



## RESISTENCIA A LA PROPAGACIÓN DE FISURAS: MÉTODO FÉNIX

La metodología del ensayo Fénix consiste en someter media probeta Marshall o testigo a un esfuerzo de tracción directa. En el caso de las probetas Marshall, en un comienzo, el procedimiento de fabricación y compactación sigue la misma metodología establecida por el método Marshall, y en el caso de testigos, una vez extraído éste, se corta mediante una sierra circular la sección a determinar sus propiedades mecánicas. Luego la probeta o testigo se secciona por la mitad y se le induce una fisura mediante una entalladura en la parte central, tal como se ilustra en la Figura 1. Posteriormente, mediante el uso de una resina epoxi, se fijan a las dos secciones de la cara plana separadas por la entalladura, unas placas de acero. Estas a su vez son fijadas a los soportes de la prensa mediante dos pernos, que permiten un movimiento de rotación respecto a estos, de acuerdo a lo ilustrado en la Figura 2.

El ensayo consiste en someter las probetas semicirculares a un ensayo simple de tracción directa a una temperatura de 20°C. Para la realización del ensayo se utiliza una prensa MTS que dispone de una cámara capaz de controlar la temperatura con una precisión de  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

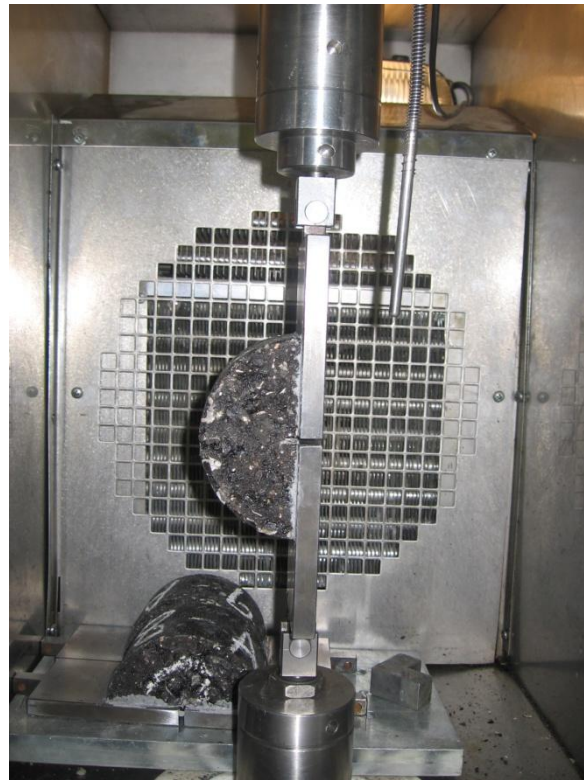
El ensayo se realiza mediante control de desplazamiento del pistón, aplicando un desplazamiento a una velocidad constante de 1 mm/min hasta llegar a la rotura total de la probeta.

Una vez registrados los datos por el equipo informático se procede a graficar las cargas registradas en función de su desplazamiento para calcular el valor de la energía de fractura (GF) mediante el cálculo del trabajo total de fractura (WT), y dividido por el área de ligamento (Alig.).

Una de las principales ventajas de este ensayo es que simula el mecanismo de fisuración de las mezclas bituminosas mediante su principal modo de propagación de fisura cuando estas son sometidas a esfuerzos térmicos y a las solicitaciones de tráfico. Otra gran ventaja es la facilidad para realizar el ensayo, tanto a probetas Marshall como a testigos extraídos del pavimento.



Figura 1: Probeta ensayo Fénix



**Figura 2: Montaje ensayo Fénix**

A continuación se detallan los diferentes parámetros que se pueden obtener del ensayo Fénix:

*Carga máxima a tracción* ( $F_{\max}$ ): Se define como la carga máxima registrada en el ensayo a tracción directa.

*Desplazamiento a carga máxima* ( $\Delta F_{\max}$ ): Se define como el desplazamiento realizado por el pistón cuando se registra la máxima carga a tracción.

*Resistencia a tracción* ( $R_T$ ): Se define como la relación entre la carga máxima registrada,  $F_{\max}$ , y el área de ligamento o fractura. La resistencia a tracción se calcula de acuerdo a la ecuación 1.

$$R_T = \frac{1000 \cdot F_{\max}}{h \cdot l}$$

1

Donde,

$R_T$ : Resistencia a tracción, (MPa)

$F_{\max}$ : Carga máxima registrada (KN)

$h$ : espesor de la probeta (mm).

$l$ : Longitud inicial de ligamento (mm).

*Desplazamiento de rotura* ( $\Delta R$ ): Se define como el desplazamiento en el cual la carga ha caído hasta los 0,1 KN. Es un valor indicativo de la tenacidad de la mezcla bituminosa, ya que a medida que las mezclas son más dúctiles se obtienen mayores valores de  $\Delta R$ , mientras que para mezclas más frágiles se obtienen menores



valores de  $\Delta R$ . Este parámetro entrega un valor importante, puesto que a mezclas con iguales energías disipadas,  $G_F$ , pueden comportarse de manera diferente, unas más frágiles y otras más dúctiles, y el desplazamiento de rotura puede diferenciar una mezcla de la otra.

*Índice de rigidez a tracción (IRT)*: Se define como la relación entre la carga media,  $\frac{1}{2} F_{max}$ , y el desplazamiento,  $\Delta m$ , correspondiente a ese valor. Este índice indica una pseudo-rigidez que muestra que tan flexible es la mezcla bituminosa. A mayor índice de rigidez a tracción menos flexible es la mezcla. El índice de rigidez de tracción se calcula de acuerdo a la ecuación 2.

$$I_{RT} = \frac{\frac{1}{2} \cdot F_{max}}{\Delta_{map}} \quad 2$$

Donde,

IRT: Índice de rigidez a tracción (KN/mm)

Fmax.: Carga máxima registrada (KN)

$\Delta_{map}$ : Desplazamiento antes de la carga máxima a  $\frac{1}{2} F_{max}$  (mm).

*Energía disipada o de fractura ( $G_D$  o  $G_F$ )*: Se define como el trabajo total realizado en el proceso de fisuración,  $W_D$ , dividido entre el área de ligamento o fractura, perpendicular a la fuerza aplicada. Donde el cálculo del trabajo realizado se efectúa mediante la ecuación 3 y la energía disipada en el proceso de fisuración se calcula de acuerdo a la ecuación 4.

$$W_D = \sum_{i=1}^n (x_{i+1} - x_i) \cdot (y_i) + 0.5 \cdot (x_{i+1} - x_i) \cdot (y_{i+1} - y_i) \quad 3$$

Donde:

$W_D$ : Trabajo realizado en el proceso de fisuración, área bajo curva carga – desplazamiento (KN-mm).

x: Desplazamiento registrado (mm).

y: Carga registrada (mm).

n: Punto en que la carga ha descendido a 0,1 KN.

$$G_D = \frac{W_D}{h \cdot l} \quad 4$$

Donde:

$G_D$ : Energía disipada en el proceso de fisuración (J/m<sup>2</sup>).

$W_D$ : Trabajo realizado en el proceso de fisuración, área bajo curva carga – desplazamiento (KN-mm).

h: Espesor de la probeta (m).

l: Longitud inicial de ligamento (m).

*Índice de tenacidad ( $I_T$ )*: Se define como la energía disipada en el periodo de relajación o softening multiplicada por un factor de fragilidad, el cual es el desplazamiento realizado desde la carga máxima,  $F_{max}$ ,



hasta que la carga ha caído a la mitad de tu carga total. Este índice tiene la finalidad de evaluar la tenacidad de la mezcla bituminosa, considerándose ésta como ausencia de fragilidad. Por tanto, a medida que este parámetro aumenta, la mezcla es más tenaz, y por otra parte, a medida que este factor disminuye, la mezcla tiene un comportamiento menos tenaz. Su expresión de cálculo se observa en la ecuación 5 y sus variables se ilustran en la Figura 3.

$$I_T = \frac{W_D - W_{F_{\max}}}{h \cdot l} \cdot (\Delta_{mdp} - \Delta_{F_{\max}})$$

5

Donde,

$I_T$ : Índice de tenacidad (adimensional).

$W_D$ : Trabajo realizado en el proceso de fisuración, área bajo curva carga–desplazamiento (KN-mm).

$W_{F_{\max}}$ : Trabajo realizado hasta carga máxima (KN -mm).

$F_{\max}$ : Carga máxima (KN).

$\Delta_{m_{ap}}$ : Desplazamiento a  $\frac{1}{2} F_{\max}$  antes del pico (mm).

$\Delta F_{\max}$ : Desplazamiento a  $F_{\max}$  (mm).

$\Delta_{m_{dp}}$ : Desplazamiento a  $\frac{1}{2} F_{\max}$  post pico (mm).

$\Delta R$ : Desplazamiento a  $F = 0,1$  KN (mm).

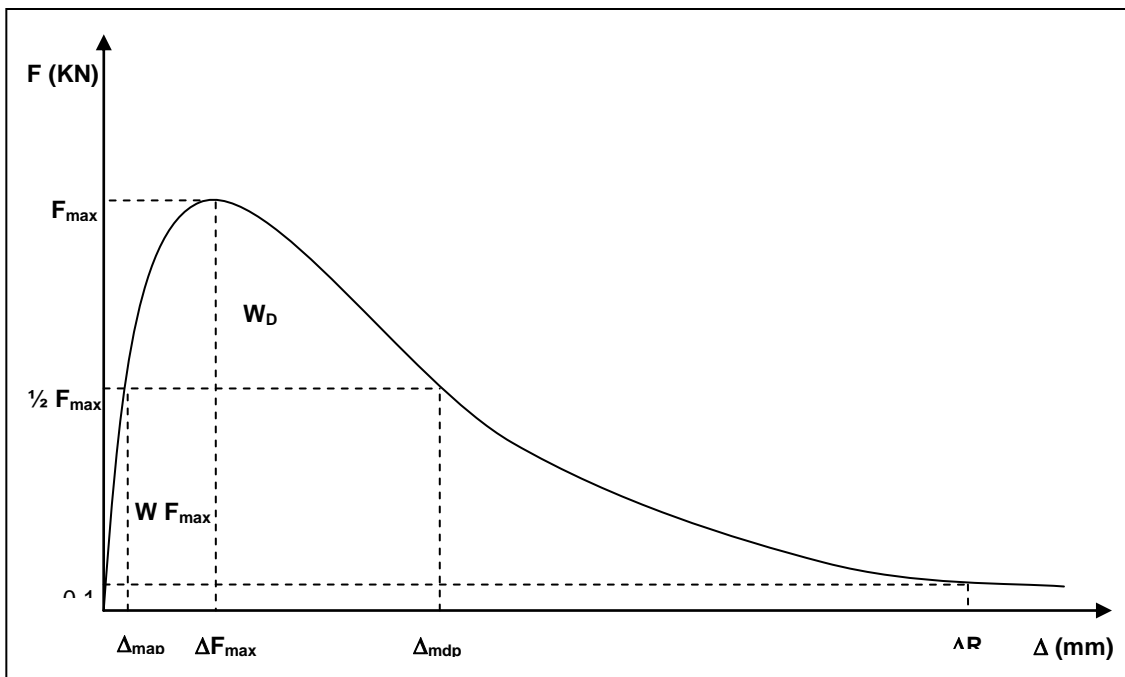


Figura 3: Representación gráfica de los parámetros obtenidos en el ensayo fénix.