

IAG106-01-2013
ANÁLISIS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA LA
DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE RIGIDEZ (STIFFNESS) DE
MEZCLAS ASFÁLTICAS
ANÁLISE DO ENSAIO DE TRAÇÃO INDIRETA PARA DETERMINAR
MÓDULO DE RIGIDEZ DE MISTURAS ASFÁLTICAS

Fernando Martinez
Laboratorio Vial – I.M.A.E - Universidad de Rosario
Rosario, Argentina
fermar@fceia.unr.edu.ar

Silvia Angelone
Laboratorio Vial – I.M.A.E - Universidad de Rosario
Rosario, Argentina
sangelon@fceia.unr.edu.ar

Marcela Balige
YPF SA. Asistencia Técnica y Desarrollo Especialidades - Asfaltos
Ciudad de Buenos Aires - Argentina
marcela.balige@ypf.com

Alejandro Berardo
YPF SA. Asistencia Técnica y Desarrollo Especialidades - Asfaltos
Ciudad de Buenos Aires - Argentina
alejandro.berardo@ypf.com

Resumen

El módulo de rigidez (Stiffness) de las mezclas asfálticas es una propiedad fundamental para la caracterización mecánica de las mismas y uno de los principales datos de entrada en los procedimientos de diseño de pavimentos flexibles. El mismo puede ser determinado mediante distintos procedimientos experimentales pero por su relativa sencillez de implementación, la medición a través de la metodología de la tracción indirecta por compresión diametral con cargas repetidas ha tenido una amplia difusión a nivel mundial. Particularmente en Latinoamérica, existen numerosos equipos con capacidad de realizar este ensayo. Consecuentemente se han elaborado en distintos países, normas y procedimientos para la ejecución de esta prueba mecánica. En muchos casos, éstos presentan particularidades vinculadas a definiciones, maneras y medios de medición de las magnitudes involucradas y condiciones de ensayo que difieren entre sí. Este trabajo presenta en primera instancia, un análisis comparativo y crítico de normas de ensayo desarrolladas en distintos países destacando similitudes y diferencias entre ellas. Luego se muestran y analizan los resultados obtenidos en un estudio sobre mezclas asfálticas ensayadas en dos laboratorios con diferentes equipos de ensayos y para distintas condiciones de temperatura y tiempos de carga con el objetivo de proporcionar los fundamentos que posibiliten formular una propuesta de norma de ensayo de alcance nacional para la Argentina.

Resumo

O módulo de rigidez (Stiffness) de misturas betuminosas é uma propriedade fundamental para a caracterização mecânica destes e um dos principais dados de entrada em processos de dimensionamento de pavimentos flexíveis. Este módulo pode ser determinado por vários procedimentos experimentais, mas por causa da sua relativa simplicidade de execução, a medição por meio do método de tração diametral com carregamentos repetidos de compressão diametral tem sido amplamente distribuída em todo o mundo. Particularmente na América Latina, há inúmeros equipamentos capazes de realizar este teste. Conseqüentemente, eles têm desenvolvido em diferentes países, diferentes regras e procedimentos para a execução deste teste mecânico. Em muitos casos, essas regras têm peculiaridades associadas às definições, formas e meios para medir as grandezas envolvidas e condições de ensaio. Este artigo apresenta, em primeira instância, uma análise comparativa de normas de testes desenvolvidos em diferentes países destacando semelhanças e diferenças. Em seguida, mostrar e analisar os resultados de um estudo de misturas de asfalto testado em dois laboratórios diferentes e equipamentos de teste para diferentes condições de temperatura e tempos de carga, a fim de proporcionar uma base racional e de permitir a formulação de uma norma de teste para Argentina.

INTRODUCCION

El conocimiento del módulo de rigidez (stiffness) de las mezclas asfálticas es evidentemente un elemento clave para el análisis y el diseño de pavimentos sustentados en principios mecanicistas. Durante mucho tiempo se ha discutido sobre cuál es el parámetro más apropiado para la caracterización mecánica de las mezclas asfálticas y al respecto, diferentes puntos de vista se pueden encontrar en la literatura. Así por ejemplo la Guía de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993 adoptó el Módulo Resiliente M_R para asignar un valor de aporte estructural a los materiales ligados con asfalto en tanto que posteriormente, es el Módulo Dinámico $|E^*|$ el adoptado en la Guía de Diseño Empírico Mecanicista de Pavimentos (MEPDG) desarrollada en el marco del proyecto NCHRP 1-37a y conocida popularmente como AASHTO 2002.

Más allá de esta discusión, la evidencia muestra que la metodología de determinación de módulos de deformación de mezclas asfálticas mediante el ensayo de tracción indirecta con cargas repetidas ha tenido y tiene una gran difusión a nivel mundial siendo innumerables las referencias que aparecen en la literatura sobre la aplicación de esta técnica. Hasta hace algunos años, la norma estadounidense ASTM D-4123 “Method for Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures” y otras normas desarrolladas a partir de ésta en distintos países han sido la referencia para la determinación de este módulo de deformación designado como “Módulo Resiliente M_R ”.

Más recientemente los países de la comunidad europea han establecido la norma EN 12697-26 “Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 26: Rigidez” que ha intentado armonizar la mayoría de las metodologías de ensayo más comúnmente utilizadas en ese continente para la determinación del módulo de deformación. Más precisamente, esta norma determina un parámetro denominado “Rigidez” de acuerdo a una serie de ensayos de laboratorio que incluyen ensayos de flexión en 2 puntos sobre especímenes trapezoidales o prismáticos (Anexo A), ensayos de flexión en 3 o 4 puntos de vigas prismáticas (Anexo B),

ensayo de tracción indirecta en probetas cilíndricas (Anexo C), ensayos de tracción-compresión directa de probetas cilíndricas (Anexo D), ensayos aplicando tracción directa sobre probetas cilíndricas o prismáticas (Anexo E) y ensayos aplicando tracción indirecta cíclica en probetas cilíndricas (Anexo F).

Con el objetivo de establecer las bases y fundamentos que posibiliten proponer una norma de ensayo para la determinación del módulo de rigidez de mezclas asfálticas usando el ensayo de tracción indirecta con cargas repetidas sobre probetas cilíndricas, este trabajo presenta en primera instancia, un análisis y comparación de diferentes normas de este tipo desarrolladas en distintos países. Posteriormente se presentan los resultados experimentales obtenidos en ensayos cruzados obtenidos en el Laboratorio Vial del IMAE y el Laboratorio del Servicio Técnico de YPF con el fin de comparar distintos equipos y operadores así como para evaluar diferentes factores que influyen estas determinaciones.

DESCRIPCION DEL ENSAYO

El ensayo de determinación del módulo de rigidez en mezclas asfálticas utilizando la configuración de tracción indirecta con cargas repetidas es ampliamente difundido. El mismo consiste en la aplicación de cargas pulsantes de corta duración distribuidas a lo largo de dos generatrices diametralmente opuestas y contenidas en un plano vertical sobre una probeta cilíndrica. Estas cargas son aplicadas a través de dos cabezales metálicos cóncavos de ancho preestablecido. Como resultado de estas fuerzas, las deformaciones resultantes a lo largo del plano diametral horizontal, perpendicular al plano de carga, son medidas mediante transductores de deformación. La Figura 1 muestra un esquema del ensayo y un registro típico en función del tiempo de la fuerza aplicada y las deformaciones resultantes.

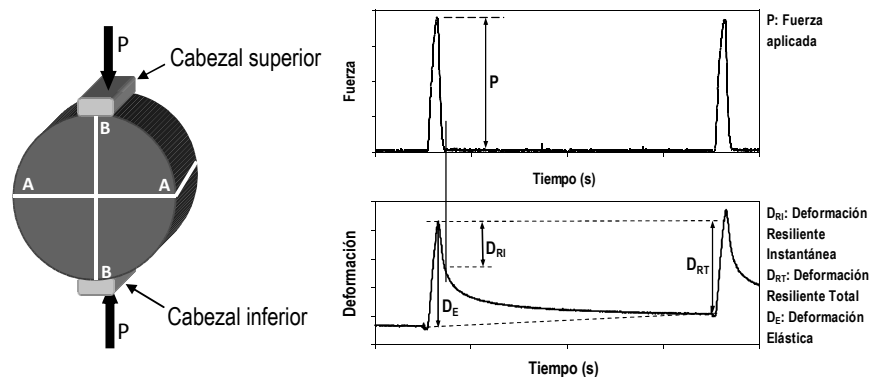


Figura 1: Esquema del ensayo y registros típicos

El módulo de rigidez es calculado entonces como una función de la carga máxima aplicada y la deformación resultante de la forma:

$$M_R = \frac{P}{D \cdot h} (0.27 + v) \quad (1)$$

donde:

M_R : módulo de rigidez (MPa)

- P : carga máxima aplicada (N)
D : deformación resultante considerada, como se verá más adelante (mm)
h : espesor de la probeta cilíndrica (mm)
v : relación de Poisson de la mezcla asfáltica

Resulta evidente que este módulo de rigidez resulta fuertemente dependiente de la temperatura a la que se lleva a cabo el ensayo así como de la duración del pulso de carga.

ANALISIS COMPARATIVO DE NORMAS DE ENSAYO

Se han evaluado distintos procedimientos de ensayo desarrollados a nivel internacional resaltando las similitudes y diferencias que presentan y detalles en cuanto al tipo de equipamiento que es requerido, procedimiento del ensayo, criterios para evaluar las deformaciones, magnitud de la carga de ensayo y duración del pulso de carga. Algunos puntos comunes tales como el uso de probetas cilíndricas de 100 o 150 mm de diámetro nominal, aplicación de cargas a través de cabezales de 12,7 o 19 mm de ancho según el diámetro de la probeta y la concavidad de estos cabezales con una curvatura igual al de la probeta ensayada no se han tenido en cuenta en este análisis.

De una manera general, estos procedimientos pueden ser separados en dos grandes grupos:

- aquellos que utilizan las deformaciones recuperables (resilientes) instantánea D_{RI} y total D_{RT} para el cálculo del módulo de rigidez de acuerdo a la ecuación (1); en consecuencia el módulo de rigidez es designado como Módulo Resiliente M_R .
- otros procedimientos que utilizan la deformación elástica D_E y que con la misma ecuación calculan el módulo de rigidez con la designación E.

La Tabla 1 presenta de una manera comparativa los aspectos más significativos de distintas normas de ensayo analizadas que consideran las deformaciones recuperables (resilientes). Por simplicidad, no se han incluido en este análisis otros procedimientos que consideran por ejemplo, la medición simultánea de las deformaciones horizontales y verticales con sensores de medición pegados sobre las caras planas de la probeta y con bases de medida de menor longitud que el diámetro como por ejemplo el Protocolo P07 de la FHWA, la norma ASTM D-7369-09 o el procedimiento AASHTO TP-31. Tampoco se incluye la norma colombiana I.N.V. E – 749 – 07 por ser muy similar a la Norma ASTM D-4123.

La Tabla 2 muestra los aspectos más significativos del procedimiento descrito en el ANEXO C de la Norma EN 12697, Parte 26 que a diferencia de los anteriores, basa el cálculo del módulo de rigidez en la deformación elástica.

El análisis de estas tablas muestra que si bien los objetivos de las distintas normas es el mismo, los procedimientos analizados presentan diferencias significativas particularmente en el número de ciclos del período de acondicionamiento, forma y duración del pulso de carga, frecuencia entre ciclos sucesivos, nivel de sollicitación máxima admisible, procedimiento de cálculo del valor medio final a informar y relación de Poisson a utilizar.

Tabla 1: Análisis comparativo de procedimientos que consideran la deformación recuperable

Características	ASTM D 4123	DNIT 135/2010 - ME	NLT-360	AS 2891.13
Origen	EE.UU	Brasil	España	Australia
Equipo	Servo- hidráulico o neumático	Neumático	Servo- hidráulico o neumático	Neumático o servo- hidráulico
Temperaturas de ensayo	5, 25 y 40 °C	25 °C	-10, 5, 20 y 40 °C	25 °C
Duración del pulso de carga	0.1 a 0.4 s	0.1 s	0.3, 0.2 y 0.1 s	0.04 s para pasar del 10 al 90% de la carga máxima
Forma del pulso	Semi-seno u otra adecuada	No se indica	No se indica	Triangular o semi-seno
Frecuencia de sollicitación	0.33, 0.5 ó 1 Hz	1 Hz	0.33, 0.5 y 1 Hz	0.33 Hz
Sensores de deformación	Horizontales (opcional: verticales)	Horizontales	Horizontales	Horizontales
Ciclos de acondicionamiento	50 a 200	200	50	5
Fuerza máxima aplicada	10 al 50% de la que produce la tensión de rotura a cada temperatura	30% de la que produce la tensión de rotura a cada temperatura	10 al 50% de la que produce la tensión de rotura	Suficiente para provocar una deformación recuperable de $5\pm 2\mu\text{m}$
Posiciones de ensayo	2 ortogonales	1 horizontal	1 horizontal	2 ortogonales
Deformación medida	Promedio de los 3 ciclos siguientes al acondicionamiento	A los 500, 600 y 700 ciclos después del acondicionamiento	1, 12, 24, 36 y 48 ciclos después del acondicionamiento	Promedio de los 5 ciclos siguientes al acondicionamiento
Deformación considerada	Recuperable (resiliente) instantánea y total	Recuperable (resiliente)	Recuperable (resiliente) instantánea y total	Recuperable (resiliente)
Medición de deformaciones	Al final del tiempo de carga y al final de cada ciclo	Al final de cada ciclo	Al final del tiempo de carga y al final de cada ciclo	Al final de cada ciclo
Parámetro obtenido	Módulo Resiliente M_R instantáneo y total Relación de Poisson si se midieron deformaciones verticales	Módulo Resiliente M_R , (promedio de los valores obtenidos a los 500, 600 y 700 ciclos)	Módulo Resiliente M_R , (promedio de los valores obtenidos a los 1, 12, 24, 36 y 48 ciclos y para las 3 frecuencias)	Módulo Resiliente M_R ,
Relación de Poisson	Valor medido ó 0.35	0.30	0.20 para -10 °C 0.25 para +5 °C 0.35 para + 20 °C 0.40 para +40 °C	0.40

Diversos autores han mostrado que la mayoría de estos aspectos resultan significativos en el valor del Módulo Resiliente y en consecuencia, se dificulta la comparación de valores que hayan sido obtenidos utilizando metodologías diferentes. La norma Europea tiene como antecedente a la Norma Británica DD-213 basada a su vez en los trabajos de Brown et al. (Brown y Cooper, 1989). Es importante destacar que este procedimiento identifica este módulo de rigidez E con el valor absoluto del Módulo Complejo $|E^*|$ como se indica en el artículo 3.1.1 de la misma. Sin embargo un cuidadoso análisis teórico muestra que esta suposición es altamente discutible ya que en este caso se trata de una aplicación repetida de un pulso de carga seguido de un período de reposo por lo que no es posible recrear una señal sinusoidal como la requerida en la definición del módulo complejo.

Tabla 2: Aspectos significativos de la norma EN 12697-26 (Anexo C)

Características	EN 12697-26 (Anexo C)
Origen	Comunidad Europea
Equipo	Neumático
Temperaturas de ensayo	No se indican. Recomendadas 2, 10 y 20 °C
Duración del pulso de carga	124 ± 4 ms desde el inicio del incremento de la carga hasta el valor máximo (tiempo de elevación de la carga)
Forma del pulso	Aproximada a un cuarto de seno limitada por un factor de superficie k. ($0.55 \leq k \leq 0.65$)
Frecuencia de solitación	1 ciclo cada 3 ± 0.1 s
Sensores de deformación	Horizontales
Ciclos de acondicionamiento	10 como mínimo
Fuerza máxima aplicada	Suficiente para provocar una deformación elástica de $5 \pm 2 \mu\text{m}$
Posiciones de ensayo	2 ortogonales
Deformación medida	Promedio de los 5 ciclos siguientes al acondicionamiento
Deformación considerada	Elástica
Medición de deformaciones	Hasta el valor máximo, descontando una porción de deformación supuesta irre recuperable
Parámetro obtenido	Módulo de rigidez E
Relación de Poisson	0.35

Tres diferencias fundamentales separan notablemente a esta norma Europea de las restantes incluidas en la Tabla 1: la utilización de la deformación elástica D_E para el cálculo del módulo de rigidez, la realización del ensayo para una deformación controlada y la caracterización del pulso de carga mediante el tiempo necesario para alcanzar la carga máxima (tiempo de elevación de carga o “rise time” en inglés) contrariamente a la duración total del mismo.

Estas diferencias hacen preferible considerar a este módulo de rigidez como un parámetro elástico tal como lo han hecho otros autores (Santagata y Bassani, 1999; Baldo et al. 2010; Pasetto y Baldo, 2006). Es importante destacar que el Laboratorio Vial del IMAE adoptó un criterio similar y de una manera casual, muy previamente a la aparición de la norma Europea (Martínez et al., 1985; Martínez y Angelone, 1996). Dado que desde el punto de vista de las definiciones y conceptos reológicos tradicionales esta definición del módulo rigidez resulta el más apropiado, se han adoptado los criterios establecidos por la Norma EN 12697-26 en su Anexo C para el desarrollo experimental que se describe a continuación.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Ensayos Cruzados

Con el objeto de analizar la aplicabilidad de la citada norma Europea y la influencia de diferentes factores involucrados en la determinación del módulo de rigidez E se han realizado una serie de ensayos cruzados de los que han participado el Laboratorio Vial del IMAE y el Laboratorio del Servicio Técnico Especialidades - Asfaltos de YPF. Se han elegido 4 cuatro probetas del tipo Marshall de dos diferentes mezclas asfálticas y 2 testigos calados de un pavimento. Estas 6 muestras han sido sometidas al ensayo de determinación del módulo de rigidez E siguiendo los lineamientos generales de la norma EN para las temperaturas de 10, 20, 30 y 40 °C y tiempos de elevación de la carga de 80, 100, 120, 160 y 200 ms. En cada una de las muestras se han marcado dos diámetros ortogonales identificando los planos de ensayo 1-1 y 2-2. El equipo utilizado en primera instancia ha sido diseñado y construido en el Laboratorio Vial del IMAE. La Figura 2

muestra una vista general del equipo y un detalle de los sistemas de medición de fuerzas y deformaciones. En el caso del Laboratorio del Servicio Técnico Especialidades - Asfaltos de YPF, el equipo utilizado es de tipo comercial denominado Servo-Pneumatic Universal Testing Machine NU-14 fabricado por Cooper Research Technology Ltd. y mostrado en la Figura 3.

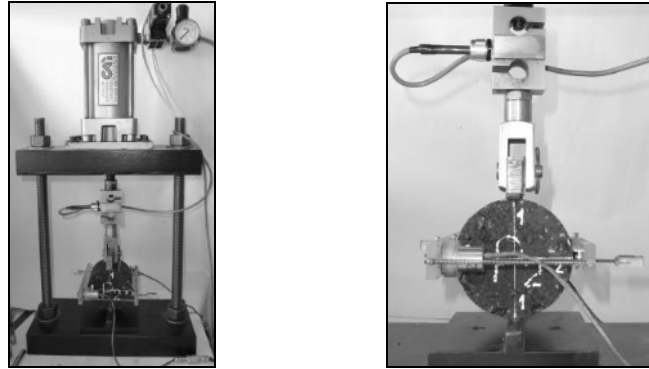


Figura 2: Equipo de ensayos del Laboratorio Vial – IMAE

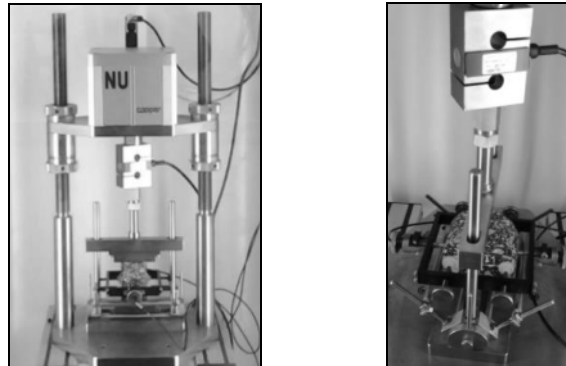


Figura 3: Equipo de ensayos del Laboratorio Servicio Técnico de YPF

En todos los casos se ha verificado que los resultados obtenidos por ambos laboratorios y los dos planos de carga no difieren en más del 15% respecto al promedio de ambos valores. Los módulos de rigidez se han ajustado por el factor de superficie k que establece la norma Europea. La Figura 4 muestra la comparación de los módulos de rigidez E obtenidos en cada laboratorio de forma separada para cada uno de los planos de carga. Se observa que existe una muy buena correlación de resultados ($R^2 = 0.97$) con una tendencia sistemática para los resultados del IMAE a ser un 13% mayores que los obtenidos por YPF, particularmente para los valores del módulo de rigidez más altos. Se considera que esta tendencia puede deberse a las diferencias en los sistemas de medición de las deformaciones o a la calibración de los equipos. La Figura 5 presenta un histograma de distribución de las diferencias observadas para los resultados de los dos laboratorios respecto al promedio de ambas determinaciones. El 55% de ellas son menores al 5% en tanto que el 97% de los resultados difieren en menos del 15% mostrando de manera indirecta que el procedimiento utilizado presenta adecuada reproducibilidad.

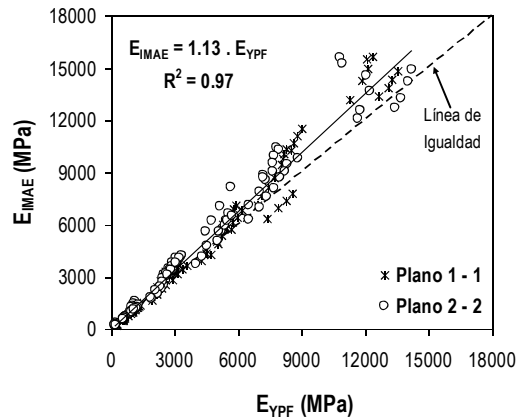


Figura 4: Comparación de resultados para ambos laboratorios

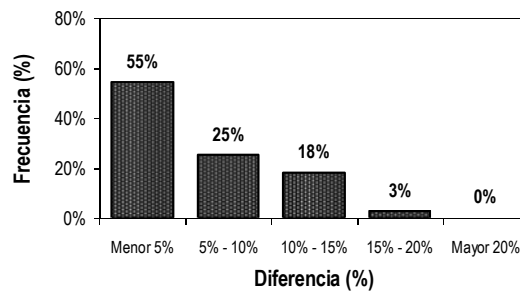


Figura 5: Histograma de distribución de diferencias observadas

Influencia de la Temperatura de Ensayo

La Figura 6 muestra la variación del módulo de rigidez en función de la temperatura para las tres mezclas asfálticas usadas en este estudio para el tiempo de elevación de la carga de 125 ms con los ensayos realizados en el IMAE.

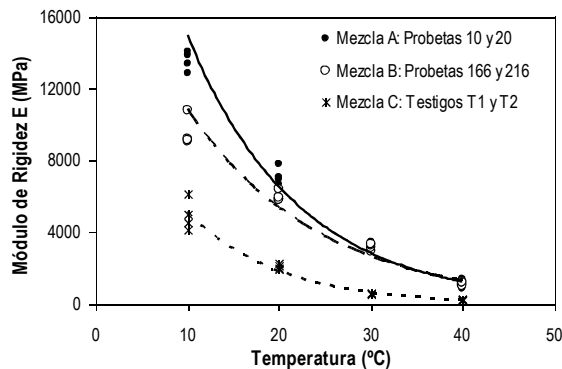


Figura 6: Variación del módulo de rigidez con la temperatura

Como era de esperar, el módulo de rigidez decrece con el incremento de la temperatura. La norma EN 12697-26 establece que los ensayos deben realizarse dentro de un gabinete termostático capaz de mantener la temperatura establecida con una tolerancia de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ que para las mezclas y el rango de temperaturas consideradas significa una diferencia del módulo de rigidez de entre el 3 y el 6% respecto al valor correspondiente a la temperatura nominal.

Influencia del Nivel de Deformación Impuesto

La norma EN 12697-26 en su Anexo C establece que el nivel de deformación horizontal máxima debe ser de (5 ± 2) μm para probetas de 100 mm de diámetro nominal. A fin de evaluar la influencia de este factor respecto al módulo de rigidez se han ensayado cuatro mezclas asfálticas diferentes a las usadas anteriormente a la temperatura de 25 °C, para un tiempo de elevación de la carga de 125 ms y con distintos niveles de deformación entre 1 y 9 μm . La Figura 7 muestra los resultados obtenidos (referidos al módulo de rigidez a la deformación de 5 μm) observándose que el módulo de rigidez disminuye con el incremento de la deformación y para el rango de deformaciones aceptado, ello puede significar diferencias de hasta el 10%.

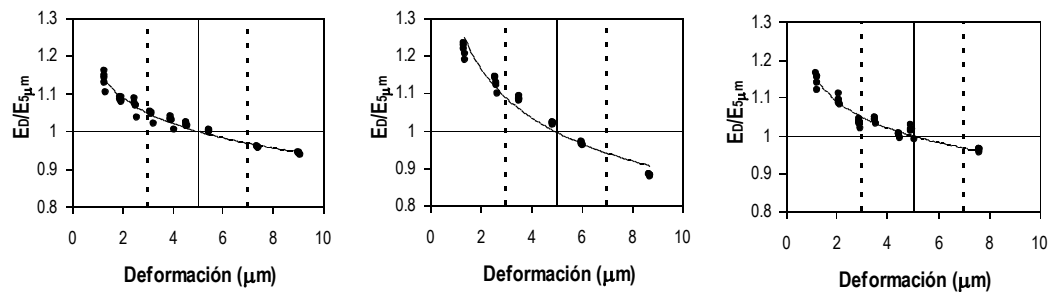


Figura 7: Variación del módulo de rigidez con el nivel de deformación

Influencia del Número de Determinaciones

La norma Europea prescribe que las determinaciones del módulo de rigidez deben ser efectuadas a lo largo de dos planos de carga mutuamente ortogonales. A fin de valorar si esta medición es suficientemente confiable, se han ensayado adicionalmente a este par de planos de carga, otros dos, también ortogonales entre sí y formando un ángulo de 45° con los marcados previamente. La Tabla 3 presenta los valores medios y la desviación estándar para los resultados obtenidos para el par de planos 1 - 1 y 2 - 2 (E_{1-2}), los obtenidos para el par de planos adicionales 3 - 3 y 4 - 4 (E_{3-4}) y para los cuatro planos en conjunto ($E_{1-2-3-4}$). La desviación estándar para las mediciones a lo largo de los cuatro planos de carga resulta algo menor que las resultantes para las otras combinaciones tomadas de a dos. Sin embargo, se considera que esta reducción no es suficientemente importante como para justificar la utilización de cuatro planos de carga teniendo en cuenta además, el tiempo y esfuerzo experimental que estas dos mediciones adicionales representan.

Tabla 3: Resultados para distintas combinaciones de planos de carga

E_{1-2}		E_{3-4}		$E_{1-2-3-4}$	
E medio (MPa)	Desv. Std. (MPa)	E medio (MPa)	Desv. Std. (MPa)	E medio (MPa)	Desv. Std. (MPa)
5421	457	5173	503	5297	418

E_{1-2} : considerando los planos de carga 1 - 1 y 2 - 2 E_{3-4} : considerando los planos de carga 3 - 3 y 4 - 4

$E_{1-2-3-4}$: considerando los planos de carga 1 - 1, 2 - 2, 3 - 3 y 4 - 4

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha analizado el ensayo de tracción indirecta con cargas repetidas para la determinación del módulo de rigidez de mezclas asfálticas. El análisis de distintas normas internacionales referidas al mismo muestra que si bien todas tienen objetivos similares, difieren notablemente en diversos factores metodológicos que influyen el resultado final. Siguiendo los

lineamientos generales de la norma EN 12697-26, se ha realizado una serie de determinaciones experimentales a fin de comparar resultados obtenidos en dos laboratorios utilizando diferentes equipamientos, evaluar la influencia de distintos factores que afectan los resultados obtenidos y disponer de una base fundamental para formular una propuesta de norma de ensayo de alcance nacional para la Argentina.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AENOR, UNE-EN 12697-26, 2012, Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 26: Rigidez.

ASTM, 1995. Standard test method for indirect tension test for resilient modulus of bituminous mixtures. D4123. Philadelphia.

Baldo, N., Dal Ben, M., Pasetto, M., van de Ven, M. and Molenaar, A. 2010. Indirect Tensile Test for the Determination of the Stiffness and the Resilient Modulus of Asphalt Concretes: Experimental Analysis of the EN 12697-26 and the ASTM D 4123 Standards. *11th International Conference on Asphalt Pavements*, Nagoya. ISBN: 978-1-61839-073-8.

Brown, S.F. and Cooper, K.E., 1989. Development of Simple Apparatus for the Measurement of the Mechanical Properties of Asphalt Mixes. *Proceedings of the 4th Eurobitume Congress*, Madrid, Spain.

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, 1991. NLT 360/91, Determinación del Módulo Resiliente en Mezclas Bituminosas Mediante el Ensayo de Compresión Diametral, Madrid, España.

Departamento Nacional de Infraestructura del Transporte, 2010. DNIT 135/2010 - ME. Misturas asfálticas - Determinação do módulo de resiliência. Método em ensaio. Brasil.

Martinez, F., Angelone, S. y Tosticarelli, J., 1985. Determinación del módulo dinámico (stiffness) de mezclas asfálticas utilizadas en pavimentos de la Región Litoral. XXIII Reunión Anual del Asfalto. *Comisión Permanente del Asfalto*, Paraná, Argentina.

Martinez, F. y Angelone, S., 1996. Diez años de experiencia en la determinación de módulos dinámicos de mezclas asfálticas: Análisis y evaluación de los resultados obtenidos. XXIX Reunión del Asfalto, *Comisión Permanente del Asfalto*, Mar del Plata, Argentina. ISBN 9506300097.

Pasetto, M. and Baldo, N. 2006. Critical Analysis of the EN 12697-26 Standard for the Determination of the Indirect Tensile Stiffness Modulus, *10th International Conference on Asphalt Pavements*, Quebec City, Canadá.

Santagata, E. and Bassani, M., 1999. Improved use of the repeated load indirect tensile test. *Proceedings of the 3rd European Symposium on Performance and Durability of bituminous and hydraulic stabilised composites*, Leeds, UK.

Standards Australia. 1995. Methods of sampling and testing of asphalt. Method 13.1: Determination of the resilient modulus of asphalt - Indirect tensile method. Standard AS 2891.13.1.Australia.