

Auscultación de la capacidad portante de firmes semi-rígidos

Por **RAFAEL ALVAREZ LORANCA**
Dr. Ingeniero de Caminos
Canales y Puertos.



Deflectómetro de impacto.

1. Introducción

A partir de los años sesenta, empezaron a introducirse en España los firmes con base o sub-base cementada, generalmente grava-cemento y suelo-cemento. Estos firmes se convirtieron pronto en muy populares en carreteras con tráfico relativamente importante, ya que proporcionan una buena capacidad portante del firme a un precio no demasiado elevado.

Posteriormente han aparecido otras bases cementadas, como las formadas por hormigón seco com-

pactado, que han ampliado el campo de las capas cementadas en la carretera.

Este tipo de capas, al poco tiempo de ser puestas en obra, sufre una fisuración transversal sistemática con una cadencia, que puede variar entre los 4 y los 6 metros, en función de las características particulares de cada caso.

Estas fisuras se van reflejando en la capa de mezcla asfáltica superior y, al cabo de un tiempo, en función del espesor de la capa de mezcla y de la climatología de la zona, aparecen en la superficie del pavimento.

La fisura se convierte en una vía de entrada del agua hacia las capas inferiores, con el consi-

guiente deterioro de las mismas, lo que origina graves problemas de mantenimiento.

2. Desarrollo de la degradación y factores que influyen en la misma.

Como se ha indicado, y causado fundamentalmente por la retracción, la capa cementada se fisura y pasa de ser un medio continuo a uno discontinuo, formado por una serie de losas separadas y adyacentes. Estas losas están sometidas a dos fenómenos de variación térmica, como son el ciclo diario y el ciclo anual. Cada día las temperaturas varían, pasando por un valor

“**C**uanta más fría es la temperatura a la que se fisura la capa, menores serán los problemas que esa carretera tenga de reflejo de fisuras.”

máximo y por un valor mínimo. Igualmente, a lo largo de un año, existe una variación de la temperatura media, que pasa igualmente por un valor máximo y otro mínimo.

Es importante la temperatura, tanto del ciclo diario como del estacional, a la que se produce la fisuración de la capa, ya que esto va a marcar su comportamiento en el futuro. Cuanta más fría es la temperatura a la que se fisura la capa, menores serán los problemas que esa carretera tenga de reflejo de fisuras.

En efecto, si se partiese como origen de formación de la fisura del punto más frío del año, los efectos térmicos producirían compresión entre los labios de la fisura, pero no tracción; por lo que, si la capa es capaz de soportar esta sollicitación de compresión sin romperse, no se abriría jamás la fisura y no se reflejaría en superficie.

Por otro lado, el caso más desfavorable sería aquel en el que la fisura se forma en el momento de mayor temperatura, tanto en el ciclo anual como en el diario. En esta fisura todos los movimientos térmicos originan apertura de fisuras; y, por lo tanto, provoca de forma más rápida el reflejo de dicha fisura en la superficie de la carretera.

Lo normal en España es realizar las obras durante la época de buen tiempo, por lo que, en relación con el ciclo anual, se parte de una situación mala.

Respecto al ciclo diario, se ha observado que las zonas construidas al principio de la mañana se fisuran durante la noche, y, por lo tanto, su comportamiento en el proceso de reflejo de fisuras es

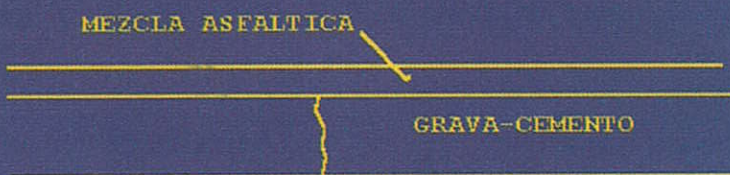
FASES DE CREACION DE UNA FISURA: FASE 1



GRAVA-CEMENTO

CAPA DE GRAVA-CEMENTO FISURADA POR EFECTO DE LA RETRACCION A LOS POCOS DIAS DE SU PUESTA EN OBRA.

FASES DE CREACION DE UNA FISURA: FASE 2

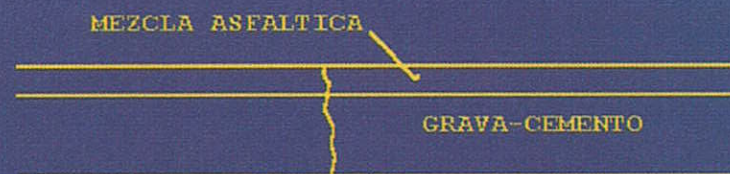


MEZCLA ASFALTICA

GRAVA-CEMENTO

SITUACION UNA VEZ COLOCADA LA CAPA DE MEZCLA ASFALTICA

FASES DE CREACION DE UNA FISURA: FASE 3



MEZCLA ASFALTICA

GRAVA-CEMENTO

FISURACION REFLEJADA DE LA CAPA DE MEZCLA ASFALTICA AL CABO DE ALGUNOS INVIERNOS FRIOS

mejor que el de las zonas construidas a última hora de la tarde, que se fisuran a la mañana siguiente con una temperatura más elevada que por la noche.

A veces, la ejecución de capas cementadas durante época fría da lugar a un fenómeno de pandeo o

montado de las “losas” adyacentes, que se puede ver agravado en el momento de colocar sobre dicha capa la mezcla asfáltica en caliente a temperaturas elevadas.

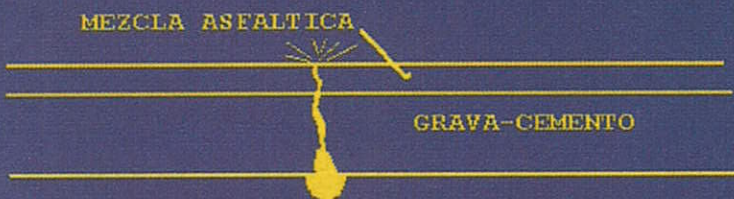
En ese momento, y debido al aumento de temperatura provocado por el contacto de la mezcla, se

FASES DE CREACION DE UNA FISURA: FASE 4



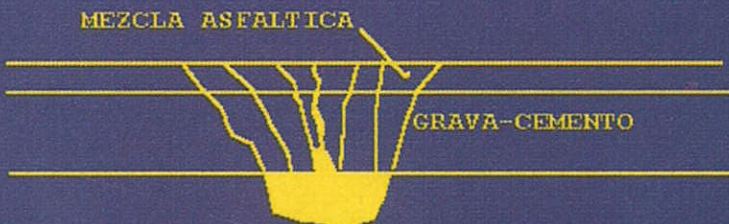
LA SITUACION DE LA FISURA SE DETERIORA REDUCIENDOSE LA TRANSFERENCIA ENTRE LOSAS

FASES DE CREACION DE UNA FISURA: FASE 5



COMIENZO DE LA FORMACION DE HUECOS BAJO LA LOSA Y DE LA APARICION DE ECLOSION DE FINOS

FASES DE CREACION DE UNA FISURA: FASE 6



DETERIORO GENERALIZADO DE LA ZONA DE LA FISURA

produce un aumento de la fuerza de compresión; con lo que, en las juntas más débiles, se produce una rotura brusca o "explosión" de la fisura. Estas zonas deben ser reparadas, pero su comportamiento posterior en el proceso de reflejo de fisuras es muy bueno.

Otro parámetro importante a tener en cuenta es la naturaleza del árido. Los áridos silíceos tienen un coeficiente de dilatación superior a los áridos calizos, por lo que las capas cementadas construidas con los primeros tienen mayores aperturas de fisuras y, por lo tanto, ma-

yores problemas de reflejo de fisuras.

En definitiva, durante los fríos inviernos es cuando se produce el máximo de apertura de la fisura y cuando, por lo tanto, mayor es el crecimiento interno de la fisura en la capa superior de mezcla asfáltica, agravándose el problema del reflejo de fisuras.

Una vez reflejada la fisura en superficie, esta fisura empieza a deteriorarse, pasando de una fisura con una buena transferencia de carga entre ambos lados de la misma a una fisura con mala transferencia de carga.

El paso del agua y del tráfico provocará también la formación de huecos debajo de la fisura, con lo que su comportamiento será cada vez peor.

El siguiente paso es la formación de huecos más grandes, junto con la eclosión de finos en la superficie provenientes de dicho hueco, con lo que se anuncia la ruina localizada inminente de esa parte del firme.

3. Auscultaciones del firme.

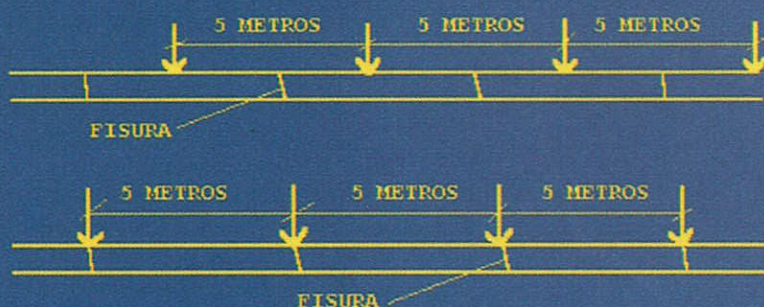
Independientemente de las auscultaciones del coeficiente de rozamiento, regularidad superficial y degradaciones superficiales, que son semejantes a las que se realizan para el resto de los firmes, la auscultación estructural o de capacidad portante de los firmes semi-rígidos tiene unas características particulares, que conviene estudiar con más detalle.

Los firmes semi-rígidos, como se ha indicado, se convierten, al poco tiempo de su puesta en obra, en unos firmes discontinuos formados por losas de, por ejemplo, 6 metros de longitud, separados por fisuras.

La deflexión máxima y el radio de curvatura, medidos sobre el firme, serán muy buenos en los 5,50 metros centrales de la losa y serán malos en los 0,25 metros adyacentes a las fisuras aproximadamente.

En las auscultaciones que se realizan con aparatos de auscultación de gran rendimiento, y de paso constante de cinco metros, se adquieren las medidas, aleatoriamente, en zonas buenas y en zonas malas de las "losas".

POSIBILIDADES DE AUSCULTACION AL REALIZARSE DE FORMA ALEATORIA



Con objeto de tener una información más precisa, se propone realizar la auscultación con la metodología que se indica a continuación.

4. Auscultación de los firmes semi-rígidos.

Los firmes semi-rígidos parece conveniente auscultarlos de forma semejante a como se auscultan los firmes rígidos con juntas, es decir, auscultando fundamentalmente el estado de las fisuras, que son el principal problema de este tipo de firmes.

Existe metodología, suficientemente comprobada en el mundo y recogida, por ejemplo, en la Normativa estadounidense, donde se indica la forma de auscultación de juntas o fisuras, con objeto de obtener la transferencia de cargas entre los labios de la junta, y conocer

la existencia de huecos debajo de la fisura y su tamaño aproximado.

Por lo tanto, y dado que los grados de degradación en las zonas de fisuras de un firme de grava-cemento pasan por diversas etapas en

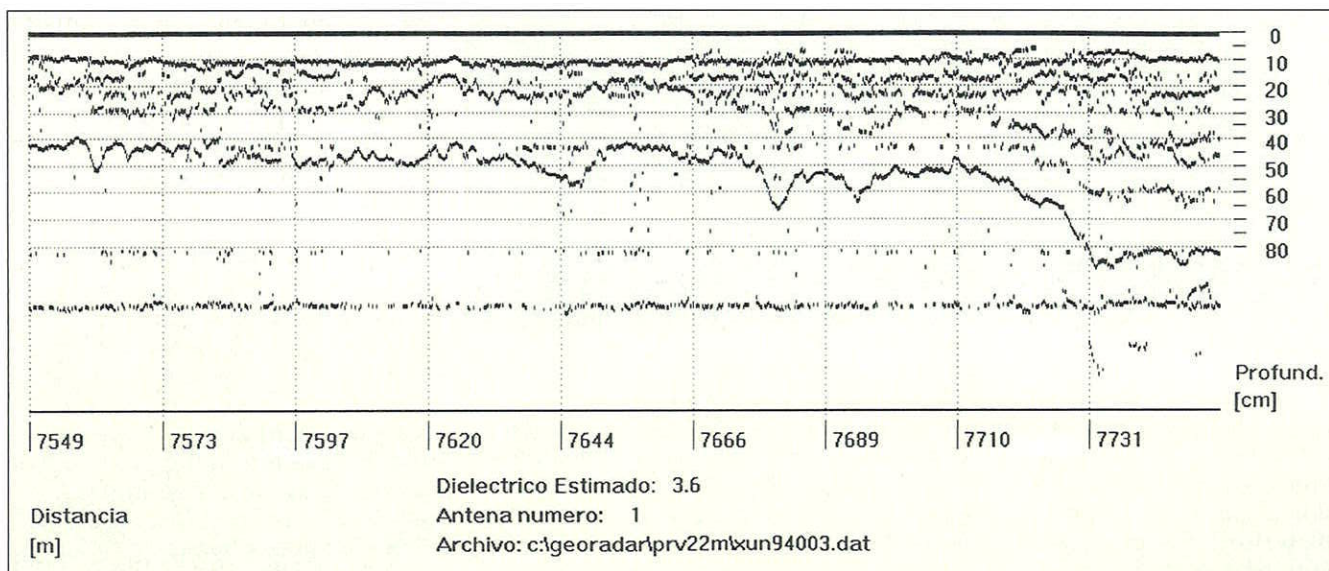
la transferencia entre losas y en la formación de huecos, se debe orientar la auscultación hacia la determinación de estos valores en las fisuras, ya que así se obtiene el conocimiento del estado de los elementos que pueden llevar a la ruina del firme.

Dado que resultaría muy caro y lento el realizar la medición en cada fisura, y dado que el comportamiento de las mismas no es muy variable entre fisuras próximas, se recomienda, en principio, auscultar una fisura de cada cinco, lo que supone en la práctica realizar un ensayo cada 25 ó 30 metros.

Este ensayo se compone en realidad de dos, ya que se estudia la transferencia de carga en los dos sentidos, por lo que hay que realizar un ensayo a cada lado de la fisura. Hay que resaltar que, si la fi-



Geo-radar.



sura no es vertical, la transferencia de carga puede ser muy diferente de un lado a otro.

Este ensayo se realiza con el deflectómetro de impacto, provisto de una cámara de vídeo en la parte inferior del vehículo, lo que permite colocar al mismo en la posición adecuada, en función de la fisura, para realizar el ensayo.

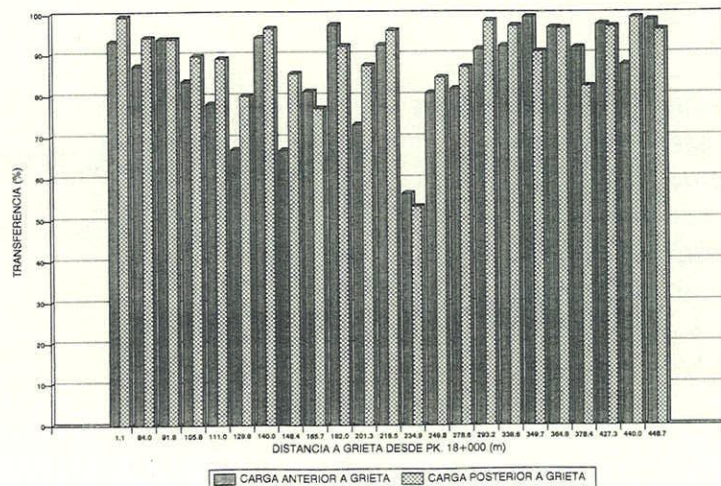
El ensayo se realiza dando en cada punto tres golpes con carga diferente cada uno de ellos, con objeto de obtener la variación de la deflexión al modificar la carga.

En general, cuando no existen huecos, la deflexión es directamente proporcional a la carga, y la curva resultante es una recta que pasa por el origen de coordenadas. Si existen huecos la recta se desplaza y ya no pasa por el origen. En función de la variación se puede estimar el volumen de los huecos debajo de la losa. Este método es el indicado en la Normativa AASHTO norteamericana.

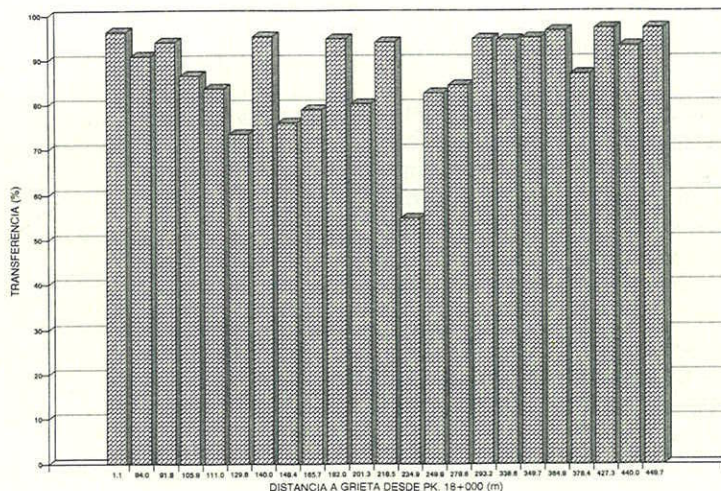
Para obtener la transferencia de cargas entre las losas ficticias que se forman en las capas cementadas, se sitúan los geófonos del deflectómetro de impacto, de forma que existan dos de ellos situados simétricamente a cada lado de la fisura.

Si la losa fuese continua, las deflexiones en dos puntos próximos serían iguales. Al estar fisurada la losa, la deflexión en la parte de losa separada de la carga por la fisura, es menor que en el geófono cercano al anterior, pero situado en el mismo lado que el punto de carga. La relación entre la deflexión

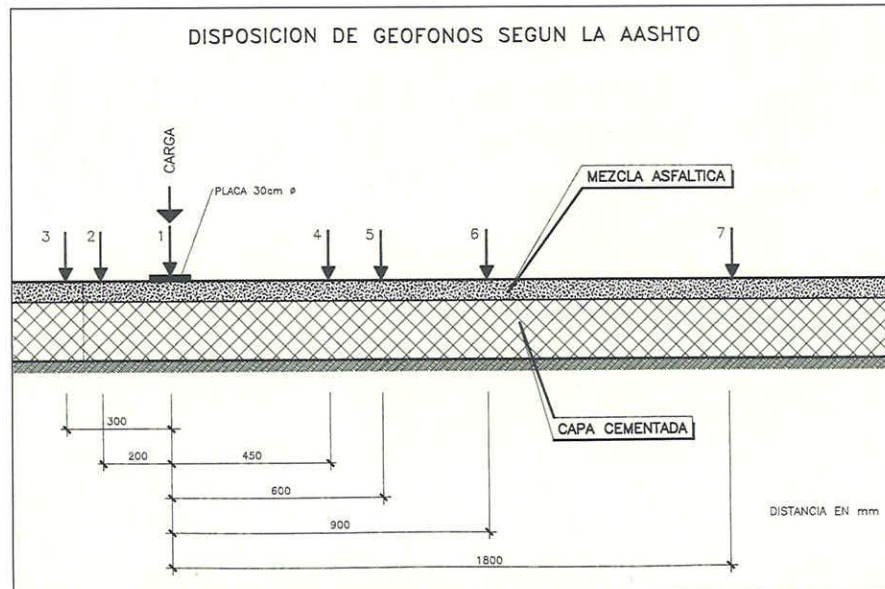
N-IV (DEL P.K. 18 AL P.K. 17)
TRANSFERENCIA DE CARGA



N-IV (DEL P.K. 18 AL P.K. 17)
TRANSFERENCIA DE CARGA MEDIA



DISPOSICION DE GEOFONOS SEGUN LA AASHTO



del geófono de la parte más cercana es el coeficiente de transmisión de carga en la fisura.

En la figura se observan las disposiciones posibles de los geófonos para realizar esta auscultación.

Con estos valores de transferencia de cargas y con los de existencia de huecos, se puede conocer el estado de la fisura y plantearse qué actuación es la más adecuada para cada zona, sellado, refuerzo, etc.

Con el odómetro incorporado al vehículo se puede identificar la fisura ensayada, y, en caso de que se quiera completar la información sobre las fisuras adyacentes, se puede realizar el trabajo perfectamente.

La auscultación se puede com-

“**S**e preconiza un cambio en la tendencia de la auscultación de la capacidad portante de los firmes semi-rígidos, enfocándolos hacia el estudio de los puntos débiles y que sufren deterioro.”

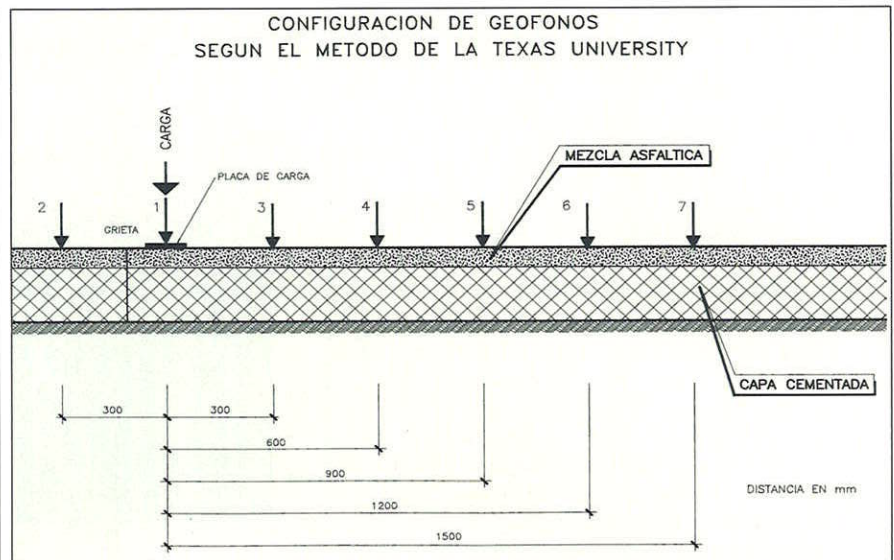
plementar con el paso del vehículo geo-radar a baja velocidad (20 km/hora), con objeto de corroborar la existencia de huecos indicada por la auscultación del defleómetro de impacto, así como para comprobar que no existe alguna anomalía importante en las fisuras no auscultadas.

Además con el paso del geo-radar se obtendrán los datos reales de los espesores de las capas, con lo que se pueden calcular los módulos de elasticidad de las mismas con gran exactitud. Este estudio permite conocer si existe alguna capa en mal estado que pueda influir en el comportamiento del firme. Hay que resaltar que, al realizarse el ensayo en zona fisurada, el módulo de elasticidad de la gravacemento será, en general, bajo.

Existen otros métodos para estudiar la existencia de huecos, independientemente del Método de la AASHTO descrito brevemente con anterioridad, como es el método de la Texas University.

Este método, desarrollado por la Universidad de Texas en Austin para la Federal Highway Administration de Austin (Texas), ha sido realizado por los profesores Eduardo A. Ricci, A.H. Meyer, W.R. Hudson y K.H. Stokoe II.

En este método, además de indicar otra posible distribución de geófonos alrededor de la fisura distinta de la indicada por la AASHTO, tema que no cambia como es lógico la metodología fundamental ni los resultados del ensayo, desarrolla un tratamiento distinto para la detección de hue-



cos debajo de las juntas o fisuras de las “losas”.

El método se basa en que los dibujos de los cuencos de deflexión obtenidos en los ensayos revelan que se producen cambios en las pendientes del cuenco cuando existen huecos debajo de las “losas”.

Se eligieron las pendientes entre las deflexiones de los geófonos 2 y 7 y entre las deflexiones de los geófonos 1 y 2 en el cuenco, para ser analizadas.

El ángulo formado por la recta que une las deflexiones de los geófonos 2 y 7 y una línea horizontal se denominó parámetro Q. El otro parámetro, M, es el ángulo formado por la línea que une las deflexiones de los geófonos 1 y 2 con la vertical.

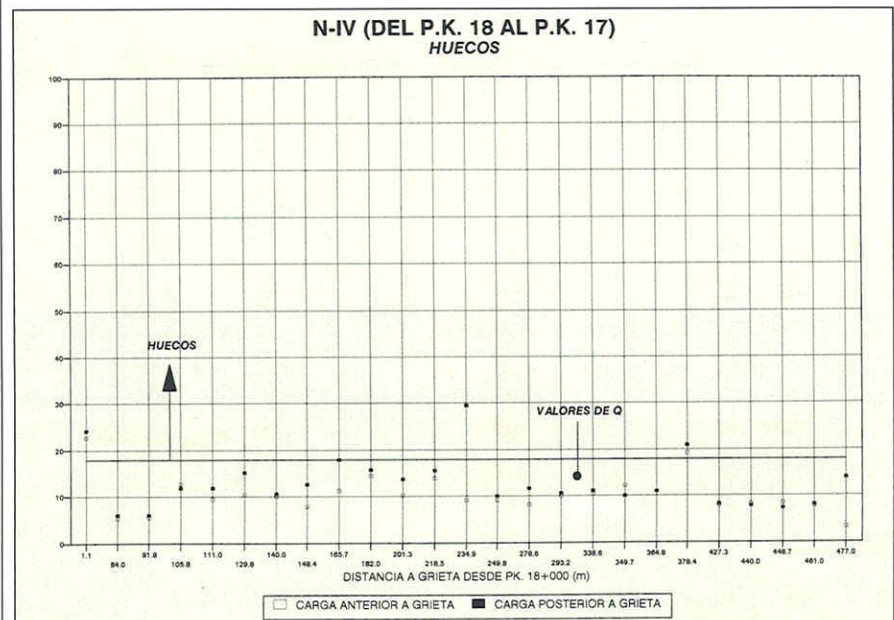
Como los ángulos son pequeños

se representan a escalas distintas horizontales y verticales. Los factores de escala utilizados son 24 y 6 para los parámetros Q y M respectivamente.

En función de los valores absolutos y relativos de Q y M es posible conocer la existencia de huecos debajo de la junta o fisura.

Aunque este método está fundamentado en un método de auscultación totalmente distinto al de la AASHTO, hay que indicar que la correlación entre ambos métodos es bastante buena, como puede apreciarse en las figuras que se adjuntan, donde se han comparado los resultados obtenidos en un mismo tramo aplicando los dos métodos.

La experiencia actual indica que se puede utilizar cualquiera de

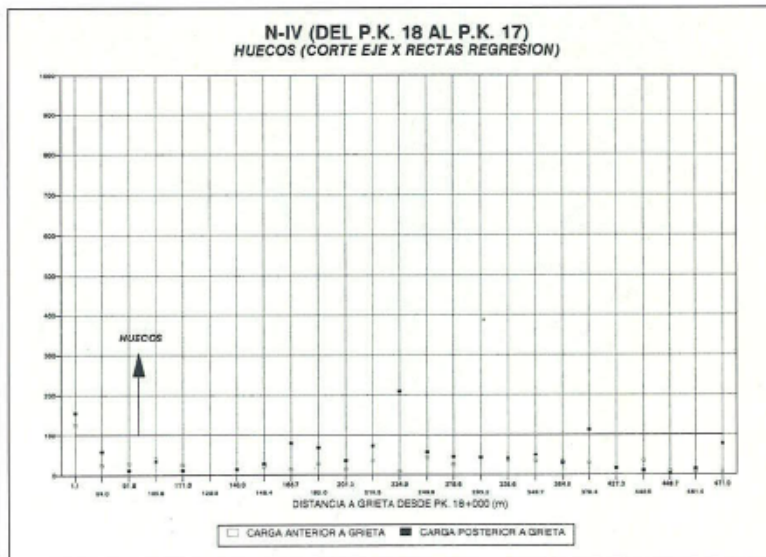


los dos métodos, ya que los resultados que se obtienen son equivalentes.

5. Resumen.

Como resumen de lo expuesto, se preconiza un cambio en la tendencia de la auscultación de la capacidad portante de los firmes semi-rígidos, enfocándolos hacia el estudio de los puntos débiles y que sufren deterioro, como son los de la zona de fisuras, más que a realizar unos ensayos cada un cierto número de metros, donde los resultados que se obtienen son aleatorios y de difícil seguimiento e interpretación, por la natural incertidumbre causada por no saber en qué zona de la losa se realizan.

Conociendo el estado de las fisuras y su evolución, es posible prever las diversas actuaciones a realizar, como pueden ser el sellado de fisuras, colocación de una capa de refuerzo con o sin capa espe-



cial para retardar el reflejo de fisuras, etc., con tiempo suficiente para evitar el deterioro irreversible del firme. ■

**Rafael L. Alvarez Loranca. Jefe del
Dpto. de Gestión de Infraestructuras de
GEOCISA.**