráficas log-log, relacionando el número de repeticiones para el fallo en el eje de las abscisas con los esfuerzos o las deformaciones en el eje de las ordenadas. Ver en la Figura 4 el resultado correspondiente a la Planta B con diferentes energías de compactación.

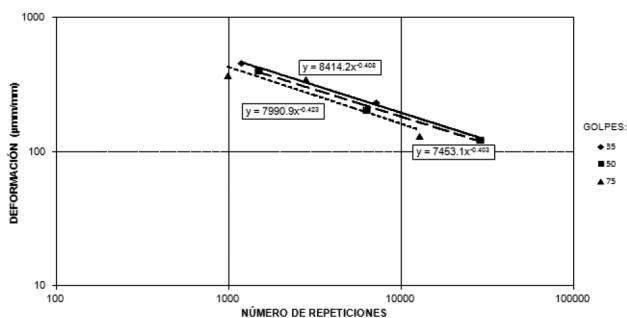


Figura 4. Leyes de fatiga de mezclas de la Planta B variando los golpes/cara.

Puede observarse que para un mismo nivel de deformación en la parte inferior de la capa asfáltica la muestra más rígida nos ofrece un menor número de repeticiones para el fallo. Sin embargo, esta consideración hay que analizarla de manera más profunda, ya que un mayor módulo de rigidez conduce a una menor deformación unitaria en la parte inferior de la capa asfáltica (y el consiguiente aumento en las repeticiones antes de su fatiga); sobre todo, cuando la estructura considera un espesor grande para la capa asfáltica. Pero cuando la capa asfáltica tiene espesores delgados, la deformación unitaria está determinada, principalmente, por las características estructurales de la sub-rasante y de las capas de soporte (mejoramiento, sub-base y base), convirtiéndose el alto módulo de rigidez en una característica indeseable por la disminución en la capacidad de resistir repeticiones de la deformación sin fisurarse.

Vale aclarar que las repeticiones mostradas son las obtenidas en las pruebas de laboratorio. En una vía las repeticiones suelen ser entre 10 y 25 veces mayores a las de laboratorio por las características propias del tráfico y por los diversos tiempos de propagación de las fisuras desde la parte inferior de la capa asfáltica hasta su superficie.

En la Figura 5 se muestran las leyes de fatiga para las diferentes plantas. Puede apreciarse que la Planta A muestra una mayor rigidez que las restantes.

En general, el análisis de la fatiga es más engorroso a nivel de laboratorio que la evaluación de otras características, aunque la información que genera es de suma importancia para los diseños y análisis de pavimentos.

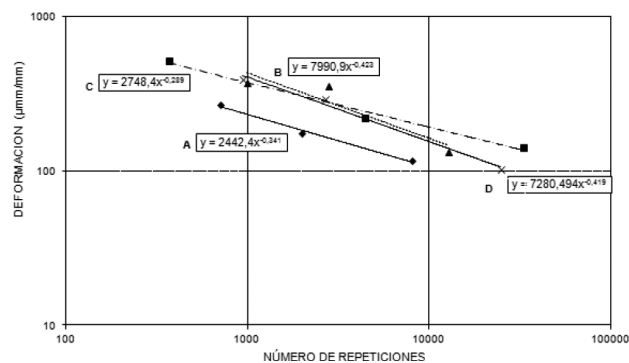


Figura 5. Leyes de fatiga para las diferentes plantas con 75 golpes/cara.

Daño por el agua

Si bien este mecanismo de destrucción no fue tratado en el estudio experimental, a nuestro juicio el control del mismo es insuficiente y casi se reduce a la ejecución de la prueba de peladura en agua hirviendo, ASTM D3625, de apreciación visual. En menor medida y como complemento para algunos diseños de mezcla, se aplica el procedimiento ASTM D 4867M-96, considerado en las especificaciones técnicas vigentes (MTOP, 2002), empleando la prueba de tracción indirecta en briquetas con y sin inmersión en agua.

Conclusiones

- Haber alcanzado en tres de los cuatro juegos de briquetas confeccionadas con solo 35 golpes/cara porcentajes de huecos entre 6 y 8%, valores permitidos en obra, alerta de por si sobre una baja rigidez en las mezclas producidas. Esto puede estar motivado por el alto contenido de arenas naturales empleado, cuyo valor aproximado fue de 20%.
- Los módulos de rigidez evaluados a 20°C y bajo deformación controlada en los 10 puntos de comparación válidos, o sea, que cumplen los criterios Marshall y poseen un nivel de compactación aceptable para la obra, son bajos. Considerando 3000 MPa como un valor mínimo, el 60% de los puntos de comparación no cumpliría. Si la referencia fuese 2500 MPa entonces incumpliría el 40%.

Este hecho es preocupante ya que el módulo de diseño para mezclas asfálticas en la normativa AASHTO 93, que se emplea en el Ecuador para diseño de pavimentos nuevos o rehabilitaciones,

es aproximadamente 3000 MPa, valor que puede incumplirse fácilmente en obra de acuerdo a estos resultados, lo que traería aparejado otras implicaciones negativas respecto al comportamiento de la mezcla y de todo el pavimento.

- Los porcentajes de deformación evaluados con la prueba de compresión cíclica a 40°C son altos. Considerando 1% de deformación como valor máximo, el 50% de los puntos de comparación no cumpliría, lo que alerta sobre la tendencia que tendrán estas mezclas a presentar ahuellamientos en obra.
- Las pruebas de fatiga permiten obtener los diferentes comportamientos o leyes de fatiga (deformaciones versus repeticiones) al variar el número de golpes empleado para cada mezcla de las distintas plantas, así como los comportamientos de las mezclas de las diferentes plantas en su conjunto para un número de golpes establecido. En el estudio, para mezclas con 75 golpes/cara la Planta A presenta mayor rigidez y un comportamiento más alejado de las restantes. El análisis de la fatiga, además de las pruebas intrínsecas de laboratorio para determinar las leyes de fatiga, requiere de los resultados del análisis tenso-deformacional de la estructura del pavimento en particular donde se colocará dicha mezcla. Se considera necesario investigar un método de prueba básico que permita rechazar mezclas con un potencial comportamiento malo a la fatiga, de manera más sencilla y rápida.
- El cumplimiento de los requisitos volumétricos y mecánicos del método Marshall para diseño de mezclas asfálticas no garantiza que una mezcla tenga propiedades reológicas (rigidez, resistencia a la deformación permanente y resistencia a la fatiga) adecuadas para el buen desempeño de la misma en el ambiente en el que le toca funcionar. Por esta razón, es recomendable que la mezcla diseñada por el método Marshall sea verificada empleando los ensayos de comportamiento dinámico hasta ajustarla a los valores más apropiados de rigidez, resistencia a deformaciones plásticas y resistencia a fatiga, según la condición de tráfico y soporte en la que le toca desempeñarse.

Con estos pasos previos el control de campo debe concentrarse en la uniformidad de la producción en cuanto a su composición y compactación en obra, y puede tener revisiones, a intervalos adecuados, de que esas propiedades reológicas se están dando en las capas de mezcla colocadas en obra.

Referencias Bibliográficas

- AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). (1993). *Guide for the Design of Pavement Structures*. Washington, D.C.
- Asphalt Institute. (1996). *Antecedentes del Diseño y Análisis de Mezclas Asfálticas de SUPERPAVE*. Traducción del I.P.C. Lexington, KY.
- European Committee of Standardization. (2001). *CEN 12697. Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalts*. Part 25-26. English version. Brussels.
- Cooper Research Technology Limited. (2002). *NU-10 & NU-5. Operation & Maintenance Manual*. United Kingdom.
- Harvey, J.T.; Monismith, C.L.; Vallerger, B.A. (1996). Use of SHRP - Developed Testing in QC/QA Programs on Asphalt Concrete for Highway and Airfield Pavements. *ASTM. STP 1299*. U.S.A. pp. 94-108.
- McDaniel, R.S. (2007). Current Superpave Mix Design Practice. *Transportation Research Circular Number E-C 124*. T.R.B. pp. 2-11.
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. (2000). *Especificaciones Técnicas para la Construcción de Carreteras y Puentes*. Quito.
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. (2002). *Especificaciones Técnicas para la Construcción de Carreteras y Puentes*. Quito.
- NCAT (National Center for Asphalt Technology). (2009). *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction*. Third Edition. Auburn University.
- NCHRP (National Cooperative Highway Research Program). (2002). *Guide for the Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures*. ERES-A.S.U. Arizona.
- Parrales, R.R. (2013). *Consideraciones para el Empleo de Pruebas Reológicas en el Control de Calidad a Mezclas Asfálticas*. Trabajo de Titulación. Facultad de Ingeniería. U.C.S.G. Guayaquil.
- Rondón, H.A.; Reyes, F.A.; González, L.A.; Vázquez S. E. (2012). *Ahuellamiento y fatiga en mezclas asfálticas*. Bogotá - Colombia. Editorial UD. Primera
- Terrel, R.L.; S. Al-Swailmi. (1994). *Water Sensitivity of Asphalt-Aggregate Mixes: Test Selection*. SHRP-A-403. National Research Council. U.S.A.
- Vila, R. (2013). Deformaciones plásticas en la capa asfáltica de una vía primaria en la región costa del Ecuador. *Revista Alternativas*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. (No. 18): 3-9.