

# ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO A FATIGA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE EL ENSAYO BTB

**GABRIEL PALMA, Ingeniero Civil.**

Laboratorio Nacional de Vialidad, Chile. [gabriel.palma@hotmail.com](mailto:gabriel.palma@hotmail.com)

**CARLOS WAHR DANIEL, Ingeniero Civil**

Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, [carlos.wahr@ociv.utsfm.cl](mailto:carlos.wahr@ociv.utsfm.cl)

**FÉLIX EDMUNDO PÉREZ JIMÉNEZ, Catedrático de Caminos.**

Departamento de Infraestructura del Transporte y del Territorio, Universidad Politécnica de Cataluña., España., [lab.camins@upc.es](mailto:lab.camins@upc.es)

**VLADIMIR ALEJANDRO ESTAY COVARRUBIAS, Ingeniero Civil.**

Universidad Técnica Federico Santa María., Chile., [vestayc@hotmail.com](mailto:vestayc@hotmail.com)

## RESUMEN

Los tests que existen para simular la fatiga de una mezcla asfáltica requieren de equipos complejos para su ejecución. El test BTB (Barcelona Tracción Directa) desarrollado por la Universidad de Cataluña por el equipo profesional que dirige el Dr. Félix Pérez Jiménez tiene la ventaja que se puede aplicar en dos modos de prueba, uno estático (bastante simple y corto) y otro dinámico, entregando ambos resultados que son equivalentes.

Se verifica, a partir de los resultados obtenidos en el Laboratorio Nacional de Vialidad para ciertos materiales y en un cierto rango de deformaciones unitarias, el ensayo BTB para observar las tendencias del comportamiento a fatiga de mezclas asfálticas, y por lo tanto, pronosticar el comportamiento a fatiga entre mezclas, aunque los resultados en este caso son muy similares en virtud de la poca diferencia entre las mezclas estudiadas.

## 1. INTRODUCCIÓN

El proceso evolutivo que ha experimentado la Ingeniería Vial, pone de manifiesto el real interés en profundizar aún más sobre el conocimiento de los distintos materiales y mezclas que componen la estructura del pavimento. Esto se refleja por medio de los variados métodos de diseño existentes hasta la fecha y la forma de simular el comportamiento de las mezclas asfálticas. Las mezclas asfálticas poseen un comportamiento mecánico complejo, puesto que dependen de la temperatura, cargas de tráfico y duración en la aplicación de dichas cargas.

Los métodos empíricos mecanicistas se basan en determinar las tensiones y deformaciones unitarias en puntos críticos de la estructura del pavimento y relacionarlos con un número de repeticiones de carga a través de ecuaciones de transferencia que se obtienen en forma empírica. De este modo, investigadores han sugerido controlar la deformación unitaria en tensión en la

interfase de la capa asfáltica y la capa granular para disminuir el agrietamiento por fatiga. Para esto, se debe buscar los mecanismos que puedan reproducir de mejor forma las solicitaciones reales que afectan a las carpetas asfálticas, con el objeto de analizar su comportamiento a fatiga.

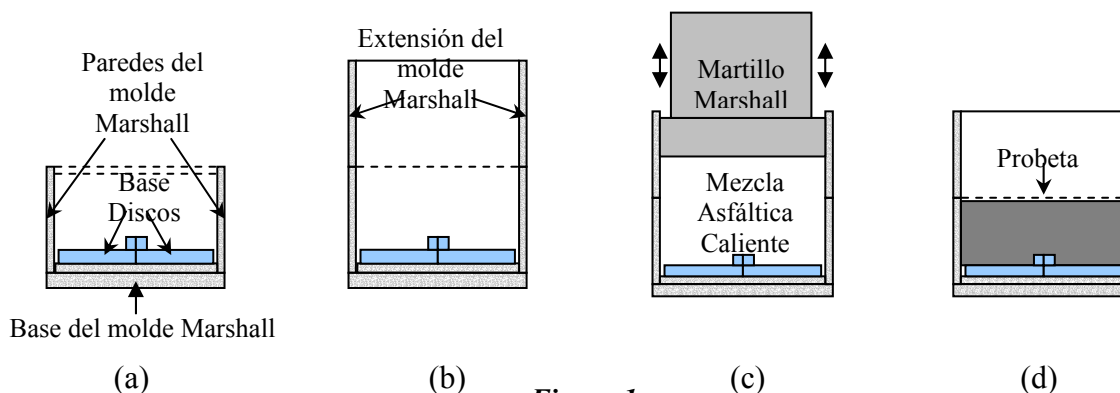
Existen diversos tests para simular la vida a fatiga de las mezclas asfálticas, los que resultan difíciles de realizar. Esto impulsa a estudiar y aplicar en Chile un método innovador y directo, basado en un ensayo de flexión compuesta que representa las solicitaciones a flexotracción a las que están sometidos constantemente los pavimentos asfálticos. Este nuevo método caracteriza la fisuración por fatiga que sufren las mezclas asfálticas durante su vida en servicio. Describe su comportamiento, controla y determina la deformación de rotura a tracción, su vida de servicio, su resistencia a la fisuración por fatiga; entre otros factores. Con el objeto de estudiar comparativamente el comportamiento a fatiga de tres tipos de mezclas asfálticas se ha realizado una investigación cuyos resultados y conclusiones se presentan en esta publicación.

## 2. ENSAYO BTD: BARCELONA TRACCIÓN DIRECTA

### 2.1. Descripción General

El Ensayo BTD se caracteriza por aplicar una combinación de fuerzas, de tal forma de someter a una probeta a un campo de esfuerzos a flexotracción, tratando de simular el deterioro por fatiga que sufren las mezclas asfálticas a partir de la propagación de una fisura desde su interfase con la base granular hasta su extremo superior (superficie del pavimento).

Para la realización del ensaye se utiliza el sistema de prueba MTS conformado por un marco de carga, una consola que registra la temperatura de ensayo y el tipo de ensayo, y un disco duro que registra los resultados del ensayo. Para controlar y mantener la temperatura del ensayo se utiliza una cámara refrigerante. Las probetas de ensaye se confeccionan según un procedimiento específico de temperatura y mezclado. Para su diseño, se utiliza el método Marshall. Para la compactación se utiliza el martillo y los moldes Marshall. Para simular el efecto de los esfuerzos a los cuales está sometido el material, se utiliza unas bases semicirculares ajustadas al diámetro del molde Marshall.

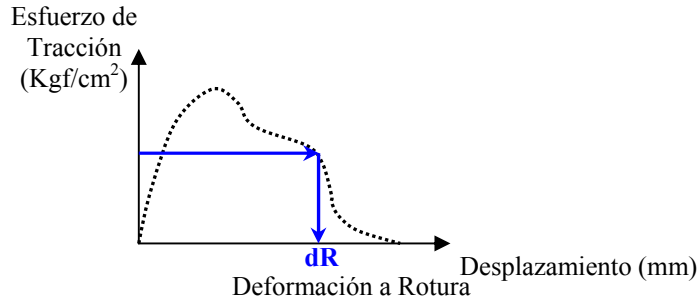


**Figura 1.**

*Etapas para la compactación de las probetas a usarse en el ensayo BTD (Fuente: Ref.1).*

## 2.2. Modos de Prueba

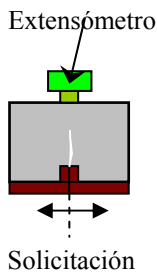
**Modo Estático.** En este modo de ensayo se aplica un desplazamiento controlado a una velocidad fija de 1 mm/min, manteniendo la temperatura constante a 5°C, hasta llegar a la rotura total de la probeta. Se mide la carga y el desplazamiento en la dirección de aplicación de la carga.



**Figura 2.**

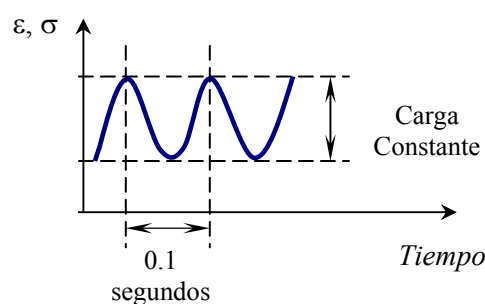
*Curva de Rotura que se obtiene del Modo Estático (Fuente: Ref.1).*

**Modo Dinámico.** En esta etapa, las probetas se someten a fatiga bajo una carga sinusoidal controlada de 10 Hz y una temperatura constante de 5°C. Se mide el número de ciclos de carga aplicados y las deformaciones en la fibra superior de la probeta mediante un extensómetro. La resistencia a fatiga de la mezcla se relaciona, mediante este ensayo, con la deformación unitaria en la fibra inferior de la probeta ( $\epsilon_i$ ), que es donde comienza la fisuración.



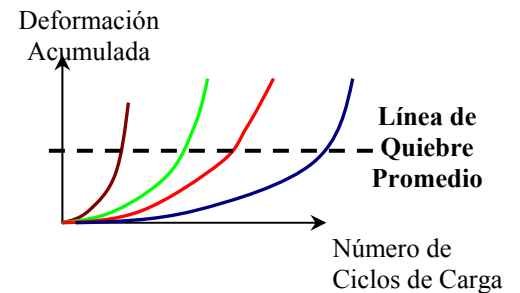
**Figura 3.**

*Probeta a Tracción. (Fuente: Ref.1).*



**Figura 4.**

*Carga aplicada en la etapa dinámica del ensayo BTD (Fuente: Ref.1).*



**Figura 5.**

*Deformación crítica "dC" del ensayo BTD (Fuente: Ref.1).*

## 2.3. Hipótesis del Ensayo BTD

**Temperatura y Frecuencia de Cargas en el Ensayo.** Se adopta una temperatura de prueba de 5°C, puesto que a bajas temperaturas, entre los -10°C y los +10°C y a altas frecuencias, las mezclas asfálticas poseen deformaciones en el rango prácticamente elástico. Por otra parte, para temperaturas mayores a 20°C y frecuencias entre los 30 y 50 Hz el calentamiento producido en la probeta y la fuerte disipación de energía durante el ensayo provocan un comportamiento viscoelástico no lineal de la mezcla asfáltica. Por lo tanto, bajo los supuestos anteriores y probado un comportamiento elástico de la mezcla, dentro de un cierto rango, se consideró una frecuencia de carga de 10 Hz y una temperatura de 5°C para el ensayo (Ref. 1).

**Elasticidad.** Como el ensayo se realiza a una temperatura de 5°C, se asegura un comportamiento elástico del material, ya que al retirar cualquier carga sobre la mezcla asfáltica, las deformaciones desaparecen de ella y responde sin disipar energía. A su vez, se supone homogéneo porque sus propiedades no cambian de un punto a otro dentro de su composición, e isotrópico, pues las deformaciones a las que está sometida no dependen de la dirección en que aplique la carga.

**Carga Sinusoidal.** Para el tipo de carga se supone una onda sinusoidal sin períodos de descanso, con una amplitud máxima constante y en función del tiempo expresada a través de su frecuencia.

**Compactación Marshall.** Se supone una compactación mediante el procedimiento Marshall para un 4% de vacíos de aire en la mezcla total. Se simula una densidad real y el efecto que tendrá sobre el pavimento después de varios años de servicio producto de las cargas de tráfico.

**Limitaciones del Ensayo.** La temperatura de ensayo (5°C) no corresponde a una temperatura media ponderada anual que incorpore el daño producido en las diferentes capas que conforman el pavimento asfáltico y por ende, tampoco refleja el valor real en el cálculo del módulo de rigidez para cada capa (el efecto relativo de la temperatura se pondera en el módulo de rigidez, el cual va cambiando constantemente debido a las distintas temperaturas que afectan al pavimento durante el día). También, en laboratorio, no se simula adecuadamente la variación lateral del tránsito que ocurre en terreno, pues las cargas aplicadas sobre las probetas afectan el mismo punto repetidamente. A su vez, no existe un período de reposo entre las aplicaciones sucesivas de carga sobre las probetas, evitando que el material asfáltico se recupere, es decir, no se simula el efecto “healing” que ocurre habitualmente en terreno. Por otro lado, como esta investigación trata el estudio del comportamiento a fatiga de mezclas asfálticas confeccionadas según especificaciones de carpeta de rodadura (5 cm de espesor), el número de repeticiones o ciclos de carga que se obtiene del ensayo BTD aplicados a las probetas no es válido como tal, pues se considera sólo una capa en su simulación. Por lo general, la capa asfáltica corresponde a una estructura de mayor espesor (constituida por una carpeta de rodadura, una capa intermedia y una base asfáltica), situación que no se está considerando en el ensayo, pues se está utilizando un pavimento delgado de asfalto. Esta observación es importante, pues en la realidad la propagación de la fisura hacia la superficie se genera desde la interfase entre la capa última de asfalto (base asfáltica) y la base granular, y no desde la fibra inferior de la carpeta de rodadura como sucede en este ensayo. No obstante, se supondrá que la probeta de mezcla asfáltica es representativa de toda la capa asfáltica, con el objeto de poder estudiar su comportamiento a fatiga a partir del test de tensión constante, que sólo se aplica en caso de pavimentos de gran espesor.

## 2.4. Ecuaciones para determinar los distintos parámetros en ambos Modos de Prueba

### Modo Estático.

#### *Energía de Fractura:*

$$Gf = \frac{\int_0^{\Delta_{m\acute{a}x}} P(\Delta) d\Delta}{(H \bullet D)} \quad (1) \quad \text{donde:}$$

$Gf$  : Energía Específica de Fractura, en (Kgf-mm/cm<sup>2</sup>).

$P(\Delta)$ : Carga en función del Desplazamiento, en Kgf.

$d\Delta$  : Delta Desplazamiento aplicado a la probeta de ensayo, en mm.

H : Altura total del área resistente de la probeta, en cm.

D : Diámetro total de la probeta, en cm.

### **Resistencia Máxima a Tracción:**

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{H \bullet D} \quad (2) \quad \text{en que:}$$

$\sigma_{m\acute{a}x}$ : resistencia máxima a tracción, en Kgf/cm<sup>2</sup>.

$P_{m\acute{a}x}$ : carga máxima lograda en el ensaye, en Kgf.

H : Altura total del área resistente de la probeta, en cm.

D : Diámetro total de la probeta, en cm.

### **Deformación a Rotura (dR):**

La deformación a rotura en general corresponde al instante en que el esfuerzo máximo soportado por la probeta de ensaye se reduce a la mitad de su magnitud. Esta deformación se obtiene gráficamente a partir de la curva carga-deformación. Este caso corresponde a mezclas asfálticas con una falla de tipo frágil, en caso de falla con mayor ductilidad se deberá considerar una carga más próxima a cero para determinar la deformación de rotura.

### **Modo Dinámico.**

#### **Deformación Unitaria en la fibra inferior:**

$$\varepsilon_i = \varepsilon_s \bullet \frac{\left(\frac{h}{2} + y_o\right)}{\left(\frac{h}{2} - y_o\right)} \quad (3) \quad \text{donde} \quad y_o = \frac{h^2}{16.8 + 6 * h} \quad \text{en que:}$$

$\varepsilon_i$  : deformación unitaria en la fibra inferior, en mm/mm.

$\varepsilon_s$  : deformación unitaria en la fibra superior, en mm/mm.

h : altura del área resistente de la probeta, en mm.

#### **Módulo de Rigidez:**

$$S = \frac{P}{\varepsilon_s} \bullet \left( \frac{1}{b * h} - \frac{3 * h + 8.4}{b * h^2} \right) \quad (4)$$

P = carga máxima de tracción en el ensayo, en Kgf.

h = altura variable de la probeta, en cm.

b = diámetro de la probeta, en cm.

**Deformación Crítica (dC):** El criterio para determinar la deformación crítica “dC” de la mezcla asfáltica consiste en obtener las curvas de deformación acumulada versus el número de ciclos de carga y trazar una línea promedio sobre los puntos de inflexión, tal como se mostró en la figura 5.

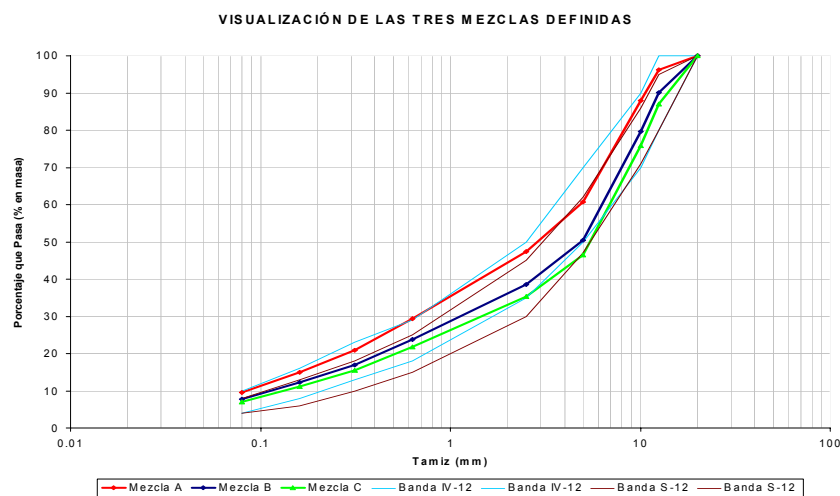
### 3. TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Definición de las Mezclas de Agregados

Se estudió, a través de la aplicación del ensayo BTD, tres tipos de mezclas asfálticas confeccionadas a partir de tres distintas mezclas de agregados. Las mezclas de agregados se definieron de acuerdo a especificaciones del Laboratorio Nacional de Vialidad y Prescripciones Técnicas Generales Españolas, las que poseen la siguiente granulometría:

**Tabla 1.** Granulometría de las mezclas estudiadas. Porcentaje que pasa (%).

Tamiz (mm)	Mezcla A	Mezcla B	Mezcla C
20	100	100	100
12.5	96	90	87
10	88	80	76
5	61	50	47
2.5	47	39	35
0.63	29	24	22
0.315	21	17	15
0.16	15	12	11
0.08	10	8	7



**Figura 6.** Definición de las mezclas de agregados para el estudio a fatiga.

### 3.2. Mezclas Asfálticas

Para las mezclas asfálticas se utilizó un asfalto tradicional 60/80. Se diseñó según método Marshall de acuerdo a especificaciones del Laboratorio Nacional de Vialidad. Los resultados son:

*Tabla 2. Porcentaje de asfalto respecto al agregado para cada una de las mezclas asfálticas.*

<i>Tipo de Mezcla Asfáltica</i>	<i>Porcentaje de Asfalto</i>
<i>Mezcla "A"</i>	6.20
<i>Mezcla "B"</i>	5.40
<i>Mezcla "C"</i>	5.18

## 4. RESULTADOS DEL ENSAYO BTD

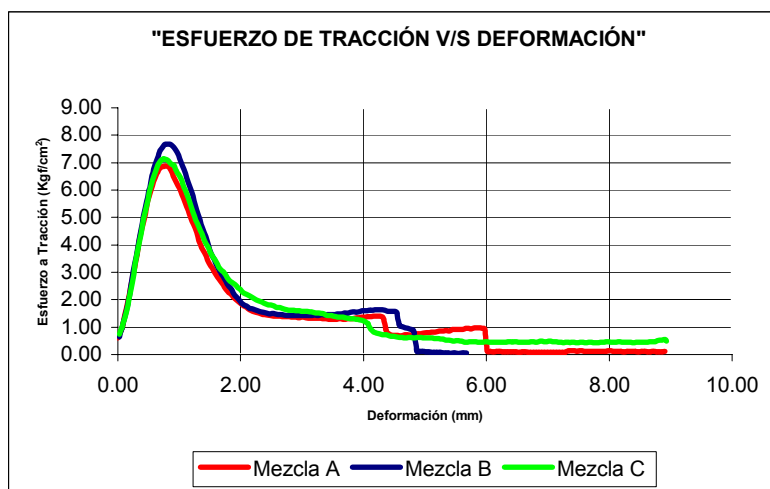
### 4.1. Resultados Fase Estática

La deformación de rotura "dR" corresponde a la deformación al momento en que el esfuerzo soportado por la mezcla asfáltica es mínimo. En el gráfico 1, las mezclas "A" y "B" aumentan su resistencia a partir de una deformación del orden de los 3 a 4 mm, por lo cual no se ha considerado esta zona de las curvas en virtud a que pudiera ver una distorsión de los resultados similar a la que se produce al comienzo del ensayo, debido al pequeño juego existente entre los pasadores de las mordazas y el sistema de anclaje, con lo cual se estimó, en este caso especial y dada las características similares de las mezclas, el usar como criterio de deformación a rotura una deformación que resulte de un esfuerzo de 1.41 (Kgf/cm<sup>2</sup>).

*Tabla 3. Resultados según Fase Estática. Ensayo BTD.*

<i>Mezcla</i>	<i>Área Solicitada Probetas (cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Área Total bajo Curva (Kgf-mm)</i>	<i>Carga Máxima "P máx." (Kgf)</i>	<i>Deformación Rotura "dR" (mm)</i>	<i>Energía Específica de Fractura "G<sub>f</sub>" (Kgf-mm/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Resistencia Máxima a Tracción (Kgf/cm<sup>2</sup>)</i>
A	38.34	377.63	263.29	2.53	9.85	6.87
B	37.56	407.84	288.49	2.89	10.86	7.68
C	37.59	410.32	268.06	3.51	10.92	7.13

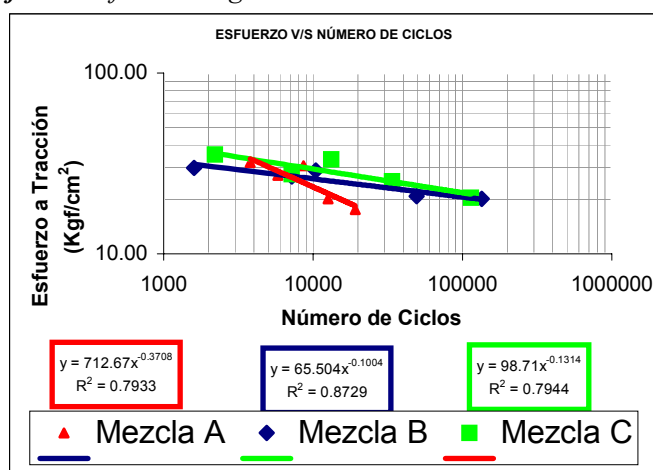
*Gráfico 1. Superposición de curvas entre las mezclas asfálticas. Modo Estático.*



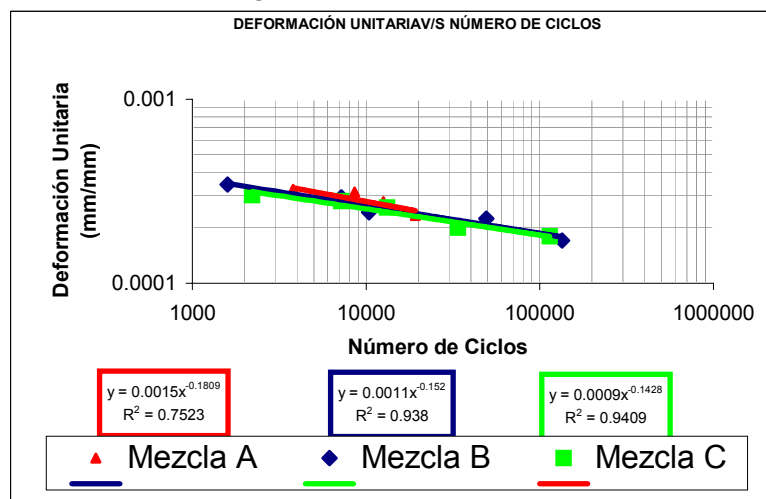
La mayor **resistencia a tracción** corresponde a la mezcla B. Las tres curvas representan un comportamiento similar al inicio del ensayo hasta llegar a una resistencia máxima en que todas se van separando para luego ir acumulando el daño y decaer en resistencia rápidamente entre 1 y 2 mm de deformación. Se distingue un orden en el valor de la deformación a rotura para cada mezcla, es decir, la mezcla A posee menor “dR” que las otras dos. Así mismo, la mezcla B resulta con un “dR” mayor que la mezcla A y menor que la mezcla C. Por otra parte, si se considera el cálculo realizado mediante la fórmula (1) entregada en el punto 2.4, las mezclas que arrojan una mayor deformación de rotura les corresponde una mayor energía de fractura.

## 4.2. Resultados Fase Dinámica

**Gráfico 2.** Esfuerzos según Número de Ciclos. Modo Dinámico.



**Gráfico 3.** Deformación Unitaria según Número de Ciclos entre las distintas mezclas asfálticas.

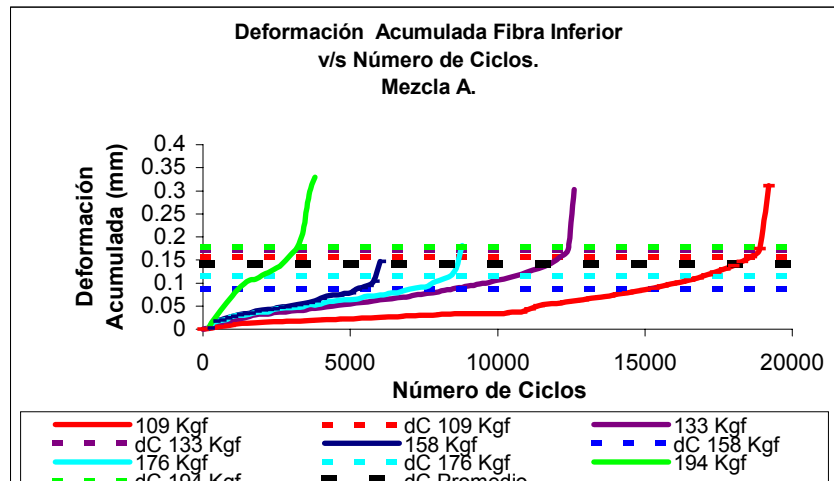




Las leyes a fatiga que se obtienen pueden utilizarse para conocer y por lo tanto, priorizar el comportamiento a fatiga que tendrá una mezcla bituminosa determinada aplicada a casos reales, como son las estructuras de pavimentos compuestas por varias capas.

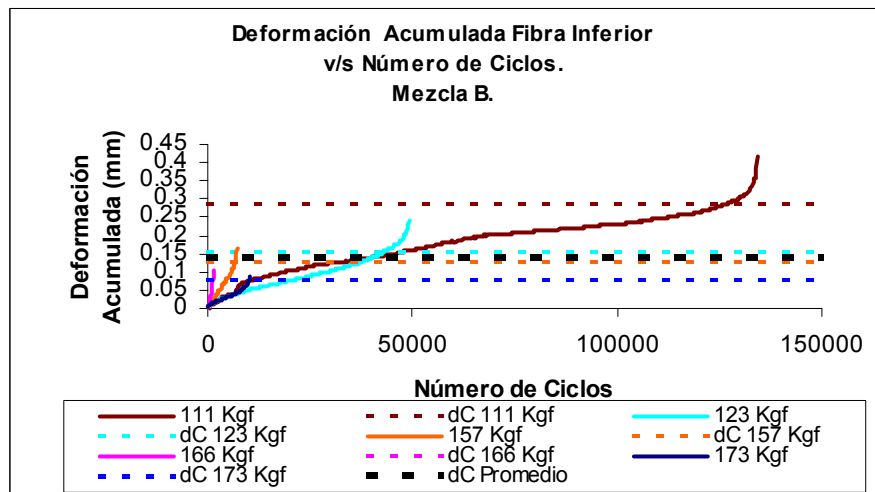
Es imprescindible aclarar que el gráfico “deformación unitaria versus número de ciclos” sirve de antecedente para determinar e interpretar el gráfico “deformación unitaria/dC versus número de ciclos”, ya que efectivamente, éste es el gráfico que se utiliza para determinar qué tipo de mezcla posee mejor comportamiento a fatiga. Las deformaciones críticas sobre cada mezcla asfáltica son gráficamente las siguientes:

**Gráfico 4. Deformación Acumulada según Número de Ciclos. Mezcla A.**



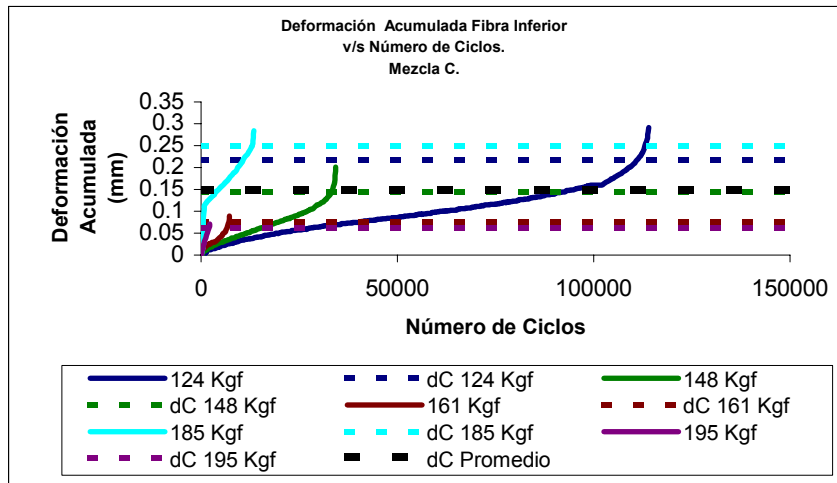
La deformación crítica “dC” promedio para esta mezcla es de **0.142 (mm)**.

**Gráfico 5. Deformación Acumulada según Número de Ciclos. Mezcla B.**



La deformación crítica “dC” promedio para esta mezcla es de **0.145 (mm)**.

**Gráfico 6. Deformación Acumulada según Número de Ciclos. Mezcla C.**



La deformación crítica “dC” promedio para esta mezcla es de **0.150 (mm)**.

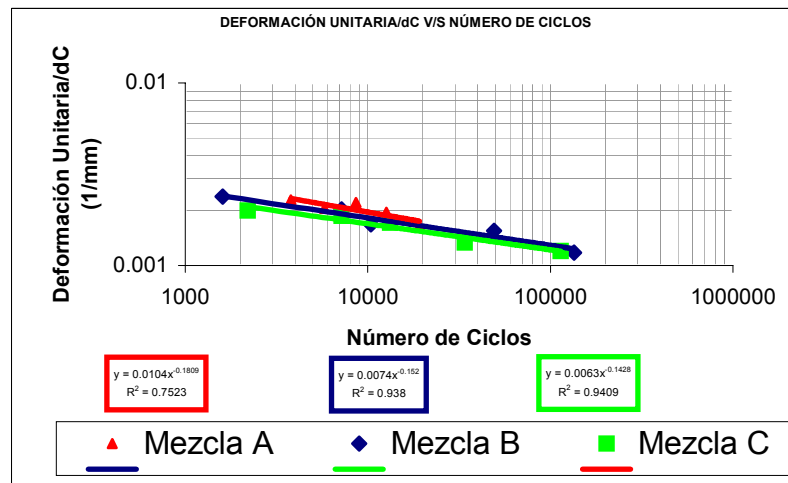
En la mayoría de los casos, el punto de quiebre en cada gráfico se reflejó dentro de los dos últimos valores de ciclos de carga.

**Tabla 4.**  
Deformaciones Críticas para cada una de las mezclas y magnitudes de carga.

Mezcla Probeta N°	Carga P Tracción (Kgf)	Área Solicitada (cm <sup>2</sup> )	dC (mm)	Mezcla Probeta N°	Carga P Tracción (Kgf)	Área Solicitada (cm <sup>2</sup> )	dC (mm)	Mezcla Probeta N°	Carga P Tracción (Kgf)	Área Solicitada (cm <sup>2</sup> )	dC (mm)
A1	133	40.40	0.179	B1	166	35.56	0.082	C1	124	37.96	0.217
A2	109	38.43	0.156	B2	157	37.02	0.125	C2	148	37.02	0.145
A3	194	37.86	0.178	B3	123	37.22	0.155	C3	195	35.36	0.063
A4	158	36.84	0.086	B4	111	35.49	0.284	C4	185	35.49	0.249
A5	176	36.37	0.115	B5	173	38.43	0.078	C5	161	38.43	0.076

**Gráfico 7.**

Deformación Unitaria/dC según Número de Ciclos entre las distintas mezclas asfálticas.

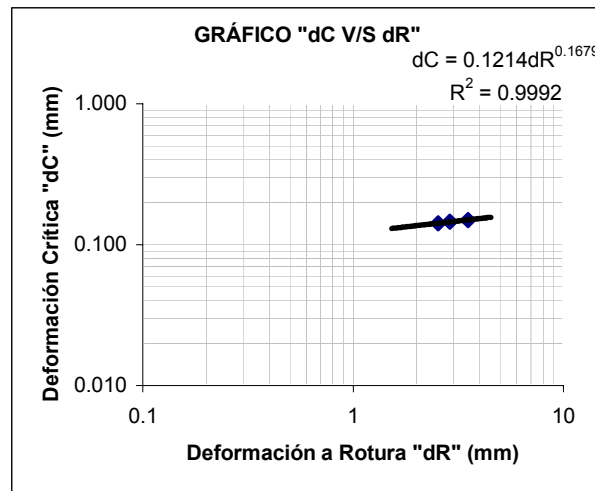


Este gráfico es de mucha importancia, pues al correlacionar la deformación unitaria/dC versus el número de ciclos de carga aplicados se puede entrar al gráfico con una deformación unitaria admisible, y conocida la deformación crítica de la mezcla más el cuociente “ $\epsilon_i/dC$ ” se puede determinar la vida a fatiga a través del número de ciclos que soportará la mezcla.

Lo anterior es sólo una parte de lo interesante que resulta ser el método, pues en este ensayo se demuestra una clara correlación entre la deformación a rotura obtenida del modo estático con la deformación crítica resultante del modo dinámico (ver gráfico 10), lo que indica que bastaría solamente realizar el ensayo estático para conocer el comportamiento a fatiga que tendrá la mezcla durante la vida en servicio; es decir, a partir del parámetro “dR” (deformación a rotura) se obtiene “dC”, luego impuesta una deformación unitaria “ $\epsilon_i$ ” en la interfase de la mezcla asfáltica se determina “ $\epsilon_i/dC$ ” y se sabe el número de ciclos que resistirá la mezcla antes de que se fisure.

**Gráfico 8.**

*Correlación entre los valores “dR” y “dC” del Ensayo BTB.*



**Tabla 5.**

*Resultados de los parámetros “dR” y “dC” para cada mezcla asfáltica.*

<b>Tipo Mezcla</b>	<b>Fase Estática dR (mm)</b>	<b>Fase Dinámica dC (mm)</b>
A	2.53	0.142
B	2.89	0.145
C	3.51	0.150

**Tabla 6.**

*Resultados Promedio. Ensayo Dinámico BTB.*

<b>Mezcla</b>	<b>Deformación Crítica “dC”(mm)</b>	<b>Módulo de Rigidez (MPa)</b>
A	0.142	8764
B	0.145	10160
C	0.150	11757

Ahora bien, si se calculan los módulos de rigidez mediante el programa BANDS (SHELL) y se comparan con los obtenidos del ensayo BTD se obtiene lo siguiente:

**Tabla 7.**  
*Comparación entre Módulos de Rigidez según Ensayo BTD y programa BANDS.*

<b>Tipo Mezcla Asfáltica</b>	<b>Módulo de Rigidez mediante Ensayo BTD (MPa)</b>	<b>Módulo de Rigidez mediante BANDS (MPa)</b>
A	8764	11000
B	10160	12500
C	11757	12900

Los módulos de rigidez calculados por BANDS se obtuvieron considerando una Penetración después de Película Delgada Rotatoria de 42 (dmm), Punto de ablandamiento después de la Película Delgada Rotatoria de 58 °C, Índice de Penetración de 0.2, Frecuencia de Carga de 10 (Hz), Temperatura del Asfalto a 5 °C. Esto arroja un Módulo de Asfalto igual a 177 (MPa).

**Tabla 8.**  
*Composición Volumétrica, en porcentaje (%) respecto al volumen total de la mezcla.*

<b>Volúmenes</b>	<b>Mezcla A</b>	<b>Mezcla B</b>	<b>Mezcla C</b>
Volumen Agregados	82.42	83.92	84.30
Volumen Asfalto	13.67	12.08	11.63
Volumen Vacíos	3.91	3.99	4.08

Los valores de módulo obtenidos del ensayo BTD son muy similares a los resultados arrojados por el programa BANDS (SHELL) representando otra de las validaciones del ensayo BTD.

## 5. CONCLUSIONES

Al término de esta investigación se concluye que los resultados, obtenidos en el Laboratorio Nacional de Vialidad dada las características de los materiales y un cierto rango de deformaciones unitarias en tensión, verifican en Chile el ensayo BTD para determinar la resistencia a fatiga de mezclas asfálticas, y por lo tanto, pronosticar el comportamiento a fatiga entre dichas mezclas.

En las mezclas consideradas se puede concluir que la variación del porcentaje de asfalto en los rangos considerados no influye mayormente en la tendencia del comportamiento a fatiga. Esto se debe a que la diferencia en la composición de las mezclas es muy pequeña. Con lo cual se estima que no es un inconveniente el emplear la mezcla S12 en reemplazo de la mezcla IV 12 en lo referente al comportamiento a fatiga.

El procedimiento del ensayo BTD permitió caracterizar el fisuramiento por fatiga y determinar la tenacidad en las mezclas asfálticas. En el modo estático del ensayo, se logró curvas de carga-deformación, energía de fractura, resistencia a la tracción y la deformación a rotura (dR) propia de cada mezcla. En el modo dinámico, se obtuvo leyes de fatiga por tracción en la fibra inferior de la mezcla asfáltica, sus módulos de rigidez y las curvas que representan la deformación

acumulada para la determinación de la deformación crítica (dC) de la mezcla. Además, se encontró una clara correlación entre la deformación a rotura del modo estático y la deformación crítica del modo dinámico, lo que en otras palabras, significó que mediante el ensayo BTM se pudo establecer una relación directa entre la tenacidad y la fatiga de las mezclas asfálticas, quedando demostrado que a futuro sólo basta realizar el test en el modo estático para conocer qué mezcla asfáltica tiene mejor comportamiento a fatiga. Por consiguiente, al realizar el ensayo BTM en su modalidad estática se determina “dR”, luego dada su correlación con la deformación crítica se obtiene el parámetro “dC”. Entonces, si se conoce la deformación unitaria “ $\epsilon_i$ ” admisible en la capa de mezcla asfáltica y la deformación crítica “dC” (ya obtenida para la mezcla) se tiene el dato suficiente para ingresar al gráfico que relaciona el cociente entre la deformación unitaria y la deformación crítica ( $\epsilon_i/dC$ ) con la vida a fatiga y determinar el número de ciclos de carga que soportará la mezcla antes de que se fisure, o sea, su resistencia a la fisuración por fatiga. En consecuencia, a mayor deformación de rotura, mayor deformación crítica y mayor módulo de rigidez, lo que implica una mayor resistencia a la fisuración por fatiga, es decir, una mezcla que soporta un mayor número de ciclos de carga antes de su fisuramiento.

Con respecto a los resultados obtenidos experimentalmente se confirma que, la "vida", definida por la resistencia a fatiga en laboratorio de un material asfáltico, es generalmente menor que la observada en terreno debido a ciertas diferencias entre las condiciones de laboratorio y terreno; por ejemplo, en terreno existe un período de reposo aleatorio entre aplicaciones sucesivas de carga que le permite al material asfáltico recuperarse (efecto Healing). Generalmente, la carga cíclica en laboratorio se aplica de forma continua con períodos de reposo muy pequeños o sin períodos de descanso (caso del ensayo BTM). Otra diferencia es la variación lateral del tránsito, pues las huellas de las ruedas de distintos vehículos son diferentes (todas las ruedas de los vehículos no afectan el mismo punto repetidamente). El promedio y la desviación estándar de la distribución lateral de la huella de la rueda debería tomarse en cuenta.

En definitiva, se sugiere continuar en Chile y en otros países con la investigación y aplicación del Ensayo BTM sobre mezclas asfálticas con distintas granulometrías y distintos tipos y porcentajes de asfalto en los temas afines a su aporte en la resistencia al fisuramiento por fatiga debido a cargas cíclicas.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

1. Pérez Jiménez F.E., Cepeda Aldape J.B., Miró Recasens R., “Aplicación del Ensayo BTM para determinar la Energía de Fractura y el Comportamiento a Fatiga de las Mezclas Bituminosas”, Laboratorio de Caminos, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 2001.
2. Pérez Jiménez F.E., Cepeda Aldape J.B., Miró Recasens R., “Análisis del Comportamiento a Fatiga de las Mezclas Bituminosas. Relación entre Tenacidad y Resistencia a la Fatiga”, Laboratorio de Caminos, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 2001.
3. Pérez Jiménez F.E., “Ensayos Mecánicos de Mezclas Bituminosas”, Jornadas Chileno-Española del Asfalto, Santiago, Chile, Abril 2001.