

DETERMINACION DEL MODULO DINAMICO (STIFFNESS) DE MEZCLAS ASFALTICAS UTILIZADAS EN PAVIMENTOS DE LA REGION LITORAL

Ings. Fernando MARTINEZ, Silvia ANGELONE y Jorge R. TOSTICARELLI

Laboratorio Vial - IMAE - Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería - Universidad Nacional de Rosario.

RESUMEN

Se destaca la importancia del conocimiento de las características dinámicas de los distintos materiales que componen las estructuras viales y en particular las mezclas asfálticas con el objeto de una correcta evaluación del comportamiento en servicio como así también para la definición de los parámetros de entrada en los modernos métodos de diseño de pavimentos y programas de análisis estructural por computación.

Se han determinado los valores de Módulo Dinámico (Stiffness) de distintas mezclas asfálticas de uso habitual en la región Litoral de la Argentina para diferentes condiciones de temperatura y frecuencia de sollicitación y en condiciones experimentales correspondientes al ensayo de tracción indirecta, similar al utilizado anteriormente para estudios de fatiga.

Los resultados obtenidos que se presentan en forma de Curvas Maestras de comportamiento para una dada frecuencia de referencia y han sido comparados con los que son posibles de obtener para cada tipo de mezcla analizada, utilizando los métodos analíticos de estimación establecidos en el Manual de Diseños de Pavimentos Shell 1978, encontrándose una buena correlación.

Adicionalmente, se ha efectuado la calificación de las distintas mezclas estudiadas estableciendo el código S (Stiffness) correspondiente a las mismas según dicho método Shell 1978.

I - INTRODUCCION

El conocimiento del módulo dinámico de los distintos materiales que componen una estructura vial y en particular de las mezclas asfálticas adquirió gran importancia desde el momento en que en la Argentina se comenzaron a aplicar métodos racionales de diseño de pavimentos flexibles, particularmente el Método Shell, en sus versiones "Curvas Shell 1963" y "Manual Shell 1978"

Estos métodos parten de una modelización de la estructura a través de la fijación de los espesores y de las características elásticas-dinámicas de cada uno de las capas componentes, verificando en cada caso que ninguno de los materiales sobrepase, en la condición crítica de servicio, los valores máximos admisibles establecidos a partir de los criterios de falla más comunes:

- fisuración por fatiga
- deformación permanente

El planteo de cálculo implica una esquematización de la estructura tanto desde el punto de vista geométrico como estructural en el marco del cual el conocimiento del módulo dinámico de las mezclas asfálticas es un dato de entrada necesario para la resolución del problema.

Pese a que este tipo de métodos se aplica en nuestro país desde hace dos décadas pocos han sido los esfuerzos por desarrollar los métodos experimentales necesarios para determinar los parámetros básicos (módulo dinámico) o para verificar la validez de las hipótesis que permiten adoptarlos a partir de las características individuales de los materiales componentes de las mezclas y de su formulación. Uno de estos esfuerzos condujo hace algunos años al desarrollo de la técnica experimental propuesta por Kallas (1).

La técnica de ensayo empleada en esta oportunidad para la determinación del módulo dinámico o stiffness de distintas mezclas asfálticas para diferentes condiciones de temperaturas y tiempos de aplicación de cargas es la tracción indirecta por compresión diametral adoptada con iguales objetivos a los aquí propuestos por el Estado Norteamericano de Texas y la República del Brasil con aplicación a mezclas asfálticas (2) (3) (4).

Los resultados obtenidos han sido ordenados con el objeto de construir “Curvas Maestras” de comportamiento que muestran la variación del módulo dinámico de las mezclas asfálticas estudiadas para condiciones variables de temperatura y frecuencias de sollicitación de cargas.

Estas “Curvas Maestras” permiten además la rápida calificación de las mezclas asfálticas analizadas con el código “S” referente al stiffness con el criterio propuesto por el Manual Shell 1978 y por lo tanto su directa aplicación al diseño estructural de pavimentos flexibles por éste u otros modernos métodos computacionales.

II - MODULO DINAMICO (STIFFNESS) DE MEZCLAS ASFALTICAS

El concepto de “stiffness” fue introducido originalmente por Van der Poel, término que ha sido traducido inicialmente como “rigidez” y más recientemente como “módulo dinámico” de las mezclas asfálticas, con el objeto de caracterizar el comportamiento de las mismas en el campo de variación de la temperatura y el tiempo de aplicación de las cargas. Dado el carácter termoreológico y viscoelástico de los materiales ligados con asfalto, el módulo dinámico es fuertemente dependiente de la temperatura de la mezcla y del tiempo (o de la frecuencia) con que la carga es aplicada a la mezcla asfáltica. Resumidamente puede decirse que el módulo dinámico establece una relación funcional que vincula las tensiones aplicadas y las deformaciones resultantes para cada condición particular de temperatura y tiempo o frecuencia de aplicación de las cargas y que se expresa por:

$$Edin_{(t,T)} = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

donde $Edin_{(t,T)}$ es el módulo dinámico de la mezcla correspondiente a una temperatura T y un tiempo de aplicación de cargas t; σ es el estado de tensiones impuesto y ϵ la deformación específica inducida en el material.

El módulo dinámico de una dada mezcla asfáltica aumenta cuando disminuye la temperatura de ensayo y se mantiene constante la frecuencia de sollicitaciones, o bien cuando manteniéndose constante la temperatura de ensayo aumenta la frecuencia de sollicitación. La temperatura y el tiempo de carga juegan, por lo tanto, un rol recíproco.

III - TECNICA EXPERIMENTAL ADOPTADA

Como consecuencia del análisis de los distintos ensayos para la determinación del módulo dinámico de mezclas asfálticas, se concluyó con la adopción del ensayo de tracción indirecta por

compresión diametral de una probeta cilíndrica tipo “Marshall”, porque ofrece condiciones de simplicidad de ejecución y factibilidad de incorporación a la técnica vial argentina. Las razones básicas sobre las que se apoya esta elección son coincidentes con las expuestas en un trabajo anterior sobre el uso de este tipo de técnica en ensayos de fatiga (5).

La técnica experimental utilizada consiste en aplicar sobre una probeta cilíndrica dos fuerzas distribuidas a lo largo de sus dos generatrices, teniendo estas sollicitaciones aplicadas un carácter dinámico y cuya magnitud con el tiempo según sea la frecuencia pre-establecida.

III. 1 - Desarrollo Teórico

Las sollicitaciones aplicadas inducen en la probeta un estado biaxial de tensiones cuya distribución y variación respecto al plano de carga y uno perpendicular a él se muestran en la figura N° 1.

Cada punto del plano horizontal, perpendicular al plano de carga se encuentra sollicitado por tensiones σ_x y σ_y que pueden ser calculadas a partir de las expresiones (1) y (2).

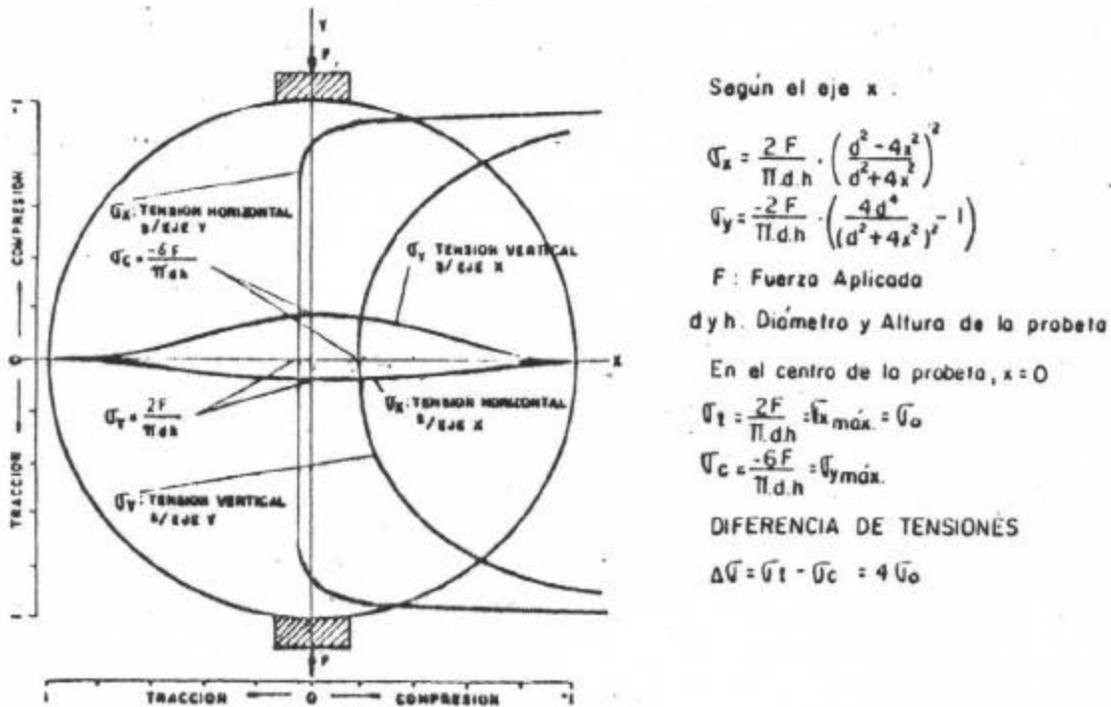


Fig. N° 1: Estado de tensiones en la probeta sometida al ensayo de tracción indirecta.

$$s_x = \left(\frac{2F}{\pi d h} \frac{d^2 - 4x^2}{d^2 + 4x^2} \right)^2 \quad (1)$$

$$s_y = \frac{-2F}{\pi d h} \frac{4d^2}{(d^2 + 4x^2)^2} - 1 \quad (2)$$

H: es la altura de la probeta
D: es el diámetro de la probeta
X: es la abscisa del punto considerado
F: es la fuerza aplicada
X: es la tensión de tracción horizontal
Y: es la tensión de compresión vertical

Debido a la aplicación de este estado de tensiones, el diámetro horizontal sufre una deformación ϵ_x que responde a la expresión:

$$e_x = \frac{S_x}{E_{din}} - \mu \frac{S_y}{E_{din}} \quad (3)$$

E_{din} : es el módulo dinámico de la mezcla asfáltica

μ : es la relación de Poisson

A partir de las expresiones (1), (2) y (3) es posible escribir la deformación específica ϵ_x como:

$$e_x = \frac{2F}{E_{din} \pi h d} \frac{4m l^4 - 16d^2 x^2}{(d^2 - 4x^2)^2} + (1 - \mu) \quad (4)$$

Cuya integración sobre una determinada base de medida de longitud "l" permite calcular la variación de longitud Δ de la misma.

La integración matemática de la expresión (4) lleva definitivamente a que el módulo dinámico de la mezcla asfáltica pueda determinarse según una relación que responde a:

$$E_{din} = \frac{F}{h \Delta} (K_1 + \mu K_2) \quad (5)$$

Δ : es la variación de longitud experimentada por la base de medida

K_1 y K_2 : son constantes que dependen de la longitud l de la base de medida

Se ha adoptado una base de medida de longitud l = 30mm dispuesta en coincidencia con el sector central del diámetro horizontal normal al plano de carga; de tal manera que la fórmula utilizada para el cálculo del módulo dinámico de las mezclas asfálticas, determinado sobre probetas tipo Marshall y a partir de la expresión (5) resulta finalmente:

$$E_{din} = \frac{F}{h \Delta} (0.168 + 0.523 \mu) \quad (6)$$

F: es el valor máximo de la carga aplicada dinámicamente en kg

h: es la altura de la probeta en cm

Δ : es la variación de la longitud de la base de medida, en cm

E_{din} : es el módulo dinámico en kg/cm² para las condiciones particulares de temperatura y frecuencia de carga

μ : es la relación de Poisson para la que se adoptó un valor constante de la temperatura y la frecuencia de sollicitación.

III. 2 - Dispositivos Experimentales

El equipo desarrollado consiste en un conjunto de dispositivos capaces de aplicar cargas pulsantes a lo largo de dos generatrices diametralmente opuestas de probetas cilíndricas y de medir deformaciones resultantes en la misma en condiciones controladas de temperatura, nivel de tensiones y tiempo de aplicación. La fotografía N°1 muestra un detalle de los sensores de medición de las cargas aplicadas y las deformaciones resultantes. Se nota especialmente el simple dispositivo desarrollado para montar los transformadores diferenciales que permite efectivizar en la práctica la base de medida de 30 mm, tenida en cuenta en el desarrollo teórico. La descripción detallada del equipo de ensayo ha sido realizada en el trabajo anterior ya mencionado (5).

III. 3 - Condiciones de ensayo

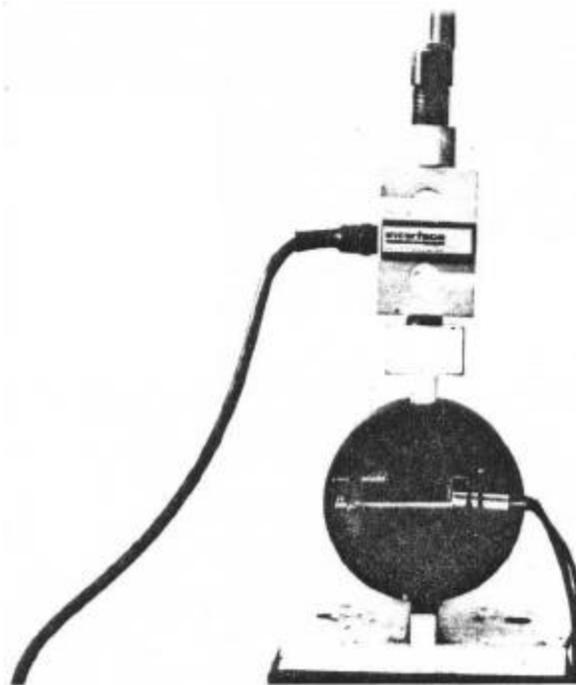
Los ensayos han sido llevados a cabo bajo las siguientes condiciones experimentales:

Temperaturas: 5°C, 20°C y 40°C

Tiempos de aplicación de las cargas: 0,2s; 0,25s; 0,5s y 1s.

Las probetas utilizadas son del tipo Marshall normalizadas, de 100 mm de diámetro y 63 mm de altura aproximadamente.

De cada una de las mezclas analizadas se seleccionaron cuatro probetas en base al criterio de similar densidad y uniformidad superficial tratando que el promedio de densidad del grupo seleccionado coincida aproximadamente con la densidad media de la totalidad de probetas disponibles. De esta forma cada punto experimental que permitió deducir las curvas de comportamiento, fue determinado en base al promedio de resultados de cuatro probetas.



Fotografía N° 1: Detalle de los sensores de medición de cargas y deformaciones

III. 4 - Mezclas asfálticas estudiadas

Las determinaciones experimentales de módulo dinámico de mezclas asfálticas han sido realizadas sobre distintas clases de probetas; de acuerdo a sus características de confección pueden ser clasificadas de la siguiente forma:

- A) Probetas compactadas en laboratorio a partir de mezclas asfálticas producidas en laboratorio.
- B) Probetas compactadas en laboratorio a partir de mezclas asfálticas producidas en plantas asfálticas de obra.
- C) Probetas extraídas de pavimentos construídos.

Por su parte han sido ensayadas siete diferentes mezclas asfálticas, todas ellas ejecutadas en caliente correspondiendo a distintas obras de la zona del Litoral y utilizando diferentes tipos de agregados pétreos y asfaltos.

En particular las mezclas ensayadas identificadas como:

Correspondientes al grupo A

- A₁ Concreto asfáltico ejecutado con agregado pétreo de trituración granítico.
- A₂ Concreto asfáltico ejecutado con arcilla expandida como agregado pétreo artificial.

Correspondientes al grupo B

- B₁ Concreto asfáltico ejecutado con agregado pétreo basáltico triturado utilizado como capa de base en la R.N. 16 - Pcia. del Chaco.
- B₂ Mezcla asfáltica del tipo arena triturada - arena natural - asfalto, utilizada como mezcla de restitución de gálibo en la R.N. 16 - Pcia. del Chaco.
- B₃ Concreto asfáltico ejecutado con agregado pétreo basáltico destinado a la capa de base en la RN. 11 — Pcia. de Formosa.

Correspondientes al grupo C

- C₁ Concreto asfáltico ejecutado con agregado pétreo granítico triturado destinado a la capa de base y utilizado en el tramo experimental de la RN. 188 — Pcia. de Buenos Aires.
- C₂ Mezcla asfáltica del tipo suelo calcáreo - arena - asfalto, usado como material de base en el tramo experimental de la R.N. 188 — Pcia. de Buenos Aires.

La figura N° 2 muestra un resumen de las características fundamentales de las mezclas asfálticas analizadas.

	MEZCLAS ASFÁLTICAS ANALIZADAS						
	A1	A2	B1	B2	B3	C1	C2
Vol. Agreg. Vg (%)	85.80	86.00	83.53	80.80	81.80		
Vol. Asf. Vb (%)	9.50	10.90	11.72	14.50	12.06		
Vol. Vacíos Va (%)	4.70	3.10	4.75	4.70	6.10		
Tam. Máx. (mm)	20	20	30	9	30		
Dens. Marshall	2.376	1.563	2.479	2.412	2.483	2.363	
Asf. Orig. P 25°	70-100	70-100	70-100	70-100	70-100	70-100	70-100
Asf. Recup P 25°			51	51	59		
T800 pen.	54	54	55	55	53	53	54
lp	0	0	0.1	0.1	0.1	0	0

Figura N° 2: Características de composición de las mezclas analizadas.

IV - RESULTADOS OBTENIDOS

La magnitud de la fuerza aplicada es medida por la celda de carga que emite una señal eléctrica

proporcional al esfuerzo solicitante. Esta señal es procesada por un puente extensométrico que permite derivarla a un registrador gráfico automático de tal manera de obtener un registro continuo de la magnitud de la fuerza aplicada respecto del tiempo.

Las deformaciones producidas en la probeta son medidas a través de dos transformadores lineales variables (LVDT) que emiten una señal eléctrica proporcional a la variación de longitud que sufre la base de medida sobre la que están fijados. Esta señal es procesada por un puente extensométrico que permite la derivación de la misma al registrador gráfico de tal manera de obtener un registro continuo de la variación de la deformación respecto del tiempo.

El tiempo de aplicación de cargas y la duración total del ciclo pueden ser seleccionados previamente y controlados por un tiempo rizador electrónico.

La figura N° 3 muestra a modo de ejemplo los registros gráficos de la variación de la carga y de la deformación horizontal en función del tiempo para una de las probetas ensayadas a la temperatura de 40°C y para las cuatro condiciones de tiempo de aplicación de cargas utilizados.

A fin de presentar los resultados experimentales obtenidos resulta más conveniente introducir el concepto de frecuencia de solicitación en lugar del tiempo de aplicación de la carga.

Asumiendo la representación de la variación de la carga en función el tiempo se asemeja a una semi-sinusoide cuyo semi-período coincide con el tiempo de carga, es posible expresar los valores del módulo dinámico experimentalmente obtenidos en función de la frecuencia de solicitación y de la temperatura de ensayo. Los resultados promedios de cada una de las mezclas asfálticas estudiadas expresados en esta forma se muestran en la figura N° 4.

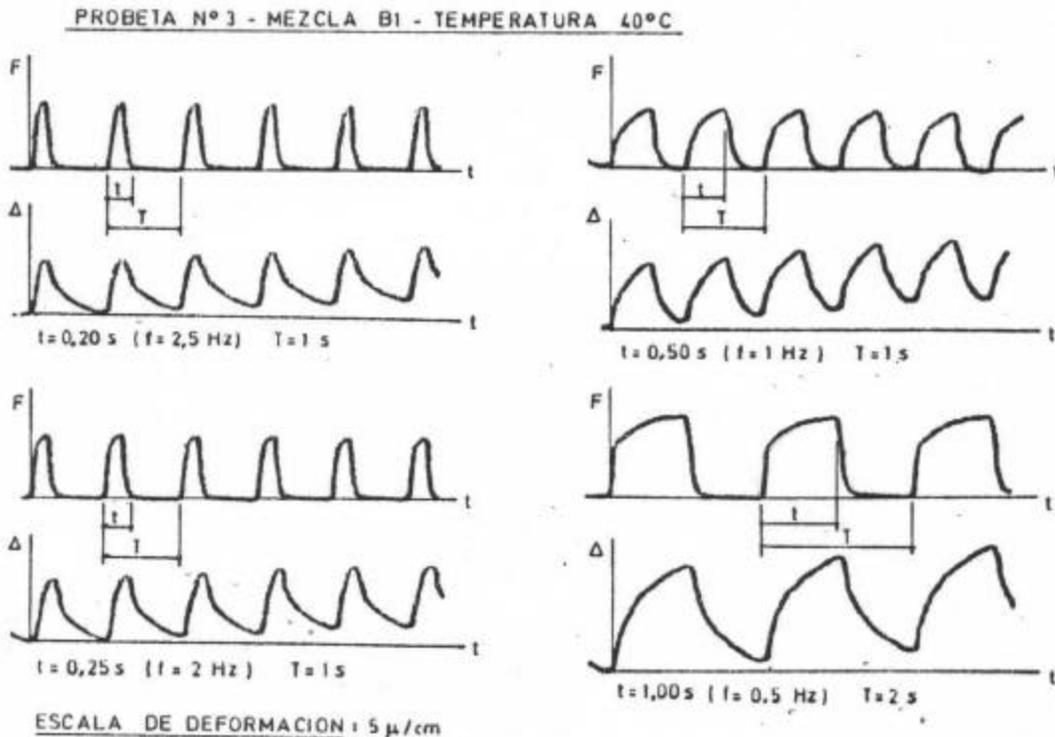


Figura N° 3 Ejemplo real del registro de la variación de la fuerza aplicada y de la deformación respecto del tiempo.

T (s)	Temperatura 5° C				Temperatura 5° C				Temperatura 5° C			
	0.2	0.25	0.5	1.0	0.2	0.25	0.5	1.0	0.2	0.25	0.5	1.0
F (Mz)	2.5	2.0	1.0	0.5	2.5	2.0	1.0	0.5	2.5	2.0	1.0	0.5
A1	97500	83000	69000	57500	30000	28000	24000	18000	4500	4250	3150	2450
A2	37000	33000	27000	23000	12000	11500	9000	7000	2700	2550	2000	1550
B1	111000	106000	81000	69500	24000	23000	20000	16500	3150	3050	2750	2350
B2	66000	59000	53000	41500	13000	12000	10000	7000	1800	1600	1400	1300
B3	123500	100000	86000	65500	34500	28000	24000	16000	3500	3200	3000	2100
C1	87500	74000	67000	55000	28000	24000	20000	16000	4700	3950	3200	2400
C2	24000	22500	20500	17000	15500	12500	11000	9700	3000	2950	2650	1850

Figura N°4 Resultados experimentales para las mezclas asfálticas analizadas mediante el ensayo de tracción indirecta.

V - ANÁLISIS DE RESULTADOS

El módulo dinámico de una mezcla asfáltica depende fundamentalmente del tipo y contenido volumétrico del agregado mineral, del contenido volumétrico del asfalto y del stiffness de este último para cada dada condición de temperatura y frecuencia de aplicación de cargas. Desde este punto de vista, las características viscoelásticas de una mezcla son, preponderantemente, consecuencia del comportamiento viscoelástico del asfalto.

Si se considera que los factores de equivalencia entre la temperatura y la frecuencia de sollicitación correspondientes a las mezclas asfálticas son los mismos que los del asfalto que las compone se puede recurrir al ábaco de Van der Poel para calcular el stiffness de asfaltos, presentar los resultados de los ensayos en la forma de una curva única de comportamiento denominada "Curva Maestra" que muestra la variación del módulo dinámico de la mezcla asfáltica en función de la temperatura para una frecuencia de referencia. (6)

Esta Curva Maestra permite con suficiente grado de aproximación la extrapolación de los resultados experimentales a un dominio de frecuencias y temperaturas más amplio que el cubierto por los ensayos y es obtenida a partir de traslaciones de cada valor experimental paralelamente al eje de las temperaturas; la amplitud de este desplazamiento depende de la frecuencia correspondiente a cada ensayo y de la frecuencia correspondiente a cada ensayo y de la frecuencia que se ha escogido como referencia. (6)

Las traslaciones pueden ser obtenidas también aplicando alguna de las numerosas leyes empíricas existentes propuestas para de terminar estos coeficientes de equivalencia denominadas genéricamente "coeficientes de traslación", o factores de corrimiento (7).

La figura N° 5 muestra un ejemplo de confección de la curva maestra para la mezcla A₁ a la frecuencia de referencia de 10 Hz a partir de los resultados experimentales trasladados aplicando para ello el ábaco de Van der Poel.

En la Figura N° 6 se presentan las curvas maestras obtenidas para todas las mezclas analizadas para la frecuencia de 10 Hz (tiempo de aplicación de las cargas de 0,02 s) que es la frecuencia con la cual puede considerarse sollicitada una estructura vial cuando es transitada por camiones pesados a una velocidad del orden de los 60 km/h.

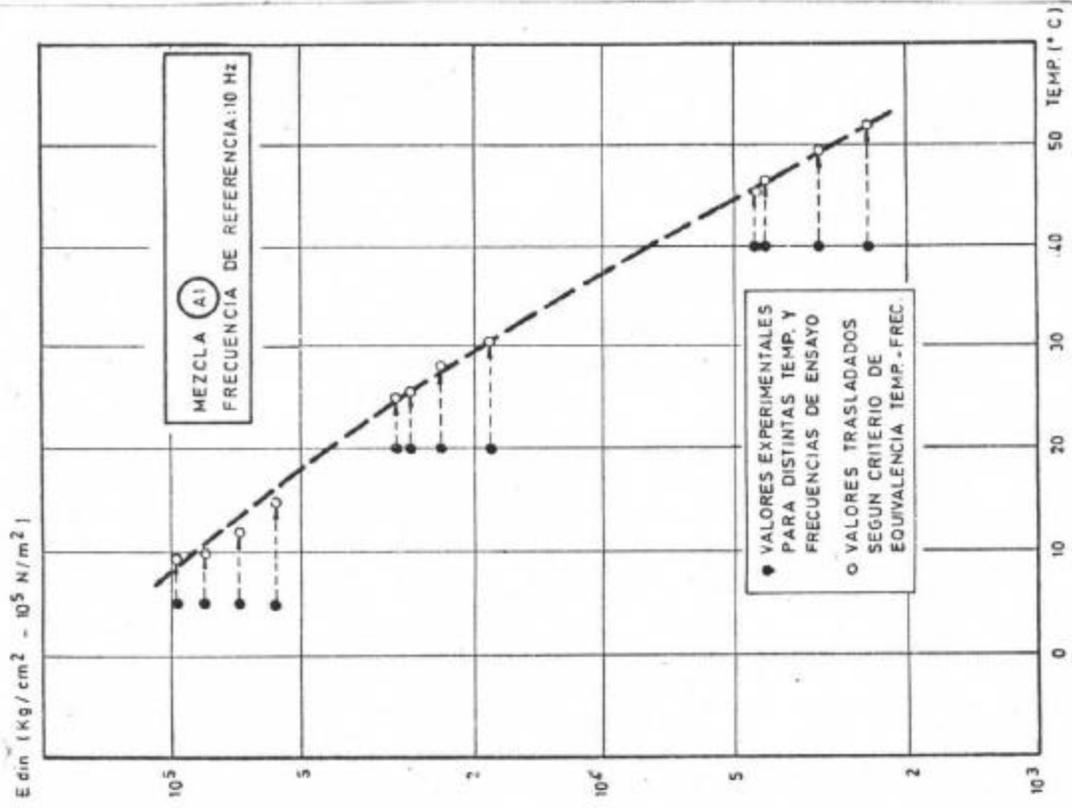


Figura n°5: Ejemplo de confección de la curva maestra.

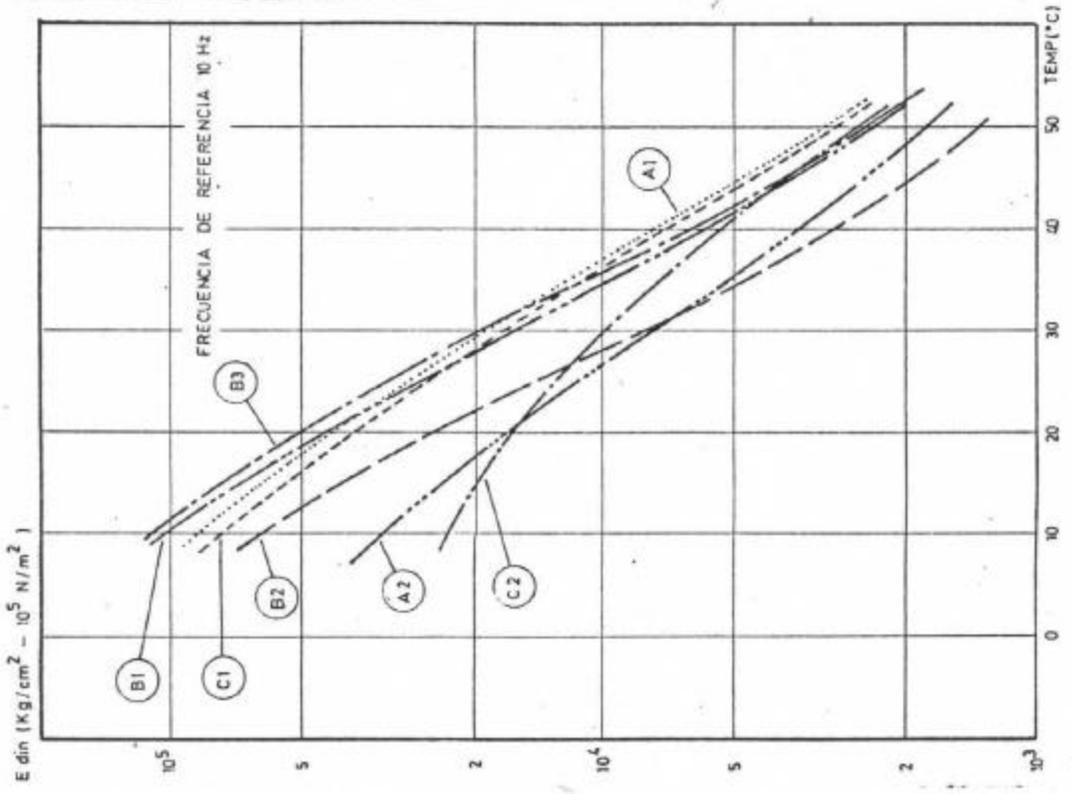


Figura n°6: Curvas maestras de las mezclas analizadas

VI - ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON EL MANUAL SHELL 78.

VI. 1 - Predicción del módulo dinámico de mezclas asfálticas

El manual de diseño de pavimentos Shell 1978 proporciona un método de estimación del módulo dinámico de mezcla asfálticas fundamentando en los resultados obtenidos a partir de un gran número de determinaciones experimentales para distintas mezclas de diferente composición (8). Este procedimiento de predicción se presenta en la forma de un monograma con el cual el módulo dinámico de la mezcla asfáltica se obtiene a partir del porcentaje volumétrico de agregados, el porcentaje volumétrico del asfalto y el stiffness de este último para las correspondientes condiciones de temperatura y frecuencia de sollicitación; la aplicación del monograma está limitada para aquellas condiciones en que el stiffness del asfalto es superior a $5 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ (50 kg/cm^2).

Este método de predicción del módulo dinámico ha sido aplicado a cuatro de las siete mezclas analizadas las que fueron ejecutadas con agregados no porosos de baja absorción de similares características a las mencionadas en dicho Manual.

La figura N° 7 presenta una comparación de los resultados alcanzados experimentalmente con los obtenidos por la aplicación de ese método de predicción, mostrando en general una buena correlación con diferencias que no superan al 50% en ninguno de los casos analizados. Si se considera que el Manual Shell 1978 establece con referencia a este nomograma que las determinaciones del módulo dinámico pueden estar afectadas de un error de hasta el 200 % y a pesar de ello los resultados son de suficiente precisión para los propósitos del diseño, puede concluirse que:

- el tipo de mezclas analizadas responde al mismo tipo de características que las que dieron origen al nomograma en el estudio experimental inicial lo que representa la aplicabilidad del método de predicción para mezclas argentinas siempre que las mismas se ajusten a la utilización de agregados no porosos de baja absorción.
- si se considera que los errores experimentales cometidos en este estudio de determinación de módulos dinámicos es inferior al 30 %, la aplicación de este método experimental aumenta la precisión que respecto al conocimiento del stiffness de las mezclas puede conseguirse aplicando el nomograma de estimación.

VI. 2 - Calificación de las mezclas

El manual Shell 1978 es un método racional de diseño de pavimentos cuyos resultados se presentan en la forma de "Cartas de dimensionamiento de espesores" preparadas para las condiciones particulares del proyecto que se trate considerando las características de los materiales a utilizar, una temperatura ponderada y el tránsito que solicitará a la estructura que se diseña.

En particular para las mezclas asfálticas, el módulo dinámico de las mismas es considerado a través de un código de comportamiento denominado código S correspondiente al stiffness, con dos variantes posibles S1 ó S2.

T	f	Mezcla A1			Mezcla B1			Mezcla B2			Mezcla B3		
		Exp.	Sh. 78	%									
5	2.5	97500	113000	16	111000	95000	-14	66000	65000	-2	123500	80000	-35
	2.0	83000	106000	28	106000	90000	-15	59000	6000	2	100000	75000	-25
	1.0	69000	90000	30	81000	80000	-1	53000	50000	6	86000	62000	-28
	0.5	57500	60000	4	69500	50000	-28	415000	35000	-16	655000	41000	-37
20	2.5	30000	24000	-20	24000	20000	-17	13000	13000	0	34500	17000	-50
	2.0	28000	23000	-18	23000	19000	-17	12000	12000	0	28000	15000	-46
	1.0	24000	18000	-25	20000	15000	-25	10000	9000	10	24000	12000	-50
	0.5	18000	-	-	16500	-	-	7000	-	-	16000	-	-

Figura N° 7: Comparación de los resultados experimentales con los del Manual Shell 1978.

La calificación S1 ó S2 no está directamente asociada a un tipo particular de mezcla asfáltica sino que la codificación que corresponde a la mezcla a la cual se le han determinado los valores de módulo dinámico se realiza por comparación con curvas características en una carta donde el módulo dinámico de las mezclas se presenta en función del stiffness del asfalto.

De acuerdo a las características de los asfaltos empleados en la ejecución de las mezclas, la codificación S debe ser completada con una calificación típica de los asfaltos: 50 ó 100.

Las curvas maestras obtenidas precedentemente para las siete mezclas analizadas se han comparado con las curvas de comportamiento para la cuatro posibilidades de calificación: S1-50, S1-100, S2-50 y S2-100.

A fin de facilitar la representación gráfica y en función del comportamiento que presentan las mezclas estudiadas, la figura N° 8 muestra las curvas maestras para 10 Hz de las cuatro mezclas tipo concreto asfáltico ejecutados con agregados pétreos naturales junto con las curvas típicas S1-50 y S1-100.

Se observa que las curvas correspondientes a los concretos asfálticos se agrupan muy apretadamente alrededor de la curva S1-50 sobre todo si se considera que las temperaturas de la mezcla con que trabajarán en la región Litoral oscilan entre los 20° y 35°C.

La figura N° 9 presenta las curvas maestras correspondientes a las restantes mezclas asfálticas junto con las curvas características S2-50 y S2-100 observándose que las mismas presentan distintas tendencias en razón de las distintas características de composición de las mezclas analizadas aquí. Si se considera que la temperatura de trabajo de estas mezclas en la región Litoral puede oscilar entre los 20° y 35°C, puede concluirse que las mismas pueden ser calificadas como S2-50. Una mención especial corresponde a la mezcla arena natural-arena de trituración-asfalto que sigue muy ajustadamente a la curva S1-100 en la mayor parte de su trazado, pudiéndole corresponder en ese caso como posible esa calificación.

VI. 3. CARACTERIZACION MAS AMPLIA DEL COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS ANALIZADAS

El módulo dinámico de las mezclas asfálticas puede variar dentro de un amplio rango que va desde los 1000 Kg/cm² para las condiciones de alta temperatura y/o grandes tiempos de aplicación de las cargas hasta los 500000 Kg/cm² para las condiciones opuestas.

El rango medio-superior de esta variación ha sido cubierta en la etapa experimental desarrollada hasta aquí en este trabajo y sus resultados son los normalmente aplicados al dimensionamiento de los espesores de las capas que componen la estructura del pavimento.

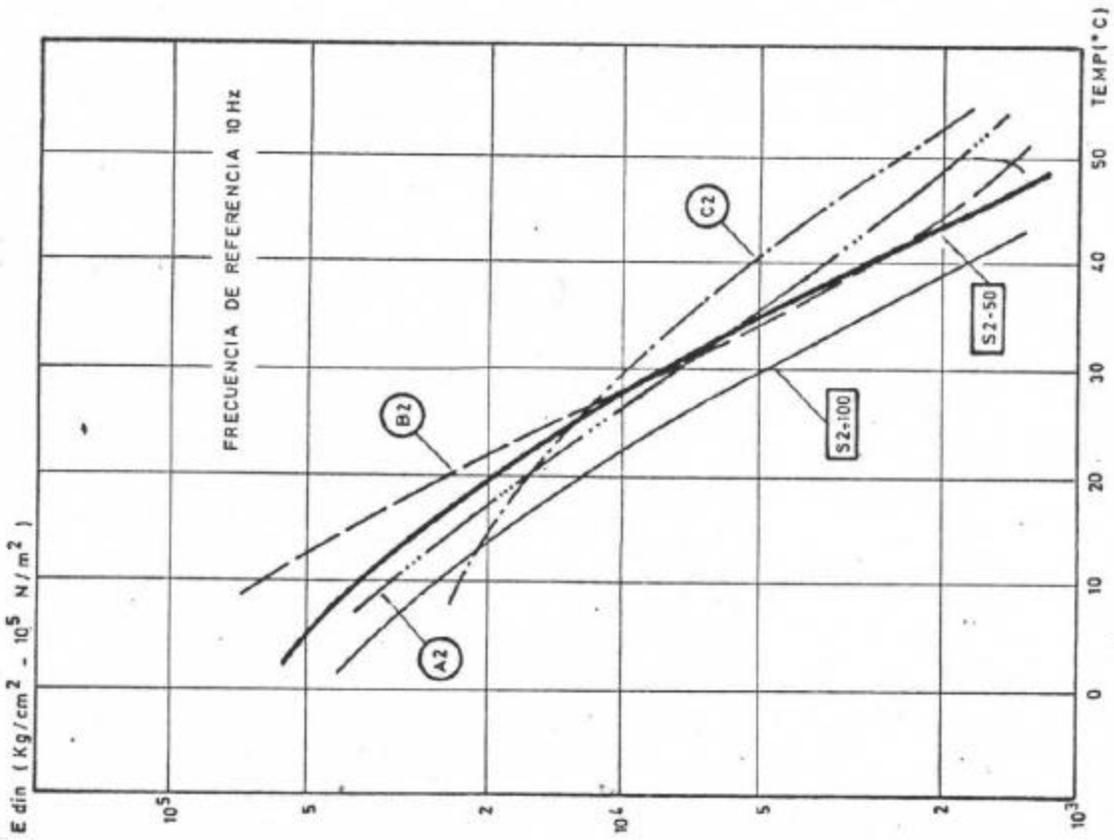


Figura n°9: Curvas maestras de las mezclas no convencionales

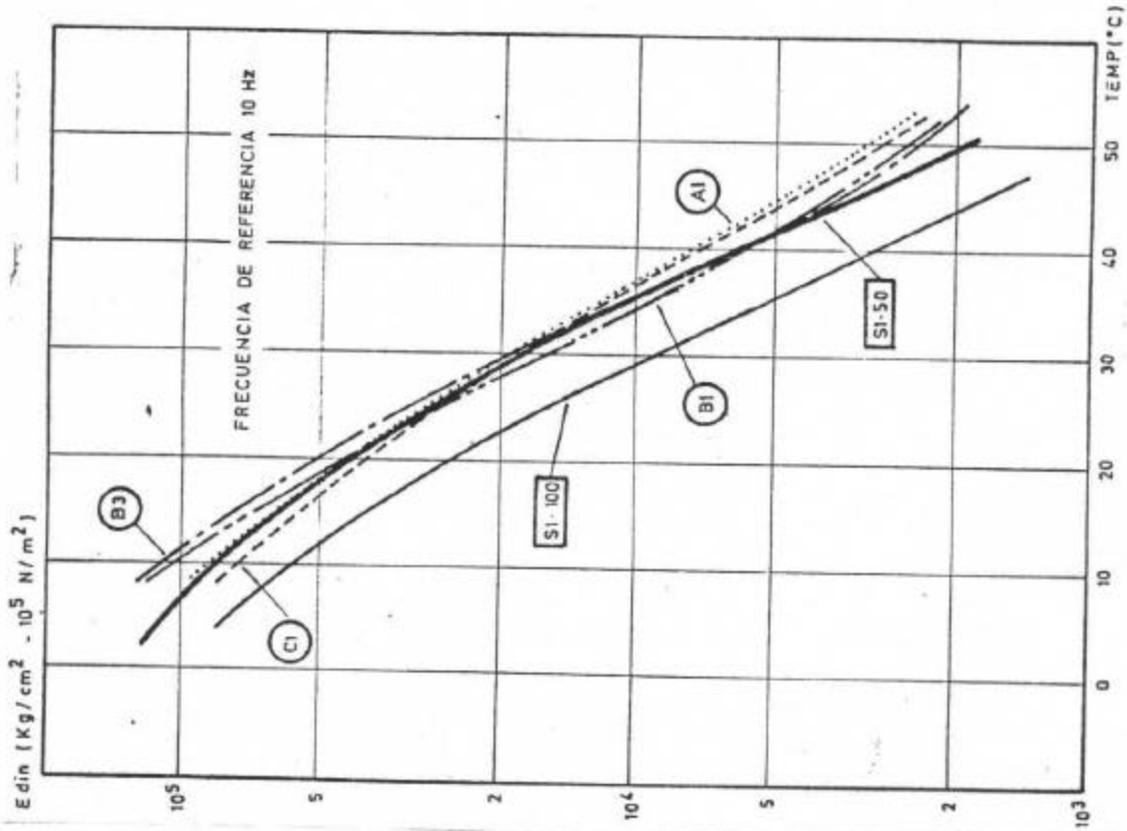


Figura n°8: Curvas maestras de las mezclas tipo concreto asfáltico

El campo de los valores bajos de módulo dinámico es utilizado en cambio en casos especiales de sollicitación (cargas que circulan a muy baja velocidad) o para la verificación desde el punto de vista de la resistencia al ahuellamiento de la estructura diseñada. Los resultados correspondientes a este rango de valores fueron determinados llevando a cabo una serie adicional de ensayos utilizando la metodología experimental denominada genéricamente como ensayos de creep (compresión inconfiada axial).

A este fin se ha adoptado un procedimiento similar al que recomienda el Manual Shell 1978 de creep por compresión cuyo fundamento consiste en medir las deformaciones que se producen en una probeta cilíndrica del material en estudio cuando es sollicitada por una tensión de compresión aplicada sobre sus caras paralelas de magnitud constante respecto del tiempo sin ningún confinamiento lateral y para condiciones prefijadas de temperatura. El equipo de ensayos utilizado es un consolidómetro de suelos adecuadamente modificado para llevar a cabo las experiencias, el que se muestra esquemáticamente representado en la figura N° 10.

Han sido ensayadas mediante este procedimiento cuatro de las siete mezclas asfálticas analizadas para las temperaturas de 25° y 40°C para una tensión de compresión de 1 Kg/cm² y con aplicación de carga durante 20 minutos.

Los resultados obtenidos junto con los correspondientes a los ensayos de tracción indirecta se presentan gráficamente en la figura N° 11 en donde el módulo dinámico de las mezclas se expresa en función del stiffness del asfalto para un amplio rango de frecuencias y/o temperaturas.

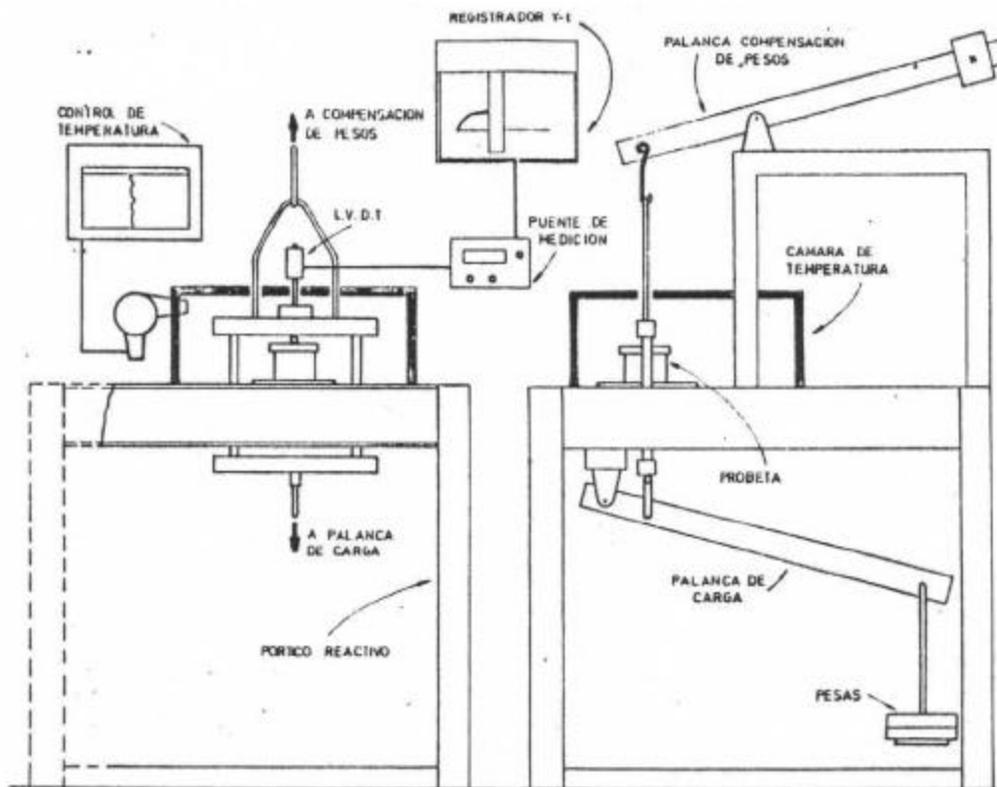


Figura N° 10: Equipo de ensayos de creep (Esquema)

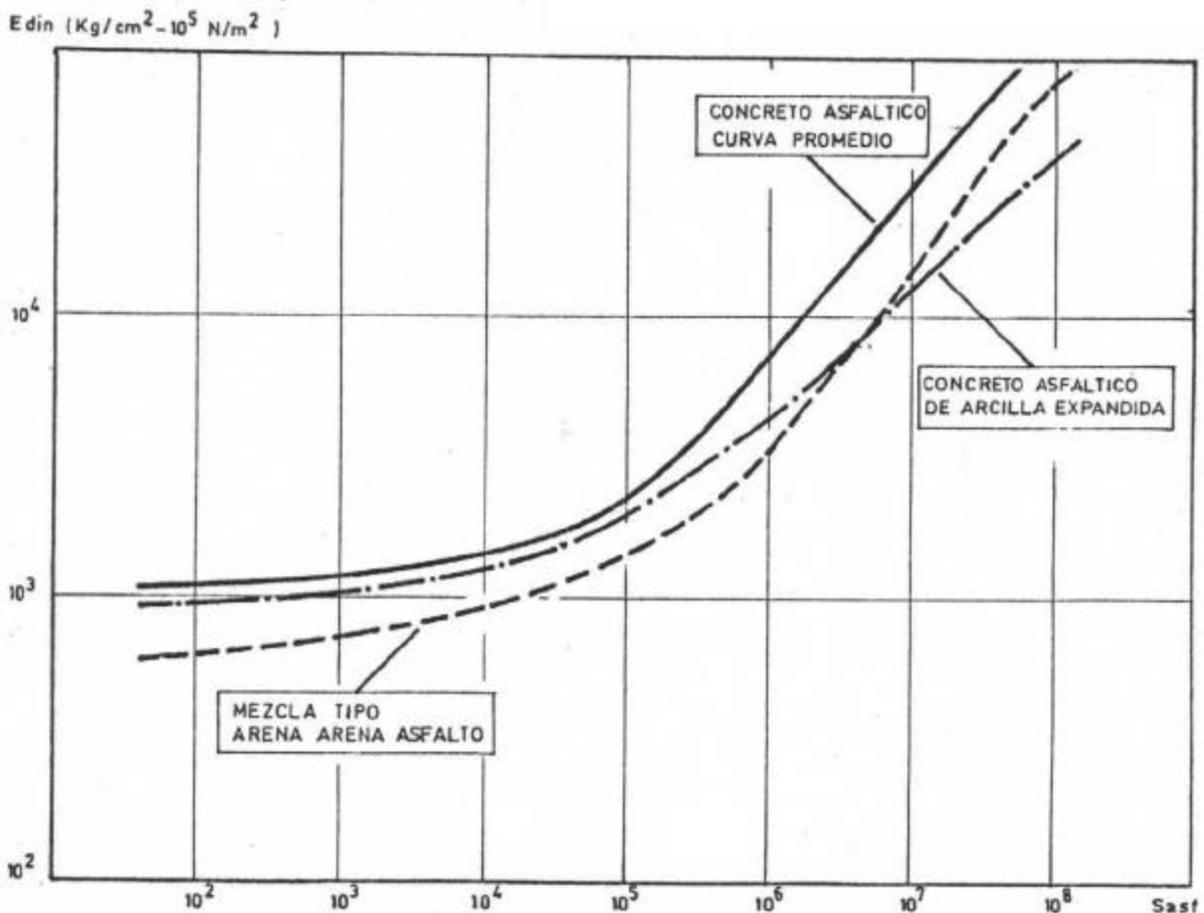


Figura Nº 11: Comportamiento de las mezclas analizadas en un amplio rango de variación del stiffness del asfalto.

VII - CONCLUSIONES

El presente trabajo significó la puesta a punto operacional de un conjunto de dispositivos experimentales desarrollados por el grupo de investigación de la Universidad de Rosario que permite, por primera vez en la Argentina, caracterizar las mezclas asfálticas utilizadas intensamente en la amplia región del Litoral.

Ha sido así posible no sólo analizar los concretos asfálticos convencionales (con agregados pétreos no porosos y de baja absorción) sino también mezclas con agregados pétreos no tradicionales y sobre los que no se disponía resultados experimentales propios ni extranjeros.

El análisis comparativo de los resultados respecto a los criterios y nomogramas expuestos en el Manual Shell 78 han sido para demostrar, por una parte, la total aplicabilidad del mismo a nuestras mezclas asfálticas y por otra, que se ha logrado con los resultados experimentales un mejor grado de precisión que el que resultaría de estimar el módulo dinámico de las mezclas asfálticas con los nomogramas del Manual. Esto resulta un significativo aporte a la aplicabilidad de los métodos computacionales al análisis racional de tensiones y deformaciones en el diseño estructural de pavimentos.

La complementación de los ensayos dinámicos de tracción por compresión diametral con los ensayos de creep por compresión estática inconfinaada permiten no sólo la caracterización de

las mezclas en un amplio rango de frecuencias y/o temperaturas de posible sollicitación, sino también encarar la verificación de la estructura diseñada al ahuellamiento.

VIII - REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. "Determinación en laboratorio del módulo de elasticidad dinámico de mezclas asfálticas" Ings. J. Tosticarelli, R. Borgazzi y R. Ferrero. 21a. Reunión del asfalto - 1978.
2. "Fatigue and resilient characteristics of asphalt mixtures by repeated load indirect tensile test" A. Adedimila and T.Kennedy. Researcha Report 183—5. Univ. of Texas at Austin. 1974.
3. "Ensayo de tracción indirecta para la evaluación de la resiliencia de revestimientos bituminosos brasileños" Ings. C. Queiroz y A. Visser. 21a. Reunión del asfalto. 1978.
4. "Módulos resilientes de concretos asfálticos" Ings. S. Pnto y E. Preussler. DNER. Brash. 1980.
5. "Resistencia a fatiga de mezclas asfálticas en ensayo de tracción indirecta" Ings. J. Tosticarelli, F. Martínez y S. Angelone. 2do. Congreso Latinoamericano del Asfalto. Mar del Plata, Argentina. 1983.
6. "Creep testing, a simple tool to juage asphalt mix stability" P.J.Van de Loo A.A.PT. 1974. Vol. 43.
7. "Conceituacao teorico-experimental da rigidez de misturas betuminosas" Ing. P.Gontijo. 2do.Congreso Latinoamericano del Asfalto. Mar del Plata, Argentina. Noviembre de 1983.
8. "Manual de diseños de pavimentos Shell 1978". Shell International Petroleum Company Limited. London. 1978.