

ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DRENANTES, ACÚSTICAS Y MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS

Vanesa María Kolodziej^(a) y Glicério Trichês ^(b)

*^(a) Master- Programa de Pos-graduación en “Engenharia Civil”, de la “Universidade Federal de Santa Catarina” - UFSC, Florianópolis, Brasil. CEP: 88040-401, Rua Desembargador Vitor Lima 410 - Cond. Manhattan II, Bl. A2, Apto 201. Tel: (+55) 48 9843-9195.
vanesa.kolodziej@posgrad.ufsc.br*

^(b) Profesor Dr. y Coordinador del programa de Pos-graduación en “Engenharia Civil”, de la “Universidade Federal de Santa Catarina”- UFSC, Florianópolis, Brasil. CEP: 88040-900, Caixa-postal: 476, Rua João Pio Duarte, s.n., Córrego Grande. Tel: (+55) 48 37212398/2397. glicerio.triches@ufsc.br

RESUMEN

Las superficies de rodamiento drenantes constituyen una solución a la demanda actual de carreteras que ofrezcan calidad, seguridad y confort a los usuarios. Este trabajo de investigación tiene como objetivo obtener una mezcla drenante que presente un equilibrio entre las propiedades de permeabilidad, acústicas y de resistencia mecánica mediante la realización de ensayos en laboratorio de mezclas compuestas por dos granulometrías diferentes con un diámetro máximo de 9,5 mm elegidas en base a trabajos y experiencias internacionales y utilizando un ligante asfáltico modificado con polímero SBS. Una de las granulometrías corresponde a estudios realizados en Brasil (G1) y la otra en base a las mezclas discontinuas utilizadas en España y Argentina (G2). Primeramente se evalúan los agregados y el ligante y se moldean probetas utilizando el compactador giratorio Superpave. Para la obtención del porcentaje de ligante óptimo se analizan los vacíos esperados, la resistencia al desgaste mediante el ensayo Cántabro y se complementa con el ensayo Lottman de humedad inducida. La permeabilidad de las mezclas es determinada con el permeámetro LCS y la absorción sonora es medida en probetas utilizando un tubo de impedancia. Del análisis de resultados, todas las mezclas cumplieron con los criterios de una buena superficie drenante con porcentajes de vacíos entre 18 y 25 %, disgregación inferior a 20%, una resistencia a tracción retenida por humedad inducida menor a 80%, permeabilidad con tiempos de escurrimiento menores a 30 segundos y coeficientes de absorción sonora elevados.

INTRODUCCIÓN

La presencia de agua en las superficies de pavimento afecta negativamente la seguridad vial provocando mala visibilidad a los conductores. A medida que los neumáticos de un vehículo circulan por la superficie mojada recogen el agua y la expulsan en forma de pequeñas gotas en el aire que causan problemas de visibilidad a los conductores adyacentes y el riesgo de que ocurran accidentes de tráfico (Rungruangvirojn y Kanitpong, 2010).

Por otra parte, la contaminación provocada por el ruido del tráfico ha sido siempre una preocupación para los residentes en zonas urbanas o para las personas que viven al lado de las carreteras (Rasmussen *et al.*, 2007). El ruido tiene efectos nocivos en la salud de las personas entre los cuales puede mencionarse deficiencia auditiva, inteligibilidad del habla, alteraciones del sueño, efecto sobre las funciones fisiológicas, dolencia mental, disminución del desempeño e irritación (WHO, 2011).

Estos problemas que afectan a la seguridad vial han llevado a desarrollar mezclas asfálticas con características diferentes a las ya conocidas. Estas mezclas tienen diámetros máximos pequeños y con porcentajes de vacíos interconectados que permiten el paso del agua a través de la misma favoreciendo su eliminación de la superficie del camino y permitiendo al mismo tiempo absorber el ruido provocado por el contacto entre el neumático y el pavimento.

RUIDO NEUMÁTICO/PAVIMENTO Y ABSORCIÓN SONORA

Las fuentes del ruido generado por la circulación de un vehículo por la carretera pueden ser clasificadas en: ruido provocado por el motor, ruido aerodinámico y ruido neumático/pavimento (Rasmussen *et al.*, 2007). Según Bernhard y Wayson (2004), el ruido provocado por el contacto entre el neumático y el pavimento supera el ruido del motor y el

ruido aerodinámico para vehículos livianos y velocidades mayores a 50 km/h. Los mecanismos de generación del ruido neumático/pavimento pueden ser divididos en mecanismos de generación mecánica (contacto e impactos entre la rueda y la superficie de rodamiento) y mecanismos de generación aerodinámica (movimiento del aire entre la rueda y el revestimiento) (Sandberg e Ejsmont, 2002).

La absorción sonora de una superficie representa la capacidad de no reflejar la energía acústica incidente. La absorción sonora de una superficie de pavimento es fuertemente dependiente de la frecuencia acústica de la onda sonora incidente (Fehrl, 2006). La relación entre la energía acústica incidente y la energía acústica absorbida es definida como el coeficiente de absorción sonora y puede variar de 0 a 1 (Gerges y Arenas, 2010). La porosidad de una superficie es importante en la absorción sonora porque al aumentar la cantidad de vacíos en la mezcla, aumenta la absorción. El aumento de vacíos reduce la compresión y expansión del aire que está preso debajo del neumático reduciendo el ruido generado por el mecanismo aerodinámico (Fehrl, 2006). Por ese motivo es recomendada la utilización de mezclas abiertas como superficie de rodamiento para disminuir el ruido.

PRESENCIA DE AGUA EN EL PAVIMENTO

Cuando un vehículo circula por un pavimento que tiene una lámina de agua sobre la superficie se puede producir “hidroplaneo”. El “hidroplaneo” es uno de los principales factores que causan accidentes de tránsito. Este fenómeno ocurre cuando el neumático pierde el contacto con el pavimento debido a la existencia de una lámina de agua y se pierde el control del vehículo (Meurer Filho, 2001; Oliveira, 2003). Los pavimentos denominados drenantes son mezclas abiertas con un gran porcentaje de vacíos interconectados que permiten la filtración del agua y por lo tanto ayudan a eliminar la presencia de esa lámina de agua de la superficie.

MATERIALES UTILIZADOS

Ligante Asfáltico

La tendencia mundial para la elaboración de las misturas abiertas es la utilización de ligantes modificados con polímeros, neumáticos reciclados o aditivos para mejorar la durabilidad de la mezcla con mayores espesores de la película asfáltica envolviendo los agregados. Para el desarrollo del presente trabajo fue utilizado un ligante asfáltico modificado con un polímero de tipo elastómero SBS. As características de este material son presentadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Características del ligante

Ensayo	Norma	Resultado
Penetración a 25°C (0,1 mm)	DNIT 155/2010-ME	52,4
Punto de Ablandamiento (°C)	DNIT 131/2010-ME	69,5
Recuperación elástica (%)	ABNT NBR 15086:2006	86
Viscosidad Brookfield a 135°C P	ABNT NBR 15184:2004	22,12
Viscosidad Brookfield a 150°C P	ABNT NBR 15184:2004	9,70
Viscosidad Brookfield a 177°C P	ABNT NBR 15184:2004	3,0

Agregados

Generalmente los agregados utilizados para mezclas abiertas deben formar un esqueleto granular lo suficientemente fuerte para proveer resistencia. Para caracterizar los agregados fueron realizados ensayos de resistencia al desgaste o ensayo de Los Ángeles, de índice de forma, de durabilidad e de adhesividad con el ligante asfáltico. Los resultados de estos ensayos están visibles en la Tabla 2.

Tabla 2. Características del agregado

Ensayo	Norma	Resultado
Los Ángeles	DNER-ME 035/98	21,47 %
Durabilidad	DNER-ME 089/94	2,8 %
Cubicidad	DNER-ME 081/98	91%
Adhesividad	DNER-ME 078/94	0,3 %

Con el ensayo de adhesividad se comprobó la necesidad de utilizar un aditivo mejorador en una proporción de 0,3% del ligante asfáltico.

GRANULOMETRIAS SELECCIONADAS

Fueron seleccionadas dos granulometrías con diámetros máximos de agregado de 9,5 mm para mejorar la resistencia a disgregación de la mezcla y disminuir el ruido provocado por el impacto entre el neumático y el pavimento al circular un vehículo por la carretera. Las granulometrías seleccionadas presentan una discontinuidad granulométrica acentuada en los tamaños intermedios, lo que aumenta la presencia de vacíos interconectados dentro de la misma.

La granulometría G1 elegida es la utilizada previamente en el estudio realizado por Guimarães (2012) en Brasil en el cual la mezcla demostró un buen desempeño con respecto a la resistencia a la disgregación y la permeabilidad. La granulometría G2 fue seleccionada en base a las granulometrías discontinuas utilizadas en España y Argentina (CPA, 2010). Este tipo de mezcla presenta adecuadas condiciones de resistencia mecánica, macrotextura, resistencia al deslizamiento y propiedades fono absorbentes. En la Tabla 3 y la Tabla 4 están representadas las dos granulometrías seleccionadas G1 y G2.

Tabla 3. Granulometria G1

Tamices (mm)	G1
	% Pasante
9,52	100
6,30	43,07
4,75	12,51
2,36	12,51
1,18	12,51
0,60	12,51
0,30	12,51
0,15	7,14
0,075	4,08

Tabla 4. Granulometría G2

Tamices (mm)	G2
	% Pasante
9,52	100
6,30	70,00
4,75	20,00
2,36	20,00
0,60	13,00
0,075	6,00

MÉTODO DEL TRABAJO

Con el objetivo de determinar las propiedades de durabilidad, absorción sonora y permeabilidad de las dos mezclas con las granulometrías presentadas en las Tablas 3 y 4 y con ligante modificado con polímero SBS fueron realizados ensayos en el laboratorio que involucraron la determinación del volumen de vacíos, vacíos interconectados, disgregación Cántabro, resistencia a la humedad y absorción sonora con un tubo de impedancia en probetas moldeadas con el Compactador Giratorio Superpave. La permeabilidad fue medida con el permeámetro LCS sobre placas moldeadas en la mesa compactadora LCPC.

Selección del porcentaje de ligante óptimo

Son propuestos para evaluación cuatro porcentajes de ligante asfáltico que son los siguientes en función de experiencias y trabajos anteriores: 4,5%, 5,0%, 5,5% y 6,0%. Fueron elaboradas tres probetas para cada porcentaje de ligante y para cada mezcla G1 y G2 totalizando 24 probetas. Las probetas de 100 mm de diámetro y 63,5 mm de altura fueron compactadas con el Compactador Giratorio Superpave con 50 giros, 600 kPa de presión, un ángulo de giro de 1,25° y 30 rpm.

Las recomendaciones usuales para mezclas porosas para capas de rodadura establecen los siguientes valores: un volumen de vacíos mayor a 18%, vacíos interconectados mayores a 10%, y un valor de desgaste de la mezcla por el Ensayo Cántabro menor a 20%. Se realizaron los ensayos especificados para cada probeta para cada porcentaje de ligante y para cada mezcla G1 y G2 y se determinó para qué porcentaje de ligante se cumple con las exigencias establecidas.

El volumen de vacíos de cada probeta se obtuvo a partir de la masa específica máxima medida G_{mm} (norma AASHTO T 209) y la densidad aparente G_{mb} . La masa específica aparente fue determinada según el método descrito en la norma DNER-ME 117/94 con la utilización de parafina y cinta adhesiva por ser mezclas abiertas. El volumen de vacíos fue calculado con la ecuación (1).

$$V_V = \left(\frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) \times 100 \quad (1)$$

El porcentaje de vacíos interconectados en las mezclas se determinó siguiendo el procedimiento establecido en la norma francesa AFNOR-NF-P-98-254-2. Fue colocada agua por la superficie superior de las probetas hasta mantener una lámina constante durante diez

minutos mientras las caras inferiores y las laterales se impermeabilizaron con cinta adhesiva y parafina. Seguidamente se midió la cantidad de agua que penetró en la probeta.

El ensayo Cántabro simula en laboratorio la acción abrasiva del tránsito y se aplica a las mezclas bituminosas fabricadas en caliente y de granulometría abierta. El procedimiento seguido fue el especificado en la norma brasilera DNER-ME 383/99. El ensayo fue realizado a una temperatura de 25°C permitiendo valorar indirectamente la cohesión y trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tránsito. La fórmula (2) fue utilizada para determinar la disgregación de cada probeta.

$$D = \left(\frac{P_i - P_f}{P_i} \right) \times 100 \quad (2)$$

Donde D es el desgaste expreso en porcentaje (%), P_i es el peso antes del ensayo de la probeta y P_f es el peso después del ensayo.

Daño por la humedad inducida

Luego de seleccionar el porcentaje de ligante óptimo, se determina la susceptibilidad a la humedad de las mezclas por medio del método descrito en la norma AASHTO T 283 con algunas modificaciones como se especifica en la norma ASTM D 7064. Las modificaciones son las siguientes: las probetas son compactadas con 50 giros en el compactador Giratorio Superpave, un vacío de 660 mmHg es aplicado durante diez minutos y las probetas se mantienen sumergidas en agua durante el proceso de congelamiento y descongelamiento. En lugar de 5 ciclos de congelamiento/descongelamiento, es aplicado sólo un ciclo. Tres probetas fueron expuestas al condicionamiento y tres sirvieron de control sin ser condicionadas para cada mezcla. La sensibilidad al efecto del agua fue evaluada por la relación entre la resistencia a tracción promedio de los cuerpos de prueba condicionados y la resistencia a tracción promedio de los cuerpos de prueba de control. Esta relación debe ser mayor a 80%.

Permeabilidad

La permeabilidad fue medida sobre placas compactadas en la mesa LCPC con un permeámetro de carga variable LCS siguiendo la norma NLT 327/00 - Permeabilidad in situ de pavimentos drenantes con el Permeámetro LCS. El ensayo consiste en medir el tiempo que demora una cierta cantidad de agua en evacuarse del tubo del permeámetro pasando a través de dos marcas y filtrándose en la mezcla. Si bien este método fue diseñado para medir la permeabilidad in situ de las mezclas drenantes, este permeámetro es utilizado también en laboratorio. El coeficiente de permeabilidad de las mezclas se calculó con la ecuación (3).

$$\ln K = 7,624 - 1,348 \ln T \quad (3)$$

Donde K es el coeficiente de permeabilidad en $\text{cm/s} \cdot 10^{-2}$ y T es el tiempo de evacuación en segundos (s).

Absorción Sonora

La absorción sonora fue medida en probetas moldeadas con el Compactador Giratorio Superpave utilizando un tubo de impedancia de diámetro de 10 cm. El tubo de impedancia

también llamado de aparato de onda estacionaria fue utilizado para medir el coeficiente de absorción sonora de las muestras según el método indicado en la norma ISO 10534-2:1998. El coeficiente medido varía de 0 a 1 y la técnica de medición consistió en excitar el tubo con un ruido blanco y medir la presión sonora en el interior en dos posiciones preestablecidas utilizando dos micrófonos. Las señales son procesadas con un analizador digital de frecuencias por medio del cual se determina la curva de absorción sonora en función de la frecuencia. El alto parlante ubicado en un extremo del tubo de impedancia genera ondas estacionarias aleatorias que se propagan dentro del tubo como ondas planas excitadas por tonos puros debajo de la frecuencia de corte que se define como muestra la ecuación (4).

$$f_c = \frac{1,84 \times c}{\pi \times d} \quad (4)$$

El intervalo de frecuencias en las cuales son analizados los resultados obtenidos de las mediciones es definido en función de la separación entre los dos micrófonos en el tubo (Ecuación 5).

$$\frac{0,1c}{2s} < f < \frac{0,8c}{2s} \quad (5)$$

PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Volumen de vacíos

En la Figura 1 (a) y 1 (b) están representados los resultados de la determinación del volumen de vacíos de las tres probetas fabricadas para cada porcentaje de ligante y para las granulometrías G1 y G2, respectivamente. Como puede ser visto, el volumen de vacíos disminuye con el aumento de la cantidad de ligante asfáltico para las dos granulometrías estudiadas. Todas las muestras tuvieron un volumen de vacíos mayor a 18%, que es el mínimo requerido para mezclas asfálticas drenantes.

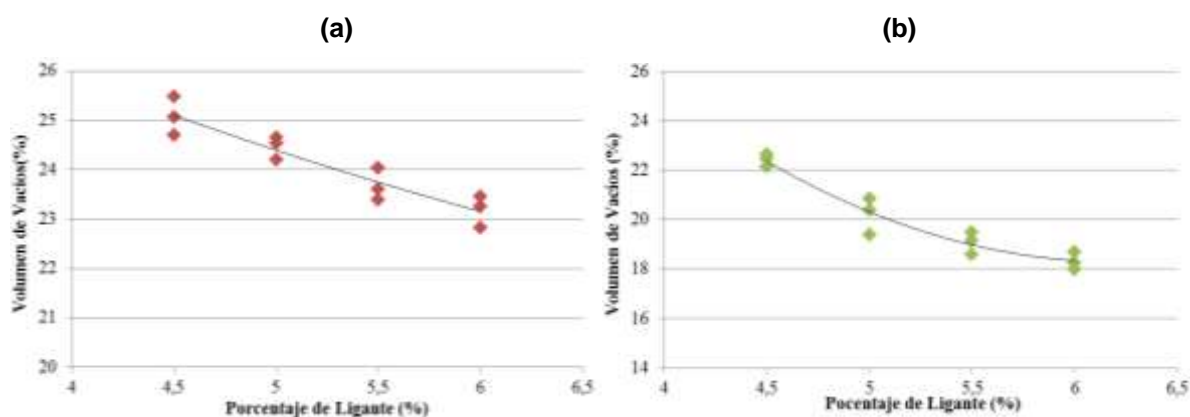


Figura 1. Resultados de volumen de vacíos para la mezcla G1 (a) y la mezcla G2 (b).

Vacíos Interconectados

En lo que respecta a los resultados del ensayo de determinación del porcentaje de vacíos interconectados, todas las probetas tuvieron valores mayores al 10% mínimo exigido para mezclas abiertas y disminuyeron sus valores con el aumento de la cantidad de ligante asfáltico. En general, un mayor volumen de vacíos comunicantes está relacionado a una

mayor permeabilidad de la mezcla. En la Figura 2 (a) y (b) son mostrados los resultados para la mezcla G1 y la mezcla G2, respectivamente.

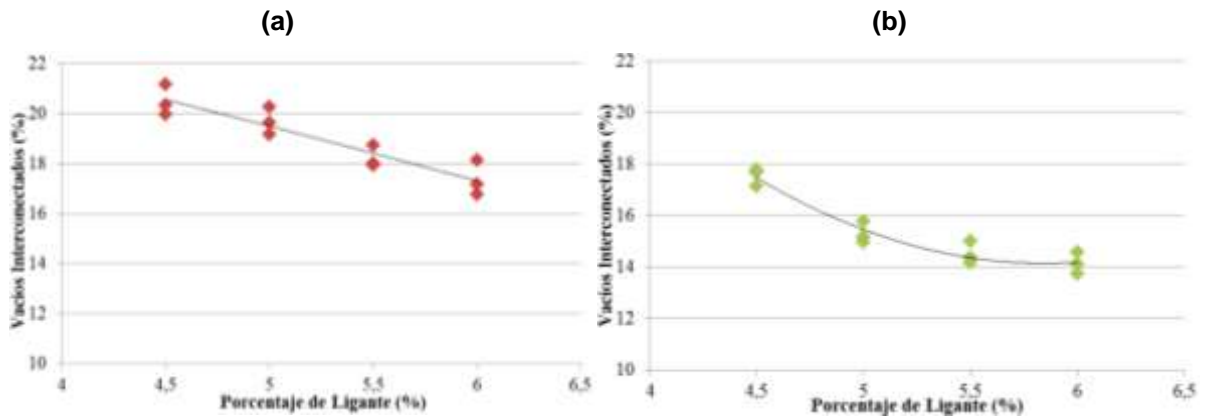


Figura 2. Vacíos interconectados para la mezcla G1(a) y la mezcla G2(b)

Disgregación

Uno de los principales modos de falla de una mezcla abierta es la disgregación de la misma que es provocada por el tránsito de vehículos y también las altas temperaturas. Este modo de falla fue evaluado para cada probeta fabricada por medio del Ensayo Cántabro. Los resultados están representados en la Figura 3 (a) y (b) para las mezclas G1 y G2, respectivamente. Analizando estos resultados puede notarse que la resistencia a disgregación aumenta con el aumento de la cantidad de asfalto. La mezcla G1 demuestra tener menor resistencia que la mezcla G2 y el motivo está explicado en la presencia de un mayor porcentaje de vacíos y vacíos interconectados en la mezcla G1 que disminuye su resistencia al efecto abrasivo. Puede observarse también en las Figura 3 (a) que sólo para un porcentaje de ligante de 6,0% la mezcla G1 cumple con la especificación de una disgregación menor a 20%. En el caso de la mezcla G2, el requisito de una disgregación menor a 20% se cumple para los porcentajes de ligante de 5,5% y de 6,0%.

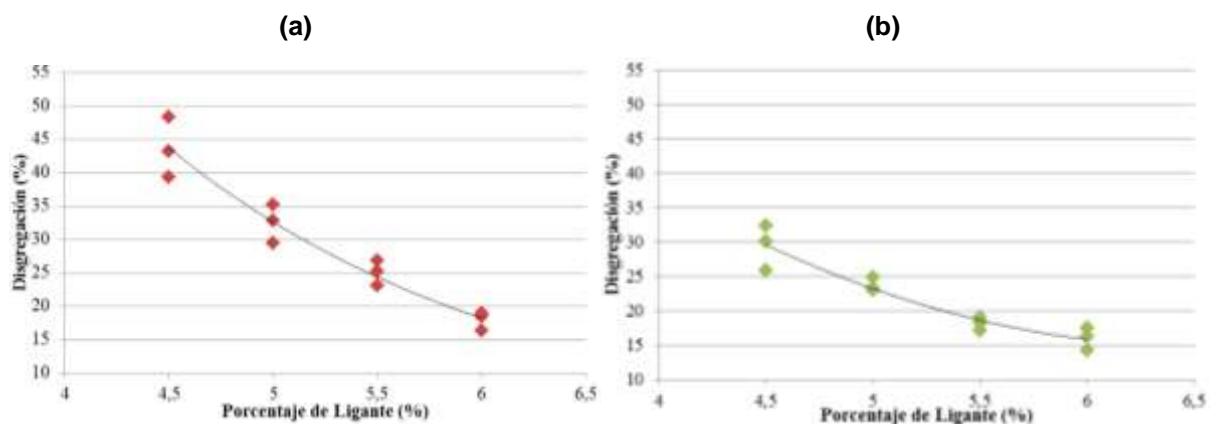


Figura 3. Disgregación para la mezcla G1(a) y G2(b).

Selección del porcentaje de ligante óptimo

Luego de realizados los ensayos enumerados y presentados en los ítems anteriores de volumen de vacíos, vacíos interconectados y desgaste de las mezclas, se procede a elegir el porcentaje de ligante óptimo para cada mezcla en base a los resultados obtenidos en

cada ensayo. Con respecto a los resultados del ensayo de volumen de vacíos y de vacíos interconectados realizados en las probetas de la mezcla G1 y de la mezcla G2, puede afirmarse que para todos los porcentajes de ligante se cumplió con la especificación de un volumen de vacíos mayor a 18% y un volumen de vacíos interconectados mayor a 10%. Sin embargo los resultados del ensayo de desgaste de las probetas de la mezcla G1 (Figura 3a) muestran que únicamente con un porcentaje de ligante de 6,0% se consiguió obtener una disgregación menor a 20%. Para la mezcla G2, las probetas con porcentajes de ligante de 5,5% y 6,0% cumplieron con la especificación de una disgregación menor a 20%. Finalmente, los porcentajes de ligante seleccionados fueron de 6,0% para la mezcla G1 y de 5,5 % para la mezcla G2 con base en el criterio de la resistencia a disgregación.

Daño por humedad inducida

Para evaluar el efecto de la humedad se utilizaron 6 probetas para cada mezcla y se siguió el procedimiento denominado de “método de Lottman modificado”, con las modificaciones ya mencionadas. Tres probetas de cada mezcla fueron condicionadas aplicando un vacío de 660 mmHg, luego colocadas a -18°C durante 16 horas y finalmente fueron sumergidas en un baño de agua durante 24 horas a 60°C. Pasado este tiempo, fue determinada la resistencia a tracción por compresión diametral tanto de las probetas condicionadas como las no condicionadas. La relación entre la resistencia a tracción de las probetas húmedas o condicionadas y las no condicionadas o secas fue denominada como resistencia a tracción retenida por humedad inducida TRR (%) y está representada en la Figura 4.

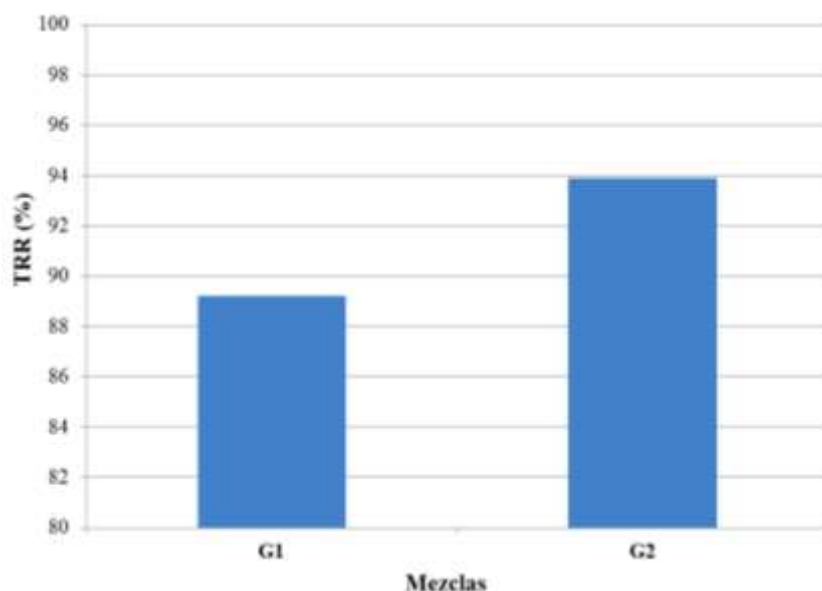


Figura 4. Resultados del ensayo Lottman para las dos mezclas

Las dos mezclas presentaron valores de resistencia a tracción retenida por humedad inducida (TRR) mayores a 80%, cumpliendo con la especificación mínima. El resultado para TRR de la mezcla G1 fue inferior a la mezcla G2 demostrando un efecto mayor de la humedad en esa mezcla.

Permeabilidad

Las placas fabricadas en la mesa compactadora LCPC fueron dos para cada mezcla, totalizando cuatro placas ensayadas. Las dimensiones de las placas elaboradas fueron las siguientes: 50 cm de largo por 18 cm de ancho y 5 cm de espesor. Las mediciones de la permeabilidad se realizaron en tres puntos de cada placa (borde derecho, borde izquierdo y centro). Los resultados del ensayo de la permeabilidad utilizando el permeámetro LCS están mostrados en la Tabla 5.

Tabla 5. Permeabilidad de las placas de las mezclas G1 y G2

Mezcla	G1		G2	
	Placa 1	Placa 2	Placa 1	Placa 2
Placas				
Tiempo (s)	13,6	12,3	19,6	20,9
K (cm/s)	0,60	0,69	0,37	0,34
Tiempo promedio (s)	13,0		20,3	
K promedio (cm/s)	0,65		0,35	

Del análisis de los resultados pudo comprobarse que la mezcla G1 tuvo un coeficiente de permeabilidad K mayor que la mezcla G2 para ambas placas. El motivo de este resultado se explica en el hecho de que la mezcla G1 tiene mayor volumen de vacíos y de vacíos interconectados, lo que permite una mayor filtración del agua a través de la misma. Según Carmona do Nascimento (2012), el tiempo máximo permitido de percolación del agua a través de la mezcla es de 30 segundos, lo que equivale a un coeficiente de permeabilidad K mínimo de 0,20 cm/s. Tanto la mezcla G1 como la mezcla G2 presentaron valores de tiempo de escurrimiento menores a 30 segundos y coeficientes de permeabilidad K mayores a 0,20 cm/s, cumpliendo con la especificación.

Absorción Sonora

El espectro del coeficiente de absorción sonora en función de la frecuencia se obtuvo para cada probeta compactada en el Compactador Giratorio Superpave de 5 cm de altura y 10 cm de diámetro correspondiente a las mezclas G1 y G2. La frecuencia de corte fue calculada mediante la Ecuación (4) dando como resultado un valor de 2009 Hz para un diámetro del tubo de 10 cm. La separación entre los dos micrófonos del tubo de impedancia utilizados para medir las presiones sonoras fue de 5 cm, la misma distancia existente entre la muestra y el micrófono más cercano a la misma. El intervalo de frecuencias donde son analizados los datos del ensayo de absorción fue calculado con la ecuación (5) en función de la separación entre los micrófonos dando como resultado un intervalo comprendido entre 343 Hz y 2744 Hz. Como la frecuencia de corte es menor que la frecuencia máxima de trabajo, el intervalo adoptado para el análisis de los resultados fue de 343 a 2009 Hz. En la Figura 5 está representada la curva de absorción sonora en función de la frecuencia para las dos mezclas G1 y G2.

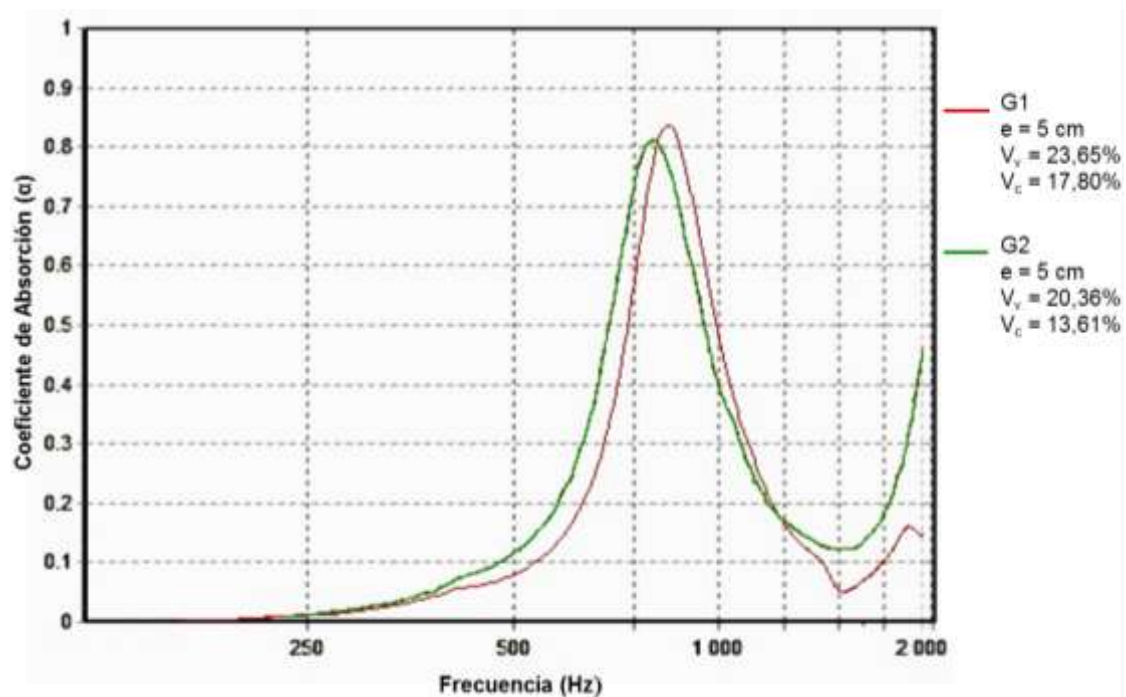


Figura 5. Espectro coeficiente de absorción sonora

Como puede ser visto en la Figura 5, los resultados de los coeficientes de absorción para las dos mezclas fueron elevados, siendo que el coeficiente para la mezcla G1 fue mayor que el de la mezcla G2. El coeficiente de absorción de la mezcla G1 alcanzó un valor de 0,84, mientras que para la mezcla G2 fue de 0,81. Del mismo modo que ocurrió con los resultados del ensayo de permeabilidad, la explicación radica en el hecho de que la mezcla G1 tiene un mayor volumen de vacíos y vacíos interconectados que la mezcla G2, lo que permite mayor filtración de la onda sonora en la superficie del pavimento.

Resulta importante tener valores altos de coeficiente de absorción sonora entre las frecuencias de 800 Hz y 1000 Hz, que son las frecuencias en las cuales el ruido del contacto entre el neumático y el pavimento tiene mayor intensidad. En este caso, para las dos mezclas G1 y G2 de 5 cm de espesor, el pico de absorción estuvo ubicado entre las frecuencias de 800 y 1000 Hz, demostrando tener un buen desempeño para la reducción del ruido provocado por el contacto neumático/pavimento.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados del conjunto de ensayos realizados para evaluar el desempeño en relación a la disgregación, efecto de la humedad, la permeabilidad y el comportamiento acústico de las dos mezclas G1 y G2 con diámetro máximo de agregado de 9,5 mm y granulometrías discontinuas, puede concluirse lo siguiente:

Las dos mezclas G1 y G2 con porcentajes de ligante óptimo de 6,0% y 5,5%, respectivamente, cumplieron con las especificaciones de un volumen de vacíos mayores a 18%, vacíos interconectados mayores a 10% y una disgregación menor a 20%.

Los resultados de la resistencia a tracción retenida por humedad inducida (RRT) de las dos mezclas fueron mayores a 80%, cumpliendo con la especificación.

La permeabilidad de la mezcla G1 fue superior a la permeabilidad de la mezcla G2 debido a la presencia de un mayor porcentaje de volumen de vacíos y de vacíos interconectados

dentro de la mezcla G1. Ambas mezclas tuvieron coeficientes de permeabilidad mayores a los especificados.

Las mezclas G1 y G2 presentaron valores altos de coeficiente de absorción sonora dentro del intervalo de frecuencias de 800 y 1000 Hz, donde es más crítica la intensidad del ruido provocado por el contacto neumático/pavimento. El coeficiente de absorción de la mezcla G1 fue mayor que para la mezcla G2.

Puede concluirse finalmente que tanto la mezcla G1 como la mezcla G2 tuvieron desempeños satisfactorios en relación a los parámetros evaluados de disgregación, efecto de la humedad en la mezcla, permeabilidad y absorción sonora.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO T 209 – Standard method of test for theoretical maximum specific gravity and density of Hot-Mix Asphalt (HMA).

AASHTO T 283. Resistance Of Compacted Asphalt. Mixtures To Moisture-Induced Damage.

ABNT NBR 15184:2004. Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional.

ABNT NBR 15086:2006. Materiais betuminosos- Determinação da recuperação elástica pelo ductilômetro.

ABNT NBR 5564/2011. Via férrea – Lastro ferroviário – Requisitos e métodos de ensaio.

AFNOR NF P 98-254-2-avril 1993. Mesure de propriétés liées à la perméabilité des matériaux des mélanges hydrocarbonés, partie 2.

ASTM D7064. Standard Practice for Open-Graded Friction Course (OGFC) Mix Design1. 2008.

BERNHARD, R. J. ; WAYSON R. L. An introduction to tire/pavement noise of asphalt pavement. Asphalt Pavement Alliance. USA, 2004. 27 p.

CARMONA DO NASCIMENTO, Cátia Cristiana. Avaliação da Permeabilidade de Misturas Betuminosas Drenantes em Laboratório e “In Situ”. Dissertação (Mestrado)-Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Portugal, 2012, 263 p.

CPA. Pliego de Especificaciones Tecnicas Generales para Mezclas Asfálticas en Caliente de Bajo Espesor para Carpetas de Rodamiento, Comisión Permanente del Asfalto (CPA), 2010.

DNER – ME 078/94. Agregados – Adesividade ao Ligante Betuminoso – Método de Ensaio). Rio de Janeiro. 1994.

DNER – ME 089/94. Agregados – Avaliação da Durabilidade pelo Emprego de Soluções de Sulfato de Sódio ou de Magnésio. Rio de Janeiro. 1994.

DNER-ME 117/94. Mistura betuminosa-Determinação da densidade aparente. Rio de Janeiro. 1994.

DNER-ME 035/98. Agregados – Determinação da Abrasão —Los AngelesII. Rio de Janeiro. 1998.

DNER – ME 383/99. Desgaste por Abrasão de Misturas Betuminosas com Asfalto Polímero – Ensaio Cântabro. Rio de Janeiro. 1999.

DNIT 131/2010 – ME. Materiais Asfálticos – Determinação do Ponto de Amolecimento (Método do Anel e Bola). Rio de Janeiro. 2010.

DNIT 155/2010 – ME. Material Asfáltico – Determinação da Penetração. Rio de Janeiro. 2010.

FEHRL. Guidance Manual for the Implementation of Low-Noise Road Surfaces. SILVIA-Sustainable road surfaces for traffic noise control. Brussels, Belgium, 2006.

GERGES, Samir Nagi Yousri; ARENAS, Jorge P.. Fundamentos y Control del Ruido y Vibraciones. 2. ed. Florianopolis: Nr Editora, 2010. 787 p.

GUIMARAES, Jose Marcos Faccin. Concreto Asfáltico Drenante em Asfaltos modificados por polímero SBS e borracha moída de pneus. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação PPGEC-UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

ISO 10534-2 E: Acoustics – Determination of sound absorption coefficient and impedance tubes – Part 2: Transfer-function method. 1998

MEURER FILHO, Edelino. Estudo de Granulometria Para Concretos Asfálticos Drenantes. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação PPGEC-UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.

OLIVEIRA, C. G. M. Estudo de propriedades mecânicas, e hidráulicas do concreto asfáltico drenante. Dissertação de mestrado em Geotecnia. Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

NLT-327/00. Permeabilidad in situ de pavimentos drenantes con el permeámetro LCS. 2000.

RASMUSSEN, R. O.; BERNHARD, R. J.; SANDBERG, U.; MUN, E. P. The Little Book of Quieter Pavements. FHWA,USA. FHWA -IF-08-004. 2007. 37 p.

RUNGRUANGVIROJN, P. Y KANITPONG, K. Measurement of visibility loss due to splash and spray: porous, SMA and conventional asphalt pavements. Transportation Engineering Program, Asian Institute of Technology, Klong Luang, Bangkok 12120, Thailand.

SANDBERG, U.; EJSMONT J. Tyre/road Noise Reference Book. Informex, Kisa, Sweden, 2002.

WHO. Burden of disease from environmental noise – Quantification of healthy life years lost in Europe. World Health Organization. – Regional office for Europe and EC-JRC, 2011.