



ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA HUMEDAD DE VARIOS TIPOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE EL MÓDULO DINÁMICO

Rey Omar Adame Hernández ¹, Pedro Limón ², Israel Sandoval ³, Ignacio Cremades ⁴.

¹Lasfalto S. de R. L. Zapopan Jalisco México, omar.adame@lasfalto.com.mx

²Lasfalto S. de R. L. Zapopan Jalisco México, pedro@surfax.com.mx

³Lasfalto S. de R. L. Zapopan Jalisco México, israel@surfax.com.mx

⁴Surfax S. A. de C.V. Zapopan Jalisco México, cremades@surfax.com.mx

Resumen

En México y Latinoamérica el daño por humedad que sufren los pavimentos es importante, esto debido a que la temporada de lluvias puede extenderse por meses incluyendo huracanes y tormentas tropicales que los someten por largos periodos de daño a las mezclas asfálticas. Actualmente, en Latinoamérica son usados métodos como el daño inducido por humedad "TSR" y el ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo, ensayos empíricos en los que el daño que se induce por la humedad ha dejado de ser significativo y al que los nuevos métodos de diseño de mezclas asfálticas lo han superado al punto de que la mayoría de los diseños cumplen comúnmente con estos parámetros. Es por eso que en este trabajo se propone un análisis de daño por humedad a través de una propiedad fundamental de las mezclas asfálticas como es el módulo dinámico en las que se pretende evaluar el daño que sufren las mezclas asfálticas, en este método las probetas se someten a un periodo de acondicionamiento sumergidos en agua durante 24 y 72 Horas, después de cada periodo de acondicionamiento se realiza una medición de módulo dinámico a 20 grados centígrados, el daño de la mezcla ha sido evidente en la reducción del módulo dependiendo del tipo de asfalto, lo cual demuestra la importancia de tener mezclas asfálticas que se apliquen de forma correcta para cada tipo de aplicación y clima.

Palabras Clave: Módulo dinámico, Susceptibilidad a la humedad, granulometría.

1 Introducción

En México el ciclo de lluvias que se presenta año tras año es cada vez de mayor intensidad debido al cambio climático, las lluvias intensas además de generar daños materiales e inundaciones en zonas urbanas generan un daño importante sobre los pavimentos flexibles además del daño que se genera con la presencia de agua en los pavimentos, de igual manera sobre las autopistas en las que se presenta este fenómeno natural. Sin embargo, no se sabe de manera precisa como afecta la humedad a las mezclas generada por lluvias. En México de acuerdo a los últimos informes presentados por la CONAGUA (Comisión Nacional del Agua), en la temporada de ciclones tropicales durante el 2016 se tuvo 8 más que el promedio para un total de 36 registrados durante ese año, de los cuales 18 de ellos llegaron a categoría de Huracán. Además, Se tuvo el impacto directo de 6 ciclones en el territorio nacional, tres por el Océano Pacífico y tres por el Atlántico. Mientras que la temporada de lluvias 2016 se comportó conforme al promedio histórico, precipitó 744 milímetros en todo el territorio nacional.

El daño por humedad está estrechamente relacionado con el enlace por cohesión al cual se involucra la fuerza de cohesión del asfalto además se le involucra con el enlace por adhesión, es decir con la fuerza que interaccionan el agregado y el asfalto entre sí (Cheng, 2002) [4].

Existen algunos estudios que señalan razones como las fuentes del fenómeno que se da entre la interface del mastico y la superficie del agregado pétreo llamada "falla por adhesión" y en la estructura interna del mastico o asfalto llamada "falla por cohesión". Esto se define de acuerdo a las propiedades con las que cuentan los componentes (agregado y asfalto). Sin embargo, hay algunos factores adicionales que modifican estas fallas como lo son: la adición de un modificante al asfalto y el uso de agentes líquidos anti-desprendimientos (anti-stripping) o cal hidratada (Howson et al., 2007). Además, se ha observado que incrementando el pH del agua presente en la interface entre el mastico y el agregado debilita de manera importante el enlace por adhesión entre los dos materiales (Scott, 1982) [4].

Al menos 6 mecanismos de fallas son los que se asocian con los daños por humedad y los desprendimientos de agregado, pudiendo estos presentarse en forma individual o simultánea. Estos mecanismos son: separación, desplazamiento, emulsificación espontánea, presión de poro, socavación hidráulica y efectos ambientales. La separación se distingue del desplazamiento en que el agua que penetra en el agregado es debido a una discontinuidad en la película de asfalto que recubre al mismo, la cual puede ser debido a un recubrimiento parcial o de una ruptura en la película asfáltica. La emulsificación espontánea ocurre cuando el asfalto y el agua son combinadas para formar una emulsión, un fenómeno que se maximiza con la presencia de emulsificantes como arcillas minerales. La presión de poro puede también generar un daño por humedad en mezclas asfálticas con altos contenidos de vacíos, como es el caso de las mezclas abiertas (open graded), en las que el agua puede circular entre los poros interconectados. Por último, la socavación hidráulica ocurre únicamente en la superficie del pavimento y ocurre a partir del efecto de los neumáticos de los vehículos sobre un pavimento mojado, sobre los cuales se generan altas presiones delante del neumático y succión detrás del mismo (Fromm, 1974; Scott, 1982) [4].



Figura 1. Daño por humedad en vías mexicanas (Excélsior, 2015)

Todos los mecanismos antes mencionados son el resultado de que la energía superficial libre del agua es inferior a la del asfalto, es decir, el agua presenta mayor humectabilidad (habilidad de un líquido para mantener contacto con una superficie sólida) del agregado (Majidzadra et al., 1968) [4].



2 Metodología

En este trabajo se hace uso de las metodologías de diseño de mezclas densas propuestas por el protocolo AMAAC (PA-MA 01/2013) [3], metodología vigente en México. Después, se utilizó la prueba de módulo dinámico como parámetro de calidad de las mezclas asfálticas analizadas para las que se construyó su respectiva curva maestra con temperaturas desde los 0 hasta los 40°C con frecuencias desde 0.1 hasta 10 Hz. Posteriormente los especímenes se acondicionaron en agua a una temperatura de 60°C durante 24 y 72 horas respectivamente, caso en el que se analizó el daño que afecta el valor de módulo y por consiguiente el desempeño de la mezcla.

3 Análisis y resultados

3.1 Caracterización del agregado y asfalto

Respecto al agregado, se hizo uso de un basalto proveniente del banco de Tonalá (Jalisco, México) de la empresa asfaltos Guadalajara, del cual se tienen los siguientes resultados que cumple con todas especificaciones requeridas por dicha metodología.

Tabla 1. Caracterización del agregado.

Tipo de prueba	Valor de Normativa	
	Basalto	
Partículas alargadas	1.60%	15% máx.
Partículas Lajeadas	0.34%	15% máx.
Densidad	2.66	N/A
Desgaste de los Ángeles	10%	
Absorción	1.28	N/A
Tipo de prueba	Resultados	Normativa
	Basalto	
Equivalente de arena	70	50 min.
Densidad	2.6	N/A
Absorción	2.04	N/A
Azul de metileno	11 ml/g	15 ml/g máx.
Angularidad	40.72	40 min.

Para el asfalto se usó como base el asfalto Ekbé-Salamanca clasificado con un grado PG (64-16) a continuación se presentan las pruebas básicas del asfalto así como las pruebas para grado PG. Para el asfalto modificado se usó un Terpolímero RET para su modificación el cual presenta un grado PG 76-16 y con una capacidad para soportar un nivel "extremo" (E) de acuerdo al parámetro Jnr.



Tabla 2. Caracterización del asfalto

TIPO DE PRUEBA	Resultado asfalto modificado	resultado asfalto convencional	Especificación particular	Método de prueba
Recuperación elástica por torsión a 25°C (%)	49	--	40 mín.	M-MMP-4-05-024/02 SCT
Punto de reblandecimiento, 5°C/min. (°C)	64	--	55 mín.	M-MMP-4-05-009/00 SCT
Punto de inflamación Cleveland (°C)	>300	>300	230 mín.	ASTM D 92
Viscosidad Brookfield a 135°C (cP)	1747	404	3000 máx.	ASTM D 4402
Módulo reológico de corte dinámico a [G*/senδ] (KPa)	1.395 (76°C)	1.335 (64°C)	1 mín.	ASTM D 7175
Ángulo de fase (δ) (°)	68.85 (76°C)	83.51 (64°C)	----	ASTM D 7175
Análisis del residuo de la prueba de la película delgada			RTFO	ASTM D 2872
Pérdida de masa por calentamiento a 163°C, (%)	0.21	0.45	1 máx.	ASTM D 2872
Módulo reológico de corte dinámico a [C*/senδ] (KPa)	3.579 (76°C)	3.67 (64 °C)	2,2 mín.	ASTM D 7175
Ángulo de fase (δ) (°)	58.48 (76°C)	77.35 (64°C)	----	ASTM D 7175
Análisis del residuo de la prueba de envejecimiento a presión			PAV	ASTM D 6521
Módulo reológico de corte dinámico A 25°C [G*senδ] (KPa)	1248	2558	5000 máx.	ASTM D 7175
Rigidez en creep A -12°C, 60s S(t), (MPa)	71.94	112.69	300 máx.	ASTM D 6648
Valor m(t) A -12°C, 60s S(t), (adimensional)	0.313	0.293	0,3 mín.	ASTM D 6648
Determinación de índice de tráfico Jnr (RTFO)				
Respuesta elástica 100 Pa (%)	72.25 (76°C)		14.08 (64°C)	AASHTO T-350
Respuesta elástica 3200 Pa (%)	66.87		3.26	AASHTO T-350
Diferencia en respuesta elástica (%)	7.54 (76°C)		76.87	AASHTO T-350
Creep compliance Jnr100 a 64 °C	0.386 (76 °C)		2.003 (64 °C)	AASHTO T-350
Creep compliance Jnr3200 a 64 °C	0.377 (76 °C)		2.546 (64 °C)	AASHTO T-350
Diferencia creep compliance jnr a 64 °C, (%)	-2.26		27.07	AASHTO T-350
Asfalto convencional Grado PG 64-22				
Asfalto Modificado grado PG 76-16 E				

3. 2 Parámetros volumétricos de la mezcla

Con el uso de estos componentes base (asfalto Ekbé y basalto) se procedió a fabricar especímenes por triplicado para la realización de la prueba de módulo dinámico, para los cuales se obtuvieron las siguientes combinaciones y propiedades por cada tipo de mezcla:

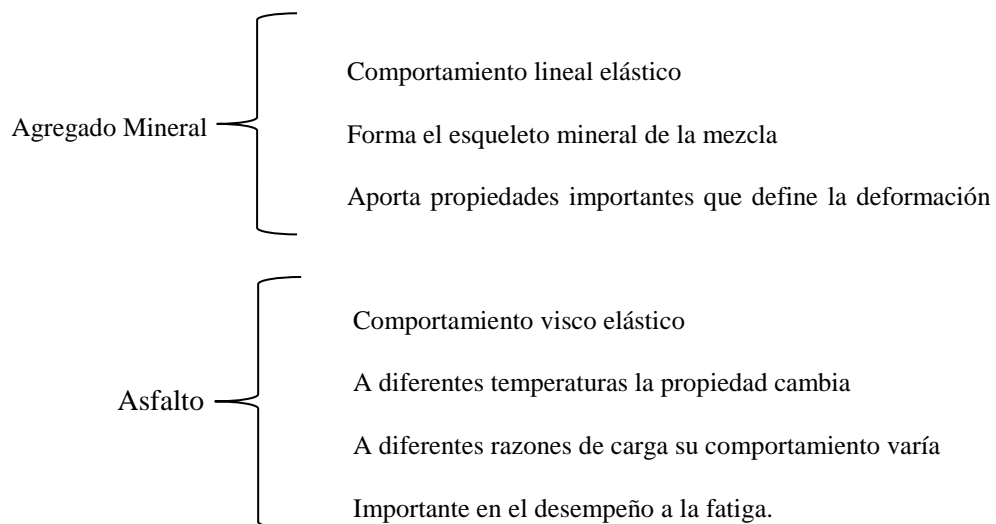


Tabla 3. Propiedades por cada tipo de mezcla

Variable	% Contenido de asfalto	% Contenido de asfalto en el RAP	% Vacíos
Asfalto Ekbé + Basalto	5.5	N/A	6.84
Asfalto Ekbé + Basalto + Terpolímero RET	5.5	N/A	5.98
Asfalto Ekbé + Basalto + 15% de RAP	5.1	0.7	9.16
Asfalto Ekbé + Basalto + 30% de RAP	4.0	1.53	7.17
Asfalto Ekbé + Basalto + 45% de RAP	3.1	2.29	7.55
Asfalto Ekbé espumado + Basalto	5.5	N/A	7.25

3.3 Módulo dinámico

En la mezcla asfáltica existen dos componentes fundamentales: agregado pétreo y asfalto, las cuales aportan diferentes propiedades en la mezcla y le dan un comportamiento visco-elástico, cada elemento aporta las propiedades siguientes:



En un material como una mezcla asfáltica en el que sus propiedades como el módulo dinámico dependen de las temperaturas de ensayo y de las razones de carga (velocidad de aplicación en campo o frecuencia en laboratorio), es importante saber que las propiedades no son constantes con respecto al tiempo como se han asumido en los diseños clásicos, esto comprobado a través de varios estudios en los que se le da importancia y que se asume principalmente que el pavimento cambia sus propiedades con respecto al tiempo:

- La edad del pavimento
- El clima
- El periodo de oxidación con el que cambia el módulo en el tiempo
- Propiedades volumétricas



Es por eso que, en este trabajo se decidió estudiar la variación del módulo dinámico (daño inducido por humedad) a través de un acondicionamiento en baño maría a 60°C en el que se simula el efecto de la humedad con respecto al tiempo.

Inicialmente se fabricaron probetas después de determinar su contenido óptimo de asfalto y se mezclaron a una temperatura de 165°C para la mezcla con Terpolímero RET, mientras que para las mezclas con asfalto convencional y RAP se mezcló a una temperatura de 155°C. Es importante mencionar que el RAP fue manejado por separado a una temperatura de 40°C con el objeto de no afectar su estado y propiedades iniciales. Posteriormente la compactación se realizó a una temperatura de 155°C para el asfalto con Terpolímero RET mientras que para las restantes se compactó a 145°C, todas compactadas en el compactador giratorio SUPERPAVE con un número de giros de entre 30 y 40 giros, esto para garantizar el porcentaje de vacíos de alrededor del 7% para que el agua pueda ingresar en mayor cantidad y generar un daño significativo en la mezcla asfáltica.

Después se realizaron las curvas maestras para cada una de las variables fabricando para esto 3 especímenes por cada tipo de mezcla, posteriormente se ensayaron a diferentes temperaturas y diferentes frecuencias como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 4. Frecuencias y temperaturas de ensayo para curvas maestras

Frecuencias de ensayo (Hz)	Temperaturas de ensayo (°C)
0.1	0
0.5	10
1.0	20
5.0	30
10.0	40

Para la construcción de curvas maestras se utilizó el principio de superposición tiempo-temperatura. Se aplica un factor o una constante de cambio con respecto al logaritmo del tiempo para obtener una curva suavizada. Esto con el objetivo de observar gráficamente la rigidez de cada tipo de mezcla y poder determinar así su elasticidad relacionada con el tipo de mezcla.

Para la curva maestra realizada para un asfalto convencional Ekbé y basalto la curva presenta un buen comportamiento lo cual indica que tiene un buen comportamiento elástico a diferentes temperaturas y frecuencias de ensayo, aunque presenta valores relativamente bajos y una susceptibilidad a las altas y bajas temperaturas.

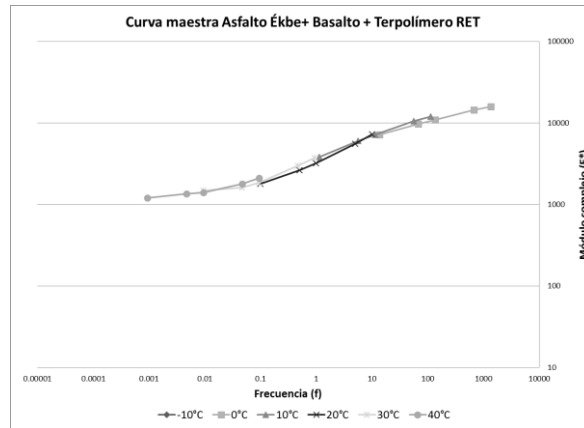


Figura 2. Curva maestra asfalto Ekbé + basalto

El uso de Terpolímeros RET promueve mezclas más elásticas como se muestra en la curva maestra de la figura 3. En la que se observa una curvatura tenue y valores favorables de módulo dinámico a altas, medianas y bajas temperaturas además de una menor susceptibilidad en el valor de módulo con diferentes velocidades o frecuencias de aplicación de carga.

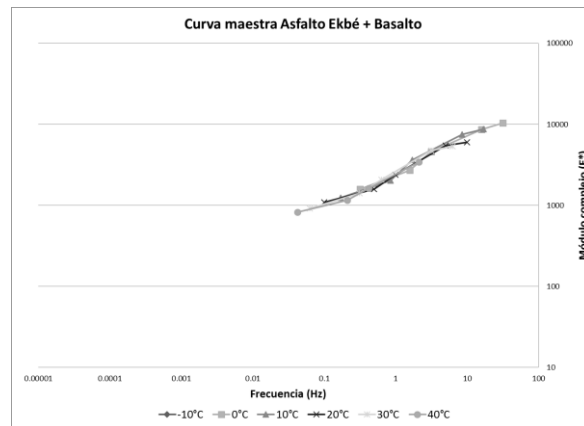


Figura 3. Curva maestra asfalto Ekbé+ Basalto + Terpolímero RET

Con el uso de 15% de material de RAP para una mezcla de granulometría densa, la curva maestra muestra un ligero aumento de rigidez en los valores, además de una pérdida de curvatura y valores altos de módulo en comparación a una mezcla con asfalto convencional.

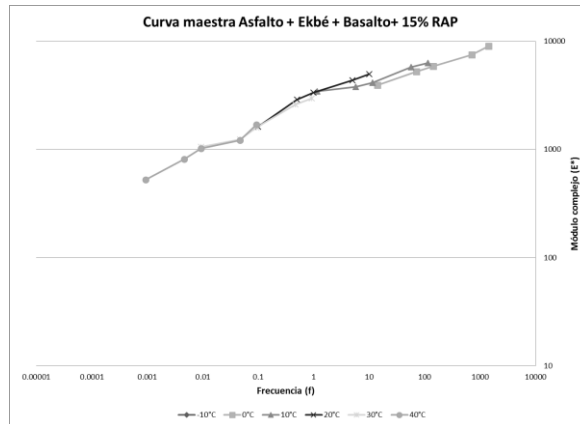


Figura 4. Curva maestra asfalto Ekbé + basalto + 15% RAP

Para la mezcla con 30% de RAP el comportamiento tiende a ser lineal con la superposición tiempo-temperatura además de un aumento en los valores de módulo y por lo tanto en la rigidez de la mezcla, aumentando también la susceptibilidad al agrietamiento por fatiga.

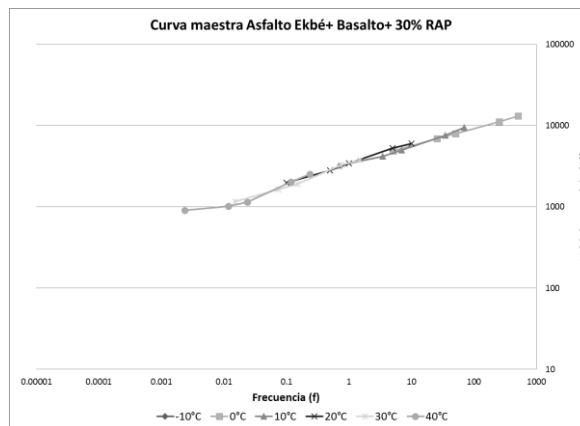


Figura 5. Curva maestra asfalto Ekbé + basalto + 30% RAP

Por último para mezclas con 45% de RAP la rigidez se ve aumentada casi el doble con respecto a una mezcla con asfalto convencional, por lo que no precisamente el presentar valores de módulo altos garantizará un buen desempeño ante los mecanismos de falla de las mezclas asfálticas.

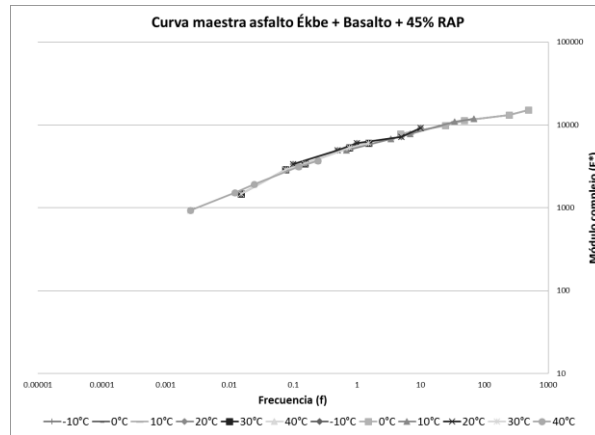


Figura 6. Curva maestra asfalto Ekbé + basalto + 45% RAP

De acuerdo a las curvas maestras obtenidas se observó que la curva que presenta un mejor comportamiento es la fabricada con Terpolímero RET+ asfalto convencional+ basalto. Aunque las muestras de asfalto convencional así como la mezcla con 15% de RAP también presentaron comportamientos aceptables, mientras que las mezclas con 30 y 45% de RAP presentan una tendencia a la rigidez en medida en la que aumenta el contenido de RAP.

Después de determinadas las curvas maestras, los especímenes fueron acondicionados y sumergidos en un baño María a una temperatura de 60°C con el propósito de generar un daño por humedad que modifique el valor de módulo, además de determinar que mezclas presentan mayor daño.

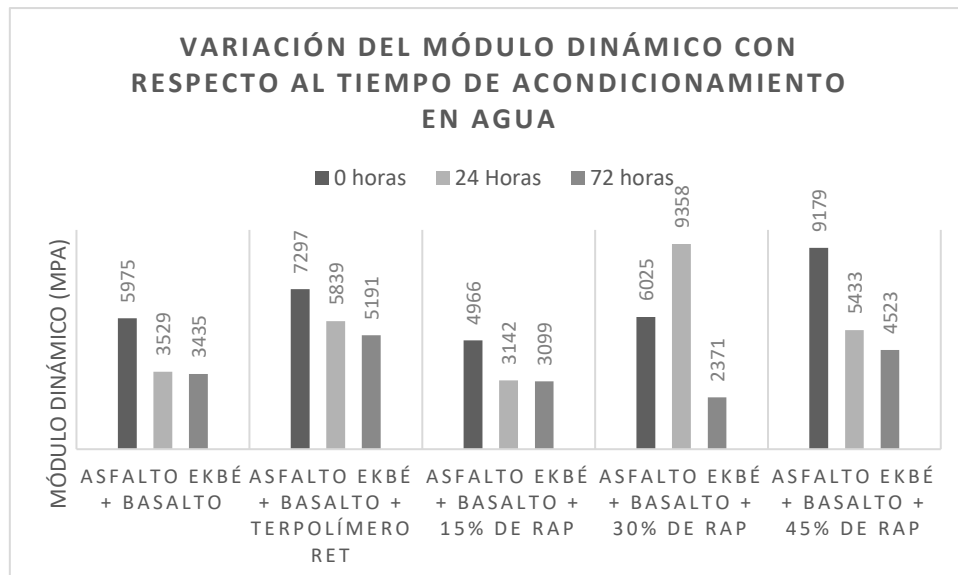


Figura 7. Variación del módulo dinámico con respecto al tiempo de acondicionamiento en agua.

De acuerdo a lo observado en la figura 7. Con respecto a las mezclas con asfalto convencional Ekbé+ basalto el daño importante se genera en las primeras 24 horas de acondicionamiento, periodo en el que los especímenes perdieron el 40% en promedio, esto tomando como referencia el valor inicial.



Para el asfalto modificado con Terpolímero RET + basalto el daño generado en los especímenes es menor el 20% con respecto al valor inicial, mientras que en las siguientes 48 horas apenas perdió el 8%, manteniendo además valores altos con respecto a las demás mezclas asfálticas.

En cuanto a las mezclas con RAP iniciando con las mezclas que tienen el 15% de RAP, el porcentaje de pérdida de valor de modulo después de 72 horas es del 38%, muy similar al daño generado en una mezcla con asfalto convencional.

Con respecto a las mezclas con 30% de RAP el daño por humedad después de las 72 horas de acondicionamiento es mayor con respecto a la mezcla que contiene 15% de material recuperado, alcanzando el 60% de pérdida con respecto al valor inicial.

Con respecto a las mezclas con 45% de RAP el porcentaje de pérdida supera el 50% de pérdida con respecto al valor inicial, aunque es importante mencionar que los valores se mantienen altos con respecto a las demás variables analizadas en este estudio.

Finalmente, en este trabajo no se presentan las curvas maestras de los especímenes después del acondicionamiento en agua 72 horas debido a que las temperaturas de 0, 30 y 40°C resultan difíciles para obtener el valor de módulo dinámico, situación en la que se presentan deformaciones permanentes y deformaciones recuperables altas para los valores que requiere la norma.

4 Conclusiones

En cuanto al efecto de la humedad es evidente que genera un daño en mezclas asfálticas, sobre todo en la etapa inicial del pavimento, etapa en la que pueden llegar a perder hasta el 50% de su módulo inicial para mezclas convencionales y en las que es muy probable que se generen deformaciones permanentes.

- En general hay evidencia de que el efecto de la humedad depende de la calidad del tipo de asfalto que se aplique en la mezcla asfáltica. El asfalto modificado en este estudio presentó un buen desempeño ante el efecto de la humedad
- El porcentaje de RAP en la mezcla también es un factor importante en el comportamiento elástico de una mezcla, para este caso el 15% de RAP utilizado en la mezcla resulta ser el porcentaje óptimo, mientras que para el 30 y 45% de RAP puede resultar en contra de un buen desempeño de la mezcla ante los efectos del agua y de un comportamiento elástico en la mezcla.
- También es evidente que la mezcla fabricada con Terpolímero RET es la que presenta un mejor desempeño, caso en el que apenas se llegó a un 20% de pérdida del módulo en la etapa inicial.
- Después de los acondicionamientos en agua la susceptibilidad de las mezclas a las temperaturas altas y bajas (0 y 40°C) es mayor, por lo que no es posible construir curvas maestras.



COGRESO MEXICANO DEL ASFALTO

*Expo-***ASFALTO** *2017*

23 - 25 de agosto Cancún 2017

5 Referencias

- [1] Charles E. Dougan, E* - DYNAMIC MODULUS Test Protocol – Problems and Solutions. University of Connecticut. April 2003.
- [2] W. Witczak. DEVELOPMENT OF A MASTER CURVE (E*) DATABASE FOR LIME MODIFIED ASPHALTIC MIXTURES. Arizona State University, July 2004.
- [3] PA-MA 01 (2013). DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA DENSA DE ALTO DESEMPEÑO (AMAAC).
- [4] J. Aguiar. CARACTERIZACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD EN MEZCLAS ASFÁLTICAS. Universidad de Costa Rica, Marzo 2014.
- [5] F. Leiva. MÓDULO DINÁMICO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS. Universidad de Costa Rica, Marzo 2004.