

## Medida de las deflexiones en firmes con deflectógrafo tipo Lacroix

### 1 OBJETO

1.1 Esta norma describe el procedimiento de ensayo que debe seguirse para determinar la deflexión de pavimentos bituminosos mediante deflectógrafo tipo Lacroix, así como los dispositivos de medida necesarios y la expresión de los resultados.

1.2 El ensayo consiste en la medida de la deflexión vertical puntual de una superficie del firme, producida por la aplicación de una carga normalizada, que se transmite a través de las ruedas gemelas del eje simple trasero del vehículo que porta el deflectógrafo.

1.3 Mediante el deflectógrafo tipo Lacroix se obtiene la deflexión total, que corresponde a la máxima deformación registrada en el punto de ensayo.

1.4 En algunos modelos de deflectógrafo se puede evaluar la línea de influencia de la deformada originada por la carga, midiendo las deflexiones para diferentes posiciones del punto de aplicación de la carga, con relación a un punto de medida fijo.

### 2 APARATO Y MATERIALES NECESARIOS

2.1 El deflectógrafo tipo Lacroix consiste esencialmente en dos brazos de medida de deflexión, que funcionan con el mismo principio que la viga Benkelman (NLT-356), y que se han automatizado e incorporado a un vehículo tractor con eje trasero simple y ruedas gemelas, así como los elementos necesarios para una adecuada operatividad (ver figura 1).

La velocidad de trabajo del deflectógrafo estará

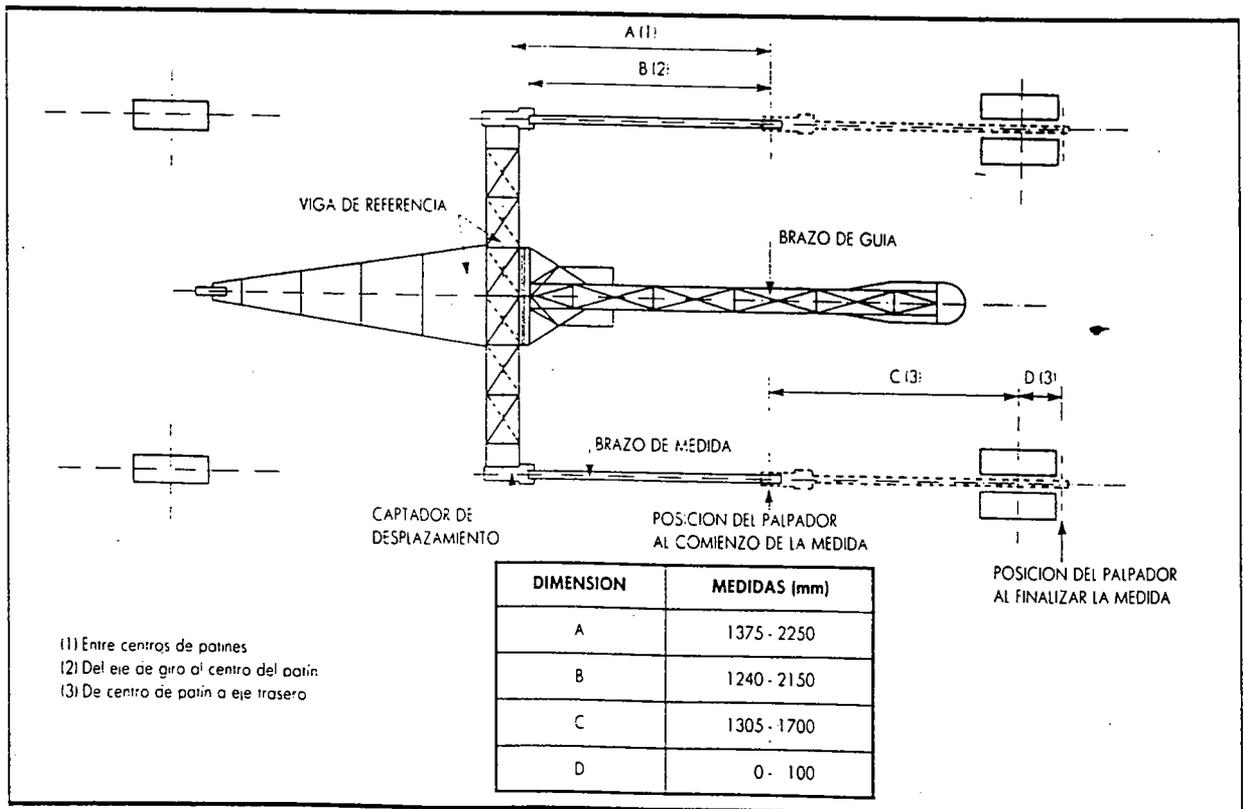


FIGURA 1. Representación esquemática del carrito de medida.

comprendida entre 2 y 3 km/h, según modelos, y los puntos de medida se distanciarán entre 3 y 5 m sobre la carretera.

Consta de los siguientes elementos:

### 2.1.1 Carretón de medida

Es el encargado de tomar las deflexiones verticales del firme. Se encuentra situado en la parte inferior del vehículo, de forma que apoya sobre el pavimento durante la toma de deflexiones y puede levantarse durante el transporte. Consiste en una viga de referencia a la que están unidos dos brazos de medida y el brazo de guía, y comprende los siguientes elementos:

**2.1.1.1 Viga de referencia.** Viga con tres patines de apoyo que definen el plano de referencia de la medida.

**2.1.1.2 Captadores de desplazamiento.** Son captadores de tipo inductivo, que transforman la deflexión en una señal eléctrica. Cada captador se conecta a su unidad de acondicionamiento, de forma que, a la salida de la misma, se obtiene una señal, en voltios, proporcional a la deflexión.

Los captadores de desplazamiento están situados en cajas estancas solidarias a la viga de referencia. Las bobinas de los captadores se mueven junto con las cajas estancas, mientras que los núcleos de los mismos son solidarios al brazo de medida. La señal eléctrica se origina debido al movimiento relativo entre bobinas y núcleo.

El deflectógrafo tiene un captador de desplazamiento para cada brazo de medida.

**2.1.1.3 Brazos de medida.** Los brazos de medida son dos iguales y están encargados de transmitir el movimiento del firme al captador de desplazamiento. La longitud entre el eje de giro del brazo de medida y el centro del palpador es de 1,24 m como mínimo.

**2.1.1.4 Palpadores.** Pequeños patines situados en los extremos de los brazos de medida que fijan con exactitud el punto medido. Durante el ciclo de medida están reposando en contacto con el pavimento.

**2.1.1.5 Brazo de guía.** Sirve para asegurar el correcto avance y posicionamiento del carretón en cada ciclo de medida.

**2.1.2 Dispositivo de arrastre.** El arrastre del carretón de medida en cada ciclo se efectúa mediante un motor que está acoplado a un embrague electromagnético. El motor, cuando está embragado, tira del carretón de medida hacia adelante por medio de un cable al que está unido, a una velocidad aproximadamente doble que la del vehículo tractor, deján-

dolo en la posición inicial apropiada para una nueva medida.

**2.1.3 Dispositivo de guiado.** Asegura que los brazos de medida sean dirigidos al espacio central entre las dos ruedas gemelas correspondientes a cada semieje trasero del vehículo, aun cuando éste tenga que efectuar recorridos en curva. Cuando el vehículo se desplaza a velocidad normal de viaje y no está realizando ensayos, la conexión de guiado se podrá aislar de la dirección del vehículo.

**2.1.4 Elemento de control de la distancia recorrida por el vehículo durante el ensayo.**

**2.1.5 Registro de las deflexiones.** La señal de salida de cada captador de desplazamiento se lleva, una vez acondicionada, a un registro. Se pueden utilizar microordenadores que permiten una lectura en tiempo real y el tratamiento de los datos adquiridos, y que pueden presentar el resultado tabulado en papel o almacenarlo en soporte magnético.

### 2.1.6 Vehículo

**2.1.6.1 Camión de dos ejes simples** cuya separación mínima ha de ser de 4,25 m. El eje trasero consta de ruedas gemelas con 12 cm de separación entre huellas. La capacidad de carga total en el eje trasero es de 128 kN (13t). La separación entre los balones de las ruedas gemelas a plena carga debe ser como mínimo de 5 cm.

**2.1.6.2 Los neumáticos** serán de la medida 12.00 - 20 y de unas características tales que, con presión de inflado de 0,7 a 0,9 MN/m<sup>2</sup> (7 a 9 kgf/cm<sup>2</sup>), den una superficie de contacto con el pavimento para las ruedas gemelas de  $1050 \pm 25$  cm<sup>2</sup>, ajustándose a la forma de la figura 2.

## 2.2 Otros elementos accesorios

**2.2.1 Termómetro.** Cualquier termómetro convencional o sistema de termopares con escala de

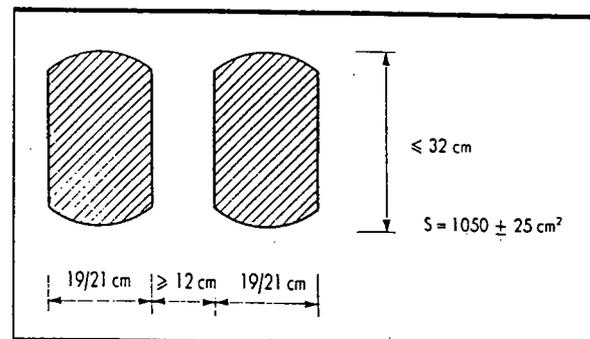


FIGURA 2. Superficie de carga.

-10 a 50 °C y precisión de 1 °C. Puede ser sustituido por algún método de toma de temperatura a distancia con los mismos intervalos de medida y precisión.

**2.2.2 Puntero y martillo, o taladro,** adecuados para practicar orificios en el pavimento hasta 50 mm de profundidad.

**2.2.3 Manómetro.** Dispondrá de una boquilla adecuada para medir la presión de inflado de los neumáticos con escala de 0 a 1 MN/m<sup>2</sup> (0 a 10 kgf/cm<sup>2</sup>) y precisión 0,01 MN/m<sup>2</sup> (0,1 kgf/cm<sup>2</sup>).

### 2.3 Varios

Papel para impresión de huellas de los neumáticos con dimensiones mínimas de 50 × 70 cm. Tizas y pinturas para marcar el pavimento. Impresos y elementos de escritura. Silbato u otro avisador acústico. Glicerol o material de similares inercia térmica y viscosidad.

## 3 PREPARACION DEL ENSAYO

**3.1** El camión de las características especificadas en el apartado 2.1.6 se carga preferiblemente con lingotes metálicos o prefabricados de hormigón, y se pesa en báscula contrastada hasta tener un peso en el eje trasero de  $128 \pm 2$  kN ( $13 \pm 0,2$  t). Se com-

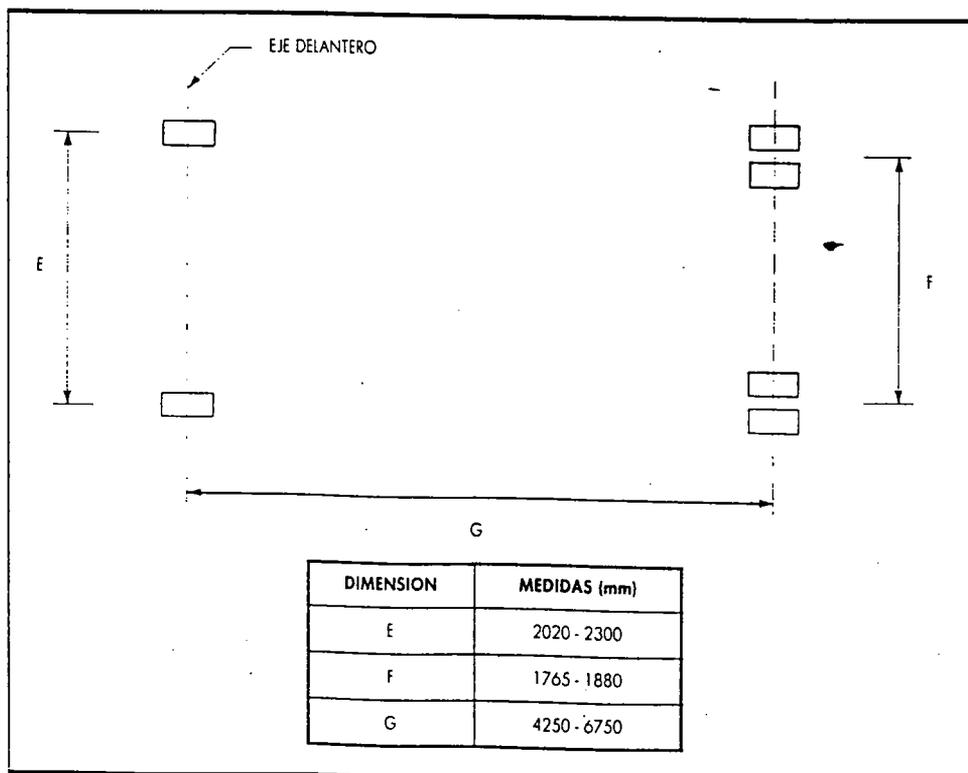
prueba la carga al comienzo y al final de las series de ensayos.

Se pesa el eje trasero del vehículo y las ruedas gemelas, bajo las que se realizan las medidas. El peso de estas últimas será de  $64 \pm 1$  kN ( $6,5 \pm 0,1$  t). Si los materiales utilizados para cargar el vehículo son susceptibles de variaciones de humedad se protegerán con una lona.

**3.2** Se imprime sobre un papel la huella de las ruedas gemelas cargadas correctamente, con la presión de inflado recomendada por el fabricante de los neumáticos para esa carga. Para ello se levantan las ruedas con un gato sobre una superficie lo más plana posible, se coloca el papel debajo y se descienden las ruedas reposando libremente toda la carga sobre el papel.

Se comprueba si la huella obtenida se ajusta a la huella tipo de la figura 2.

Caso que difiera por defecto o exceso se corrige la presión de inflado aumentándola o disminuyéndola, hasta que cumpla la condición anterior. Se anota la presión de inflado con la que se ha obtenido la huella correcta. Esta presión es la que debe mantenerse constante con oscilaciones máximas de  $\pm 0,01$  MN/m<sup>2</sup> ( $\pm 0,1$  kgf/cm<sup>2</sup>) durante todas las series de ensayos a realizar. Se comprueba la presión de inflado cada 2 horas, corrigiéndose cuando esté fuera del intervalo anterior.



**FIGURA 3.** Planta de las ruedas del vehículo.

### 3.3 Calibración

**3.3.1** La calibración supone relacionar el movimiento del palpador en el brazo de medida con el valor en unidades de conversor del registro con el fin de determinar el intervalo de deflexión en el que se puede trabajar. Esta operación se ha de realizar en los dos brazos de medida.

**3.3.2** Para ello se coloca el deflectógrafo en posición de ensayo de forma que los palpadores estén lo suficientemente alejados de las ruedas del eje trasero del vehículo, y así permitir que el dispositivo de calibración pueda colocarse debajo del palpador. El dispositivo de calibración consiste en un tornillo micrométrico y un micrómetro de esfera.

**3.3.3** Se conecta el equipo eléctrico y se dispone el sistema en condición de medida. Partiendo de la posición más baja (alta) del palpador se hace todo el recorrido hasta la posición más alta (baja) del mismo mediante el tornillo micrométrico, realizando incrementos iguales de 1 mm y tomando en cada uno las unidades de conversor correspondientes. Con ello se obtiene la curva que relaciona el desplazamiento del palpador con los valores en unidades de conversor. En esta curva se determina la zona de incremento lineal, de manera que a cada incremento de desplazamiento de 1 mm corresponde el mismo incremento en unidades de conversor. En este intervalo de incremento lineal ha de trabajar el deflectógrafo.

**3.3.4** Los valores instantáneos de unidades de conversor en el registro, que se relacionan con una determinada posición del palpador durante el proceso de calibración, varían. Una parte importante de esta variación en el dato de calibración es debida al ruido eléctrico producido en los dispositivos electrónicos. Los resultados de calibración individuales utilizados para la interpretación de los datos serán, por lo dicho, la media de al menos diez determinaciones.

**3.3.5** El proceso de calibración se hará siempre que:

- Se detecte alguna avería o se efectúen cambios en el sistema de instrumentación.
- Cuando se cambie el patín en el palpador o en la viga de referencia.
- Cuando transcurra mucho tiempo sin haber sido usado.
- Cuando la comprobación de calibración dé mal.

**3.3.6** Mediante la comprobación de calibración se determina si la zona lineal de trabajo sigue mante-

niendo los incrementos que se obtuvieron en la calibración.

Para ello se realizan todas las operaciones indicadas para la calibración, pero colocando al inicio, el brazo de medida sensiblemente paralelo al pavimento. A continuación, se mueve el palpador sólo en un sentido, hacia arriba o hacia abajo, y se toman puntos separados como mínimo un milímetro entre sí.

Si la comprobación de calibración no da bien, se verifica si hay algo que lo impida y se vuelve a realizar otra vez la misma. Por último, si continúa dando mal, se vuelve a calibrar.

La comprobación de la calibración se hará todos los días de trabajo, antes de la toma de deflexiones.

**3.3.7** Tanto durante el ensayo como en las operaciones de calibrado, se efectúan y anotan (o registran) las lecturas de la temperatura ambiente y del pavimento con una frecuencia suficiente, como mínimo cada hora. Los aparatos de medida de temperatura se contrastarán regularmente con uno estándar.

## 4 MEDIDAS DE DEFLEXION. PROCEDIMIENTO

**4.1** El ciclo de operación se muestra en la figura 4, en la que se puede apreciar la posición relativa entre las ruedas de carga y los palpadores de los brazos de medida, al principio y al final de la secuencia de medida.

**4.2** Al principio del ciclo de medida las parejas de ruedas traseras se encuentran en la posición A y el carretón de medida permanece inmóvil. Los palpadores de los brazos de medida en ese momento están a unos 1.600 mm por delante del eje trasero. El comienzo de la medida se realiza por activación del solenoide y en ese momento los palpadores se encuentran aproximadamente a 1.500 mm por delante del eje trasero, posición B de la figura 4. A la vez que las ruedas traseras continúan avanzando hacia los palpadores de los brazos de medida, la superficie del firme, en el punto C, sufre un desplazamiento vertical variable. La deflexión producida en la superficie del pavimento es detectada en los palpadores y transferida al captador de desplazamiento mediante los brazos de medida, y por último del solenoide al sistema de registro. Cuando el eje trasero alcanza el punto D, a una distancia de entre 0 y 100 mm del palpador, el solenoide se desactiva.

**4.3** Para desplazar el carretón hacia delante e iniciar un nuevo ciclo de medida, se utiliza un embrague electromagnético. El carretón de medida queda en reposo cuando se alcance la distancia entre puntos de medida, y se vuelve a repetir el ciclo de medida.

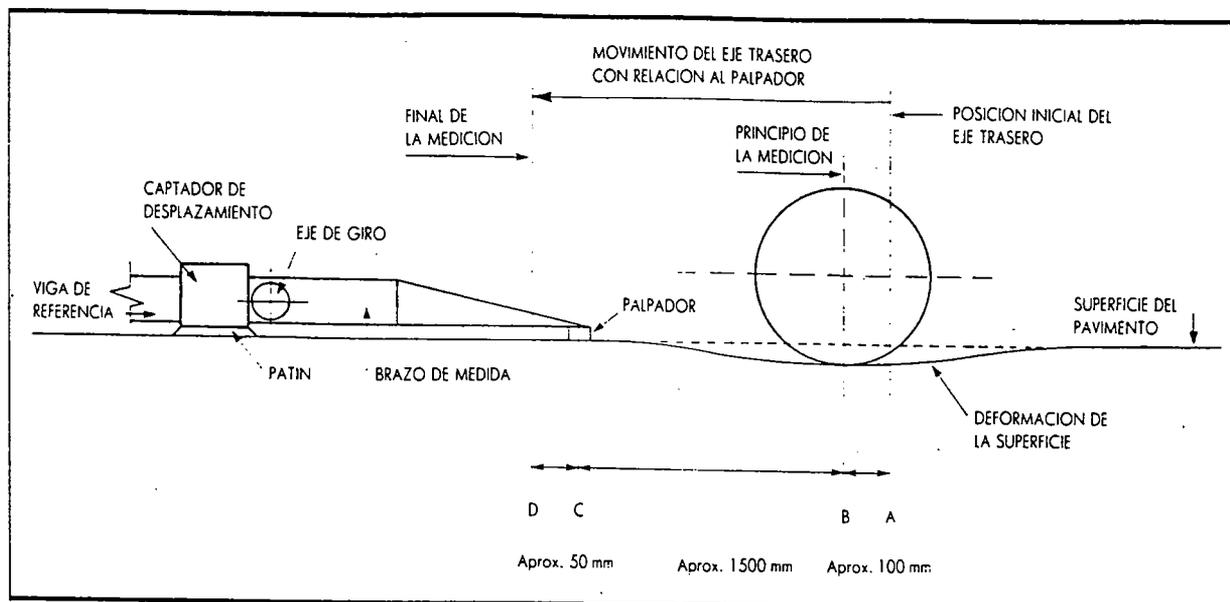


FIGURA 4. Diagrama del ciclo de medida.

**Nota 1.** La disposición del montaje del defletografo, implica que todos los patines de apoyo de la viga de referencia estén afectados por las ruedas de carga y delanteras durante el ciclo de medida, así como que las ruedas delanteras jueguen un papel importante en los valores de deflexión medidos.

**Nota 2.** Un análisis de la respuesta del defletografo a los bulbos de deflexión de forma y tamaño conocidos, indica que las deflexiones medidas son normalmente menores que las medidas con la viga Benkelman.

**Nota 3.** Por estas consideraciones, hay que subrayar la importancia que tiene normalizar tanto la posición al principio como al final del ciclo de medida, para obtener deflexiones que sean adecuadas para su utilización en los métodos de proyecto.

## 5 RESULTADOS

5.1 En el informe del resultado de los ensayos se incluirá como mínimo la siguiente información:

5.1.1 Características geométricas del defletografo, indicando la situación en planta de los patines de apoyo de la viga de referencia, además de los ejes de giro y palpadores de los brazos de medida, así como su posición relativa con respecto al eje trasero del vehículo en las distintas fases del ciclo de medida. Asimismo, las distancias entre ejes delantero y trasero, y entre las ruedas de un mismo eje (ver figura 3).

5.1.2 Velocidad de medida y carga aplicada al pavimento por el eje delantero del vehículo.

5.1.3 Fecha y hora de realización del ensayo.

5.1.4 Temperatura ambiente y del pavimento durante las mediciones, como mínimo cada hora.

5.1.5 Otros factores meteorológicos (tiempo soleado, nublado o lluvioso, viento, etc.) y todas las circunstancias que ayuden en la interpretación de las deflexiones obtenidas.

5.1.6 Localización del ensayo y valores numéricos, en centésimas de milímetro, de las medidas realizadas.

## 6 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

TRRL Laboratory Report 834. «Pavement deflection: equipment for measurement in the United Kingdom» (1978).

TRRL Laboratory Report 835. «Pavement deflection: operating procedures for use in the United Kingdom».

AASHTO T 256-77(86) «Pavement Deflection Measurements».

## 7 NORMA PARA CONSULTA

NLT-356 «Medida de las deflexiones de un firme mediante el ensayo con viga Benkelman».