CAPITULO 4

VALORACIÓN DE LA RIGIDEZ DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS
ENSAYO DE MÓDULO DE RIGIDEZ POR TRACCIÓN INDIRECTA
NORMA UNE-EN 12697-26, ANEXO C

1. INTRODUCCION

Dentro de las características que definen la calidad de una estructura de pavimento se encuentran las mecánicas y dinámicas, características que son muy importantes, debido a que ayudan a determinar parámetros definitivos, como el dimensionamiento de la estructura de pavimento en el diseño, rehabilitación o refuerzo; por tal razón, es de vital importancia diseñar y construir vías que soporten el tránsito, para lo cual se hace un enfoque particular en las características dinámicas de la capa de concreto asfáltico de las estructuras de pavimento.

Existen diversas variables relacionadas con la determinación del módulo dinámico de una mezcla asfáltica, cuyos valores hacen que la mezcla se comporte de forma satisfactoria o no, que se presenten o no daños tanto en la carpeta de concreto asfáltico como en la estructura de pavimento en conjunto, tales como fallas, fisuras, grietas, deformaciones y fatiga, entre otros.

El módulo dinámico de una mezcla asfáltica se define como el valor absoluto de la relación entre el valor del esfuerzo máximo y el de la deformación unitaria máxima, obtenido en un ensayo a compresión (uniaxial o triaxial), a flexión y tracción indirecta, utilizando cargas en forma cóncava. Para determinar el módulo dinámico de una mezcla asfáltica existen diferentes metodologías, entre las cuales están: ensayos de laboratorio, monogramas y fórmulas o correlaciones. Dentro de los ensayos se encuentran el de tracción indirecta, el de tracción por compresión directa y el de tracción de flexión de una viga cargada en el tercio central. Cada uno de estos ensayos tiene sus características particulares. Otra de las metodologías utilizadas para la determinación de módulos dinámicos de mezclas asfálticas es la de los monogramas de Shell, el cual fue desarrollado por Bonnaure y otros, basados en el módulo dinámico del asfalto y en las concentraciones volumétricas del asfalto y de los agregados (datos del diseño Marshall). La utilización de este método es un poco tediosa, por la configuración gráfica que tienen los monogramas, lo cual hace que el procedimiento sea largo y que, además, se pueda incurrir en errores de paralelismo o personales del observador.

La tercera metodología, correspondiente a fórmulas o correlaciones, hace que determinar el módulo de las mezclas asfálticas sea un proceso más corto y preciso que el nombrado anteriormente; dentro de esta metodología se encuentran cuatro métodos, que mediante la aplicación de ciertas expresiones matemáticas permiten conocer el valor del módulo dinámico utilizando diferentes variables. Los métodos son: fórmulas de Bonnaure y otros, fórmulas del Instituto del Asfalto, fórmulas de Heukelom y Klomp y la fórmula de Witczak.

Estos métodos se utilizan cuando no se posee instrumental para determinar los módulos y pueden dar valores muy diferentes según las fórmulas utilizadas.

En un trabajo realizado por Carlos Sandoval y otros, Colombia ISSN0121-1129 han determinado las siguientes sensibilidades de cada método frente a las variables consideradas en sus formulaciones.

Método	Variable	Grado de sensibilidad
Monogramas	Tiempo de aplicación de la carga, t (seg)	ALTO
	Temperatura a una penetración 800 1/10 mm, T_{800} (°C)	ALTO
	Temperatura media anual ponderada, TMAP (°C)	ALTO
	Índice de penetración, Ip	ALTO
Formulas de BONNAURE y otros	Módulo dinámico del asfalto, Sb (Kg/cm²)	ALTO
	Porcentaje en volumen de agregados, Vg (%)	ALTO
	Porcentaje en volumen de asfalto, Vb (%)	BAJO
	Módulo dinámico del asfalto, Sb (Kg/cm²)	ALTO
Formulas del INSTITUTO DEL ASFALTO	Frecuencia de aplicación de la carga, *f* (Hertz)	MEDIO
	Porcentaje en volumen de asfalto, Vb (%)	ALTO
	Porcentaje en volumen de vacios, Vv (%)	MEDIO
	Temperatura de la mezcla, T (°C)	ALTO
	Porcentaje pasa tamiz 200, P_{200} (%)	MEDIO
Formulas de HEUKELOM y KLOMP	Porcentaje en volumen de agregados, Vg (%)	MEDIO
	Porcentaje en volumen de asfalto, Vb (%)	ALTO
	Porcentaje en volumen de vacios, Vv (%)	ALTO
	Módulo dinámico del asfalto, Sb (Kg/cm²)	ALTO
Formula de WITCZAK	Frecuencia de aplicación de la carga, *f* (Hertz)	MEDIO
	Tiempo de aplicación de la carga, t (Seg)	MEDIO
	Porcentaje en volumen de asfalto, Vb (%)	MEDIO
	Porcentaje en volumen de aire, Va (%)	MEDIO
	Porcentaje pasa tamiz 200, P_{200} (%)	MEDIO
	Viscosidad del asfalto, (10^6 Poisses)	BAJO

Sensibilidad de las variables según las fórmulas utilizadas

Cada uno de los métodos antes citados, tiene características particulares que hacen que el valor del módulo sea levemente diferente. Sin embargo, los métodos de ensayo son una alternativa ideal, dado que en ellos se simulan las condiciones propias del entorno, por lo que se obtienen resultados más confiables.

Una vez determinado el valor del módulo dinámico de la mezcla asfáltica por cualquiera de los diferentes métodos, se observa que el resultado para una velocidad de 30 km/h oscila entre 22000 y 41000 kg/cm^2; para una velocidad de 60 km/h, entre 40000 y 48000 kg/cm^2, y para una velocidad de 80 km/h, entre 40000 y 51000 kg/cm^2. Teniendo en cuenta que la velocidad de operación de los vehículos en vías urbanas de nuestro país está limitada a 60 km/h, se vio la necesidad de determinar el módulo dinámico de la mezcla asfáltica para esta velocidad, aunque no se contara con información secundaria dentro del ensayo de tracción indirecta analizado en este trabajo. Para este análisis, al comparar los métodos teóricos con el método del ensayo de laboratorio usado en el presente trabajo, se concluye que el módulo dinámico de la mezcla asfáltica obtenido mediante cualquier método teórico es superior al resultado del ensayo de laboratorio; esto se debe a que en el ensayo de laboratorio se representan las características propias del medio para el cual se diseña la mezcla, mientras que en los métodos teóricos no todas las variables del medio tienen influencia y, por lo tanto, los resultados son mayores,

previendo la influencia que pueden llegar a tener dichas variables en los resultados del módulo dinámico.
Al realizar el análisis de sensibilidad de las variables que intervienen en la determinación del módulo dinámico de la mezcla asfáltica se observa que el método de cálculo mediante monogramas considera muy sensibles las variables; esto se debe a que en este método se pueden cometer errores de paralelismo por la configuración gráfica de los monogramas.
Por el contrario, las variables del método de cálculo mediante fórmulas de Witczak presentan un grado de sensibilidad de medio a bajo, debido a que este es el método que muestra un valor de módulo dinámico más alto con respecto a los demás. Al graficar la variación del módulo dinámico de la mezcla asfáltica en función de cada una de las variables, se observa que para una misma variable en diferentes métodos la tendencia no es la misma, pero la relación de proporción entre la variable y el módulo sí lo es. Por el contrario, la única variable que no tiene la misma relación de proporción con el módulo dinámico es el porcentaje pasa Tamiz IRAM N° 200, ya que el método de cálculo mediante fórmula de Witczak deja en evidencia un valor óptimo del 8 % de esta variable; a diferencia del método del Instituto del Asfalto, que muestra una relación directamente proporcional con el valor del módulo dinámico.
En general, se concluye que las variables que generan un cambio significativo en el valor del módulo dinámico de la mezcla asfáltica, cuando se modifica su valor, son: módulo dinámico del asfalto, porcentaje en volumen de asfalto, la temperatura de la mezcla y la temperatura media anual ponderada. Con el método de determinación de módulos dinámicos de mezclas asfálticas por medio de la fórmula de Witczak se observa que la mezcla debe tener un porcentaje óptimo del 8 % en el pasa Tamiz IRAM N° 200; según la información obtenida del ensayo, el porcentaje pasa Tamiz IRAM N° 200 de esta mezcla es del 6 %, lo que indica que la mezcla puede llegar a tener un mejor módulo dinámico en el caso de que dicho porcentaje se haga coincidir con el óptimo.

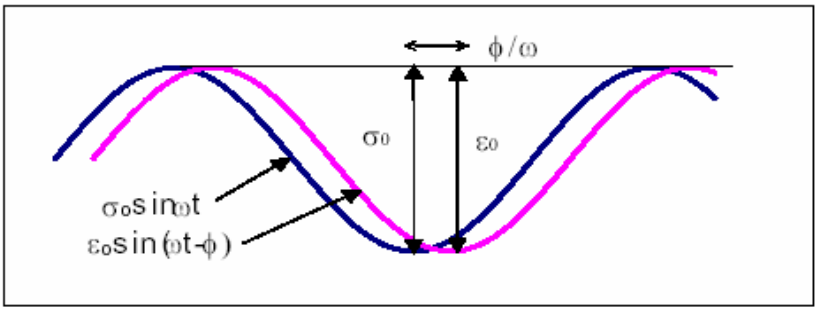
2. ENSAYOS PARA DETERMINAR EL MODULO DE RIGIDEZ O MODULO DINAMICO DE UNA MEZCLA ASFALTICA

Existen numerosos ensayos que permiten aproximarse a la valoración modular de las mezclas asfálticas como así también diferente marco normativo.

El módulo de rigidez es el valor absoluto del Módulo complejo que define las propiedades elásticas de un material de viscosidad lineal sometido a una carga sinusoidal. E* es el módulo visco-elástico del material. En la teoría visco-elástica, el valor absoluto del módulo complejo |E*|, por definición es el módulo dinámico.
Los valores del módulo dinámico pueden emplearse tanto para el diseño de la mezcla asfáltica para pavimento, como para el diseño del espesor de la capa de pavimento asfáltico.
El método de ensayo que permite su determinación (ASTM D3496 y D3497, AASTHO TP 62) cubre procedimientos para preparar y ensayar mezclas

asfálticas como para determinar los valores del módulo dinámico. Este ensayo puede ser con carga uniaxial o triaxial de compresión o tensión.
También estos procedimientos y metodología se pueden realizar bajo la norma UNE-EN 12697-26, ANEXO C, que es la que desarrollaremos en el presente trabajo.

Para materiales visco-elásticos lineales como mezclas asfálticas, la relación esfuerzo deformación bajo una carga sinusoidal continua, es definida como el módulo complejo dinámico (E*). El módulo complejo se define como la razón de la amplitud del esfuerzo sinusoidal en un tiempo dado (t), y la frecuencia angular de carga (ω). La Figura muestra la respuesta del material visco-elástico dado el arreglo del ensayo, en la ecuación siguiente



$$E^* = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\sigma_0 e^{i\omega t}}{\varepsilon_0 e^{i(\omega t-\phi)}} = \frac{\sigma_0 \sin \omega t}{\varepsilon_0 \sin(\omega t - \phi)}$$

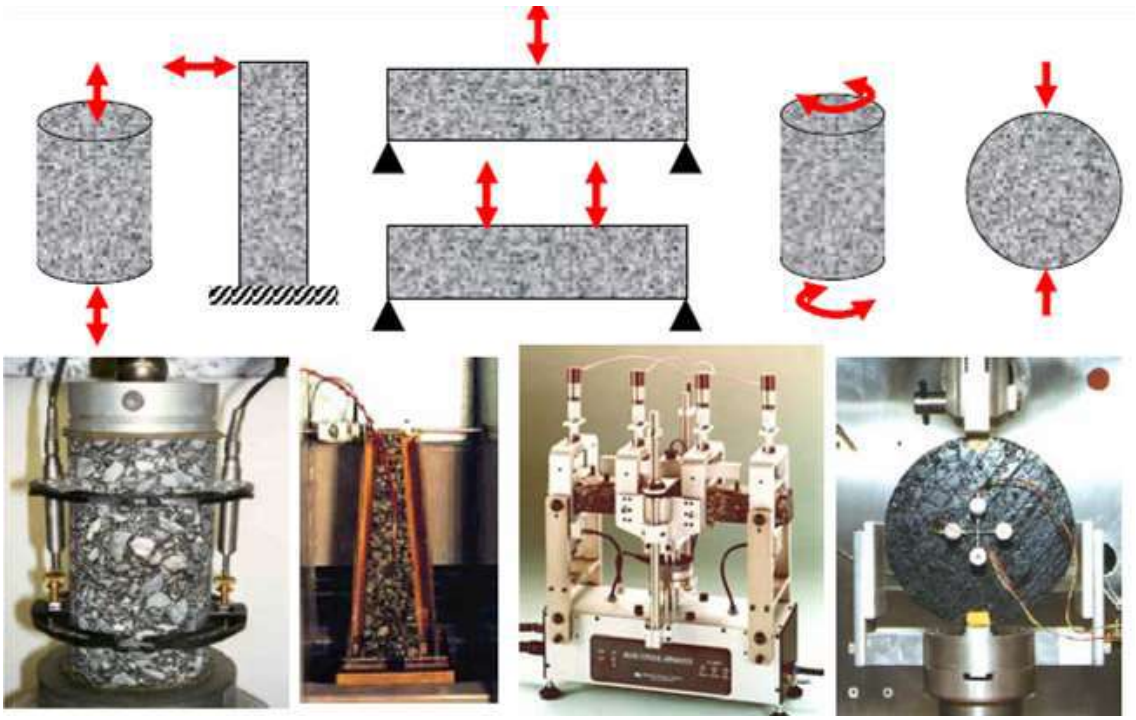
Donde:

σ_0 = esfuerzo pico (máximo)
ε_0 = deformación unitaria pico (máxima)
ϕ = ángulo de fase (grados)
ω = velocidad angular
t = tiempo, segundos

Matemáticamente, el módulo dinámico se define como el valor absoluto del módulo complejo: $|E^*| = \sigma_0/\varepsilon_0$. Las principales variables del ensayo son el módulo dinámico $|E^*|$, y el ángulo de fase φ, el cual es un indicador de las propiedades visco-elásticas de la mezcla o del ligante asfáltico. El módulo dinámico en compresión $|E^*|$ de la mezcla, es similar en principio al módulo complejo de cortante de ligantes asfálticos G*. Ambos módulos están teóricamente relacionados por medio de la siguiente ecuación:

$$E^* = 2(1+\mu)G^* \qquad (\mu \text{ Módulo de Poisson})$$

Dentro de los tipos de ensayos desarrollados se encuentran los que figuran en el siguiente esquema:



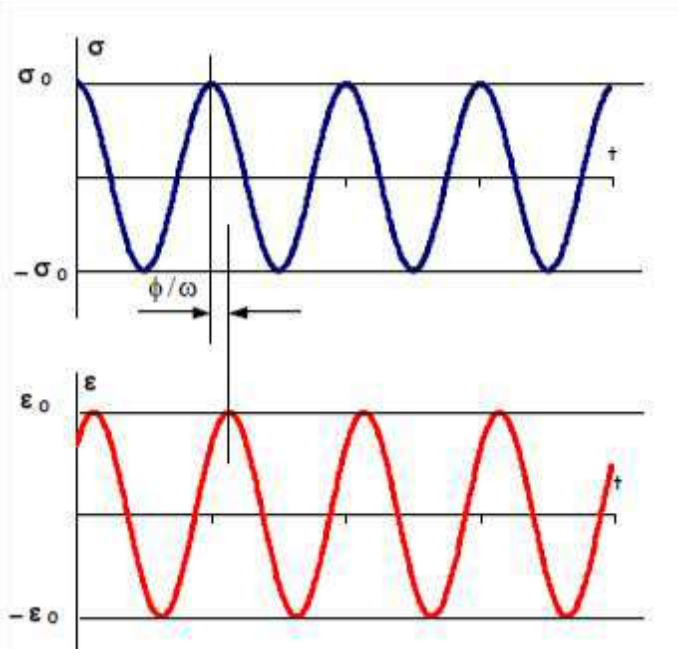
Esquema de técnicas para las determinaciones modulares

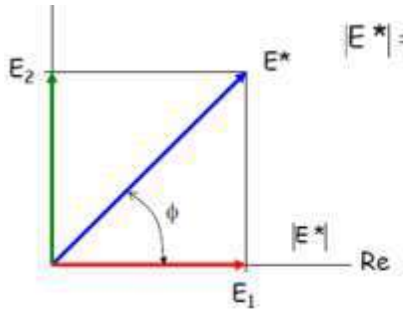
Si se supone el concepto de aplicación de una tensión dinámica sinusoidal σt un material visco-elástico responderá con una deformación sinusoidal ωt desfasada en el tiempo.

ω_t Frecuencia angular
Φ ángulo de fase

$$E^* = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon(t)} = \frac{\sigma_0 \cdot \text{sen}(\omega t)}{\varepsilon_0 \cdot \text{sen}(\omega t - \phi)} = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0}\left(\frac{\text{sen}(\omega t)}{\text{sen}(\omega t - \phi)}\right) = E_d\left(\frac{\text{sen}(\omega t)}{\text{sen}(\omega t - \phi)}\right)$$

$$Ed = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0}$$





$$|E^*| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0}\left(\cos^2\phi + sen^2\phi\right)$$

$$|E^*| = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0}$$

denominado módulo del módulo complejo o módulo dinámico

$$\tan\phi = \frac{E_2}{E_1}$$

$$E_1 = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0}\cdot\cos\phi \qquad E_2 = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0}\cdot sen\phi$$

Este valor de Módulo de Rigidez E, puede ser determinado experimentalmente para las mezclas asfálticas empleadas en pavimentos y caracterizar las mismas en función de la rigidez, siendo una guía del comportamiento relativo en el pavimento.

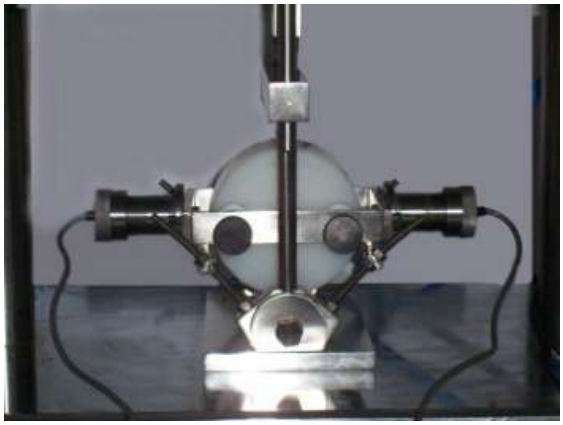
La metodología de ensayo es la siguiente: las probetas se someten a deformación en su rango lineal, bajo cargas repetidas; se miden las amplitudes del esfuerzo aplicado y de la deformación, junto con la diferencia de fase entre el esfuerzo y la deformación. En general las frecuencias que se utilizan son

Frecuencias = 0,1 – 0,2 – 0,5 – 1 – 2 – 5 – 10 – 20 – 50 Hz

Al finalizar la secuencia se vuelve a 0,1 Hz para verificar que la probeta no ha sufrido daños.
La diferencia de rigidez deberá ser < 3 %. Se limita la deformación máxima a 20 mm. Las temperaturas de ensayo son: 0; -/+10; -/+15; -/+20; -/+30 y -/+ 40 ºC. Se mide tanto la fuerza como el desplazamiento y el ángulo de fase. Con estas variables se calculan: E1 – E2 – E* – [E*]

3. EQUIPO EMPLEADO

El equipo empleado está conformado por una prensa neumática, la cual se coloca dentro de un recinto con temperatura controlada. Para la medición de la fuerza aplicada se utiliza una celda de carga tipo “S” y para las mediciones de deformación transversal dos LVDT los cuales se colocan diametralmente opuestos.
El equipo se controla mediante un software instalado en una PC, donde se pueden visualizar los resultados del ensayo en tiempo real y exportar los mismos a planillas Excel.

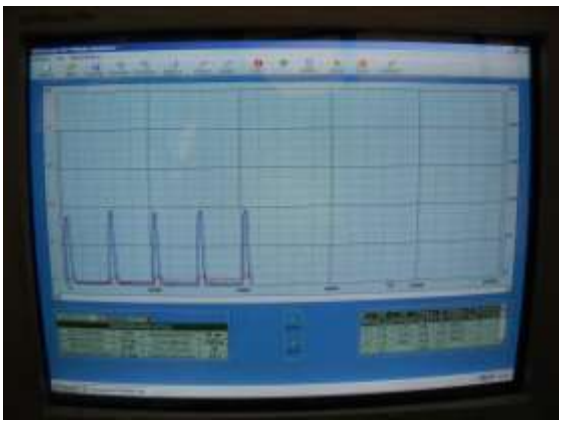
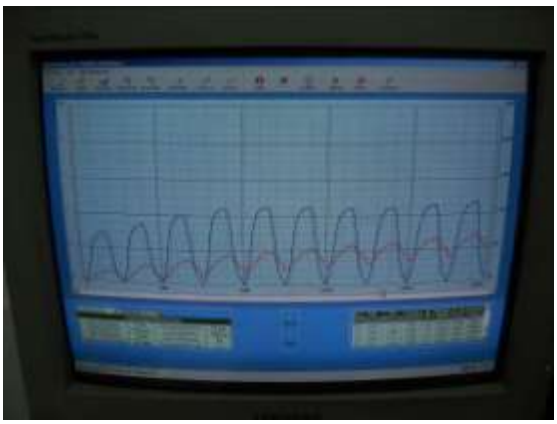


Vista del equipo utilizado

Carga aplicada

Impulsos de carga repetidas que se alternan con periodos de descanso.

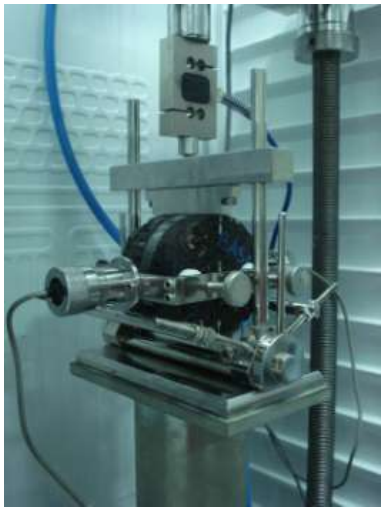
Onda de medio seno
Tiempo de subida = 124 ms
Tiempo total de ciclo = 3 s

Carga aplicada en onda de medio seno, 1Hz y 5 Hz de frecuencia

Probetas y/o testigos

Son aceptables las dimensiones de las probetas Marshall. Se deben trazar dos diámetros opuestos sobre las caras de la probeta. Las mismas se deben acondicionar a la temperatura de ensayo para luego colocarlas en posición de ensayo, ajustando los LVDT en forma correcta.



Probeta de mezcla asfáltica al momento del ensayo

Ensayo

Se aplican 10 impulsos de carga para acondicionamiento dónde no se registran lecturas. Luego se aplican 5 impulsos y se registran carga y deformación.

Los rangos de deformación y carga aceptables son:

Deformación entre 3 y 20 mm
Esfuerzo > 0,5 KN

De los 5 impulsos aplicados, para cada uno se calcula el Módulo de Rigidez

El módulo dinámico se puede calcular utilizando la expresión (1):

$$Sm = \frac{F.(1+0{,}27)}{z.h} \qquad (1)$$

Siendo:

Sm: módulo de rigidez medido [MPa]
F: valor máximo de la carga vertical aplicada [N]
z: amplitud de la deformación horizontal [mm]
h: espesor medio de la probeta [mm]
v: coeficiente de Poisson

Se realiza un ajuste de superficie según la siguiente ecuación

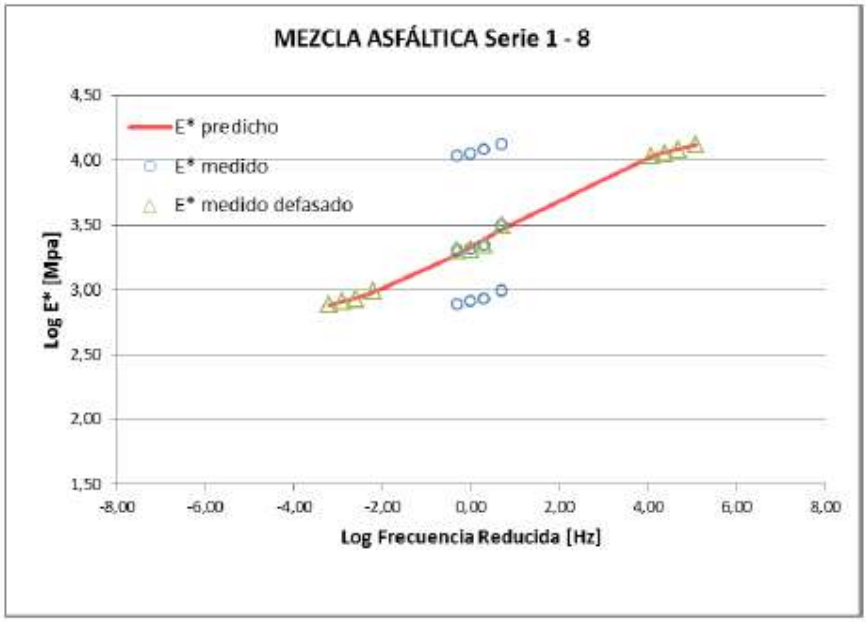
S'm = Sm * (1-0.322 * (log(Sm) - 1.82) * (06.0 - k)

Se retira la probeta, se gira 90° y se vuelve a ensayar.

Sm del segundo ensayo no debe variar más del 10 % o menos del 20 % que el primer ensayo.
El valor medio de ambos ensayos se registra como el Módulo de Rigidez de la probeta.

Curva Maestra

Como producto final se puede confeccionar la Curva Maestra de la Mezcla Asfáltica. Se selecciona una temperatura de referencia y se construye la Curva Maestra desplazando las isotermas trazadas para otras temperaturas, mediante una traslación realizada estrictamente a lo largo de la escala de tiempos de carga. El factor de desplazamiento (shift factor) se debe determinar mediante ajuste, bien gráficamente o bien mediante cálculo, con objeto de obtener una curva continua a la temperatura requerida.
A posteriori se presenta un ejemplo de cálculo de los desfasajes y la Curva conformada:



Temperatura [°C]	Frecuencia [Hz]	E* [Mpa]	log (*f*)	log (aT)	Log Frecuencia Reducida [Hz] log (ξ)=log(*f*)+log(aT)	log (E*) medido	log (E*) predicho función Sigmoidal	Errores| cuadrados	E* predicho [Mpa]
5	0,5	10.837	-0,30	4,37	4,07	4,03	4,03	0,0000662	12.000
5	1	11.255	0,00	4,37	4,37	4,05	4,06	0,0000473	11.435
5	2	11.992	0,30	4,37	4,67	4,08	4,09	0,0000580	12.204
5	5	13.349	0,70	4,37	5,07	4,13	4,12	0,0000370	13.163
25	0,5	2.023	-0,30	0,00	-0,30	3,31	3,28	0,0009583	1.884
25	1	2.071	0,00	0,00	0,00	3,32	3,33	0,0002370	2.146
25	2	2.211	0,30	0,00	0,30	3,34	3,39	0,0020477	2.454
25	5	3.156	0,70	0,00	0,70	3,50	3,47	0,0009387	2.941
40	0,5	770	-0,30	-2,90	-3,21	2,89	2,88	0,0000110	764
40	1	812	0,00	-2,90	-2,90	2,91	2,91	0,0000001	812
40	2	845	0,30	-2,90	-2,60	2,93	2,94	0,0001596	869
40	5	983	0,70	-2,90	-2,21	2,99	2,98	0,0000816	962

Esta determinación es la utilizada en las metodologías de cálculo de estructuras de pavimentos.

4. VALORACION DE LAS MEZCLAS EN ESTUDIO

Se recuerdan la nomenclatura y los valores Marshall finales obtenidos en las mezclas diseñadas según los valores informados en el capítulo 1

- **Mezcla 1. Con 100 % FG proveniente de la arena de trituración con CA-30**
- **Mezcla 2. Con 100 % FG proveniente de la arena de trituración con AM-3**
- **Mezcla 3. Se reemplaza el PT 200 de la arena de trit. Por FC con CA-30**
- **Mezcla 4. Se reemplaza el PT 200 de la arena de trit. Por FC con AM-3.**

FG: Filler Granítico
FC: Filler Cal

Síntesis de los valores Marshall obtenidos

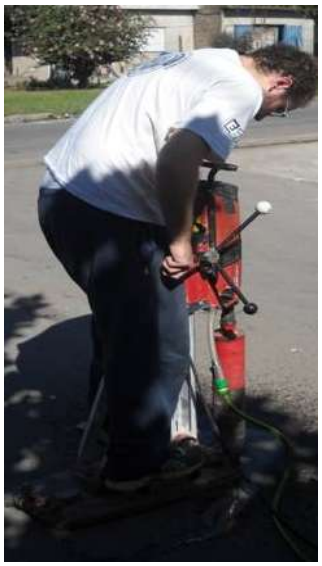
Parámetro	**Unidades**	**Mezcla 1 FG CA-30**	**Mezcla 2 FG AM-3**	**Mezcla 3 FC CA-30**	**Mezcla 4 FC AM-3**
Porcentaje óptimo de Asfalto	%	4.7	4.7	4.8	4.8
Densidad Marshall (Dm)	g/cm^3	2.323	2.422	2.422	2.418
Densidad Rice (Dr)	g/cm^3	2.410	2.510	2.508	2.499
Vacíos	%	3.6	3.5	3.4	3.2
Estabilidad	Kg	1078	1210	1029	1290
Fluencia	mm	3.6	4.0	3.3	3.8
Relación E/F	Kg/cm	2855	3025	3118	3394
VAM*	%	13.9	14.9	13.8	14.8
Relación B/V	%	78.4	76.6	84.2	78.3

Para este trabajo se empleo la norma UNE – EN 12697 – 26, Mezclas bituminosas, Parte 26: Rigidez, Anexo C: Ensayo de tracción indirecta sobre probetas cilíndricas. Esta norma determina los métodos para caracterizar la rigidez de las mezclas asfálticas.
Cabe destacar que en dicha norma se especifica que el ensayo se hará tanto a distintas frecuencias: 0,1 – 0,2 – 0,5 – 1 – 2 – 5 – 10 – 20 – 50 Hz, como a distintos escalones de temperatura 0; -/+10; -/+15; -/+20; -/+30; -/+ 40 ºC. Vale decir que esto es para observar el comportamiento de la mezcla a diversas condiciones.

En este trabajo, lo que se propuso fue estudiar la influencia en el módulo de rigidez que tiene tanto el tipo de asfalto como el tipo de filler utilizado en las mezclas elegidas para el Proyecto de I+D+i de referencia, como así observar la relación entre los valores obtenidos del ensayo de módulo de rigidez y los valores obtenidos del ensayo de ahuellamiento (Wheel Tracking Test). Ambos ensayos hecho sobre las mismas mezclas.

La experiencia comenzó con la extracción de testigos de las probetas utilizadas para el ensayo de WTT (Wheel Tracking Test), siendo estas un total de 8 probetas, 2 de cada tipo de mezcla (CA-30 con filler granítico, CA-30 con cal de aporte, AM-3 con filler granítico y AM-3 con cal de aporte), se procedió al

calado de al menos 3 testigos por cada probeta ensayada, sobre la zona no afectada por el ensayo. Del total de testigos obtenido se eligió (en función de su regularidad superficial y densidad) un testigo representativo de cada tipo de mezcla.



Vista de la extracción de testigos de las probetas de WTT después de ser ensayadas y testigos extraídos para la experiencias

Una vez elegidos los testigos a ensayar se continuó con la determinación del diámetro y el espesor de las probetas, tomando la medición de dos diámetros perpendiculares y tres espesores.
En segunda instancia se lleva a cabo el acondicionamiento, dejando las probetas a ensayar 4 horas a la temperatura indicada para luego estar en condiciones de ensayar. Se decidió ensayar a escalones de temperatura de: 10, 20 y 30 °C, con frecuencias de 0,5; 1; 2 y 5 Hertz.

- **Mezcla 1. Con 100 % FG proveniente de la arena de trituración con CA-30**

Condición de Ensayo	Testigo	Densidad [gr/cm^3]	Frecuencia [Hz]	Ed1 [Mpa]	Ed2 [Mpa]	ACEPTA	Edprom [Mpa]
10ºC	1.1-2.4	2,401	0,5	16115	15932	SI	16023
			1,0	16693	16044	SI	16368
			2,0	16733	16837	SI	16785
			5,0	19594	19905	SI	19749
20ºC	1.1-2.4	2,401	0,5	6207	6272	SI	6239
			1,0	6690	6500	SI	6595
			2,0	7442	6927	SI	7185
			5,0	9378	9631	SI	9504
30ºC	1.1-2.4	2,401	0,5	2898	2978	SI	2938
			1,0	2918	2999	SI	2959
			2,0	3145	3214	SI	3179
			5,0	6140	6205	SI	6173

- **Mezcla 3. Se reemplaza el PT 200 de la arena de trit. Por FC con CA-30**

Condición de Ensayo	Testigo	Densidad [gr/cm^3]	Frecuencia [Hz]	Ed1 [Mpa]	Ed2 [Mpa]	ACEPTA	Edprom [Mpa]
10ºC	3.2-4.1	2,393	0,5	16064	14544	SI	15304
			1,0	16490	15568	SI	16029
			2,0	17174	15965	SI	16569
			5,0	20110	20517	SI	20314
20ºC	3.2-4.1	2,393	0,5	5421	5207	SI	5314
			1,0	5652	5284	SI	5468
			2,0	5966	5819	SI	5893
			5,0	8566	8055	SI	8311
30ºC	3.2-4.1	2,393	0,5	1831	1996	SI	1913
			1,0	1936	1818	SI	1877
			2,0	2492	2266	SI	2379
			5,0	4801	4433	SI	4617

- **Mezcla 2. Con 100 % FG proveniente de la arena de trituración con AM-3**

Condición de Ensayo	Testigo	Densidad [gr/cm^3]	Frecuencia [Hz]	Ed1 [Mpa]	Ed2 [Mpa]	ACEPTA	Edprom [Mpa]
10ºC	5.1-6.4	2,394	0,5	10112	9855	SI	9984
			1,0	10127	10428	SI	10277
			2,0	10541	10427	SI	10484
			5,0	12736	12224	SI	12480
20ºC	5.1-6.4	2,394	0,5	6211	5357	SI	5784
			1,0	6502	5595	SI	6049
			2,0	7145	6701	SI	6923
			5,0	9065	7846	SI	8456
30ºC	5.1-6.4	2,394	0,5	1717	1475	SI	1596
			1,0	1608	1535	SI	1571
			2,0	1932	1721	SI	1826
			5,0	3114	2825	SI	2969

- **Mezcla 4. Se reemplaza el PT 200 de la arena de trit. Por FC con AM-3.**

Condición de Ensayo	Testigo	Densidad [gr/cm^3]	Frecuencia [Hz]	Ed1 [Mpa]	Ed2 [Mpa]	ACEPTA	Edprom [Mpa]
10ºC	7.1-8.2	2,417	0,5	15867	13059	SI	14463
			1,0	16542	14042	SI	15292
			2,0	17034	17104	SI	17069
			5,0	19268	19342	SI	19305
20ºC	7.1-8.2	2,417	0,5	5295	4963	SI	5129
			1,0	5360	4969	SI	5165
			2,0	5845	5352	SI	5598
			5,0	8640	7516	SI	8078
30ºC	7.1-8.2	2,417	0,5	1693	1480	SI	1586
			1,0	1720	1706	SI	1713
			2,0	1890	1811	SI	1850
			5,0	3218	3058	SI	3138

Se puede observar en los resultados obtenidos que en las mezclas donde se empleó asfalto CA-30, las que tuvieron adiciones de filler granítico dieron mayores valores de módulo que aquellos que tuvieron adición de filler cal. Dichas diferencias se acentuaron cuando las probetas fueron sometidas a menor frecuencia de carga y mayor temperatura, lo cual resulta lógico ya que es una situación crítica en los pavimentos.
Observando el comportamiento de las mezclas con asfalto modificado AM-3, se repite la diferencia en cuanto al mejor comportamiento de las mezclas con filler granítico como adición, frente a las que tuvieron filler cal.
En este caso las diferencias observadas en la variación de frecuencias y temperaturas fueron menores que en el caso de las mezclas con CA-30, lo que indica que las mezclas con AM-3 reflejaron menor susceptibilidad térmica y menor susceptibilidad frente a la variación en la velocidad de carga.

No obstante para frecuencias elevadas el Módulo de Rigidez de las mezclas con ligante modificado es de menor valor que el de la mezcla con ligante convencional e igual filler de aporte.

5. CONCLUSIONES

Se puede observar en los resultados obtenidos que en las mezclas donde se empleó asfalto CA-30, las que tuvieron adiciones de filler granítico dieron mayores valores de módulo que aquellos que tuvieron adición de filler cal. Dichas diferencias se acentuaron cuando las probetas fueron sometidas a menor frecuencia de carga y mayor temperatura. Lo mismo ha ocurrido cuando se utiliza asfalto AM-3.
En este caso las diferencias observadas en la variación de frecuencias y temperaturas fueron menores para el uso de asfalto AM-3 que en el caso de las mezclas con CA-30, lo que indica que las mezclas con AM-3 reflejaron menor susceptibilidad térmica y menor susceptibilidad frente a la variación en la velocidad de carga.