

Extensómetro de bajo coste para medidas de deformación en pavimentos

JORGE MUÑOZ SANZ (*)
JULIO SEPULVEDA MORA (*)

RESUMEN. Se desarrolla un extensómetro para medir deformaciones debidas a tracción, en capas de pavimento. El diseño del extensómetro permite una instalación que asegure el contacto solidario con el medio en el que está inmerso. Debe utilizarse en materiales cohesivos ($E \leq 2.500$ MPa). Las diferencias obtenidas respecto a transductores convencionales han sido inferiores a $10 \mu\text{def.}$ y su coste no ha superado los 25 dólares.

LOW-COST STRAIN-GAUGE FOR «IN-SITU» MEASUREMENT TO PAVEMENTS

ABSTRACT. A strain-gauge has been developed to measure horizontal strains induced by tensile stresses *in situ*. This strain-gauge has been designed in such a way as to guarantee secure contact with the material in which it is embedded. It must be used with cohesive materials ($E \leq 2,500$ MPa). A good correlation was observed between conventional transducers and this sensor (differences $\leq 10 \mu\text{strain.}$) and it costs 25 \$.

1. INTRODUCCION

La necesidad de entender mejor el fenómeno de respuesta de un pavimento frente a sollicitaciones de tráfico hacen necesaria la instrumentación de pavimentos. Una de las magnitudes importantes a medir es la deformación horizontal, especialmente la debida a tracción, de las diferentes capas del pavimento y ello comporta la utilización de extensómetros.

Además de las características técnicas de estos extensómetros, tales como rango de deformación ($\pm 1.500 \mu\text{def.}$), precisión ($< 10 \mu\text{def.}$), resistencia a fatiga ($> 10^6$ ciclos), longitud de extensómetro (> 100 mm), rango habitual de temperatura (-20°C a 70°C), hay que tener en cuenta las condiciones de instalación tales como la capacidad de soportar las temperaturas de compactación (cerca de 200°C si se trata de mezclas bituminosas), la resistencia del propio extensómetro a las tensiones de compactación que llegan a romperlo en ocasiones, el anclaje de éste al material del pavimento de forma que perdure la fijación, el módulo elástico del propio extensómetro (inferior al del material del pavimento), etc.

Otra consideración a tener en cuenta es la economía en los costes de fabricación de sensores, ya que se utili-

za un número considerable de ellos en cada ensayo y, una vez instalados, no son recuperables. A esta economía contribuye un diseño tan sencillo como sea posible.

En la Pista de Ensayos del CEDEX del Goloso, uno de los extensómetros utilizados consiste en una banda extensométrica montada sobre film de polimida —polímero termoestable obtenido por condensación de anhídridos y diaminas aromáticas, comercialmente conocido como Kapton—, protegida con goma de silicona. En el presente artículo se exponen los resultados de la evaluación de este tipo de extensómetro.

2. DESCRIPCION DEL EXTENSOMETRO

El extensómetro se construye a partir de una pieza rectangular de Kapton 300 HN de 150×30 mm (véase Fig. 1). Sobre ella se pega una banda extensométrica de 25 mm de longitud, se sueldan los terminales para montaje a tres hilos, se cubre tanto la zona de la banda como los terminales con goma de silicona (3 mm de espesor), por ambas caras del extensómetro y los extremos de la pieza de Kapton se impregnan con un pegamento para fijar partículas de arena sílicea limpia monotamaño de 1 mm.

Entre las características físicas del film de Kapton, caben destacar las indicadas en la tabla 1. La banda extensométrica seleccionada fue la EA06-10CBE120 de Micro-Measurements y el adhesivo rápido M Bond-200. Sus características cumplen lo indicado en la introducción.

(*) Licenciado en Ciencias Físicas. Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX (Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente).

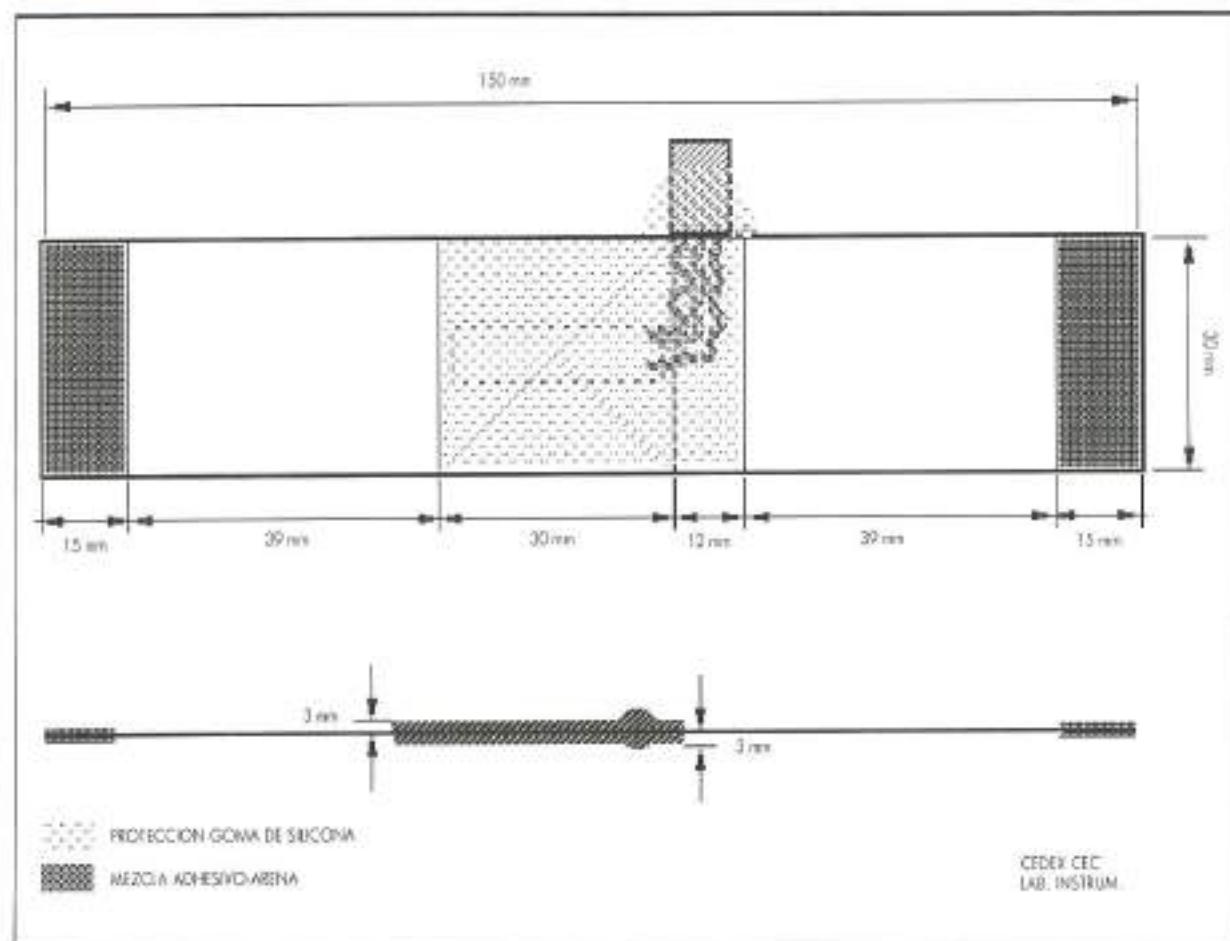


FIGURA 1. Croquis del sensor evaluado en los ensayos.

3. EXPERIMENTACION

Para la evaluación del extensómetro, se confeccionó una probeta prismática de $30 \times 30 \times 10$ cm con mezcla bituminosa tipo S20 con el 4,8 % de betún/áridos.

Las condiciones de compactación fueron las del ensayo de Resistencia a la deformación plástica de las mezclas bituminosas mediante la pista de ensayo de laboratorio (NLT-173/84). Se modificó algo el proceso, del siguiente modo: se tomó un molde de doble espesor al habitual, se compactó una probeta en dos capas; sobre la superficie de compactación de la primera capa, se fijaron varios extensómetros y a continuación se compactó la segunda capa. La fijación se realizó clavando los extremos del Kapton, y se obtuvieron, una vez enfriada la mezcla y mediante corte, tres probetas de $30 \times 7,5 \times 10$ cm.

El montaje eléctrico del sensor fue el típico de tres hilos de banda extensométrica midiendo en cuarto de puente (véase Fig. 2). Las lecturas de deformación del

MAGNITUD	A 23 °C	A 200 °C
Resistencia a tracción (MPa)	231	139
Tensión de tracción para el 5 % de elongación (MPa)	90	61
Máxima elongación	72	83
Módulo de tracción (MPa)	2.500	2.000
Coefficiente de Poisson	0,34	—
Resistencia sin rotura a plegado (ciclos)	285.000	—
Resistividad (Ωcm^{-1})	$1,5 \times 10^{17}$	—
Coefficiente de expansión higroscópica	22 ppm/ % de H. E.	—

TABLA 1. Características del Kapton tipo 100 HN (25 μm de espesor) obtenidos con normas ASTM (Du Pont Electronics).

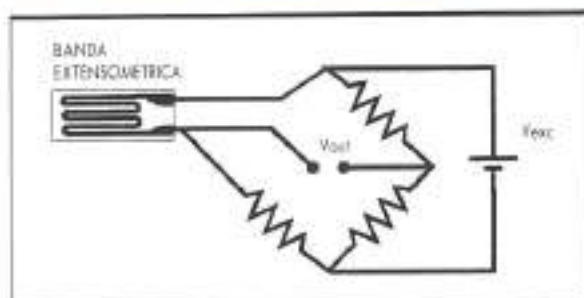


FIGURA 2. Montaje a tres hilos de banda extensométrica en cuarto de puente.

sensor se obtuvieron aplicando la expresión correspondiente a este montaje:

$$DL/L = (4V_{out})/(kV_{exc})$$

donde V_{out} es el voltaje medido en la salida del puente de medida, V_{exc} es el voltaje de excitación del puente y k es el llamado «factor de la banda» (prácticamente igual a 2 en la mayoría de las bandas extensométricas metálicas; véase referencia 6).

3.1. DESCRIPCION DEL SISTEMA UTILIZADO

El sistema utilizado para realizar las pruebas del sensor se compone de los siguientes elementos, interconectados según se muestra el diagrama adjunto (Fig. 3):

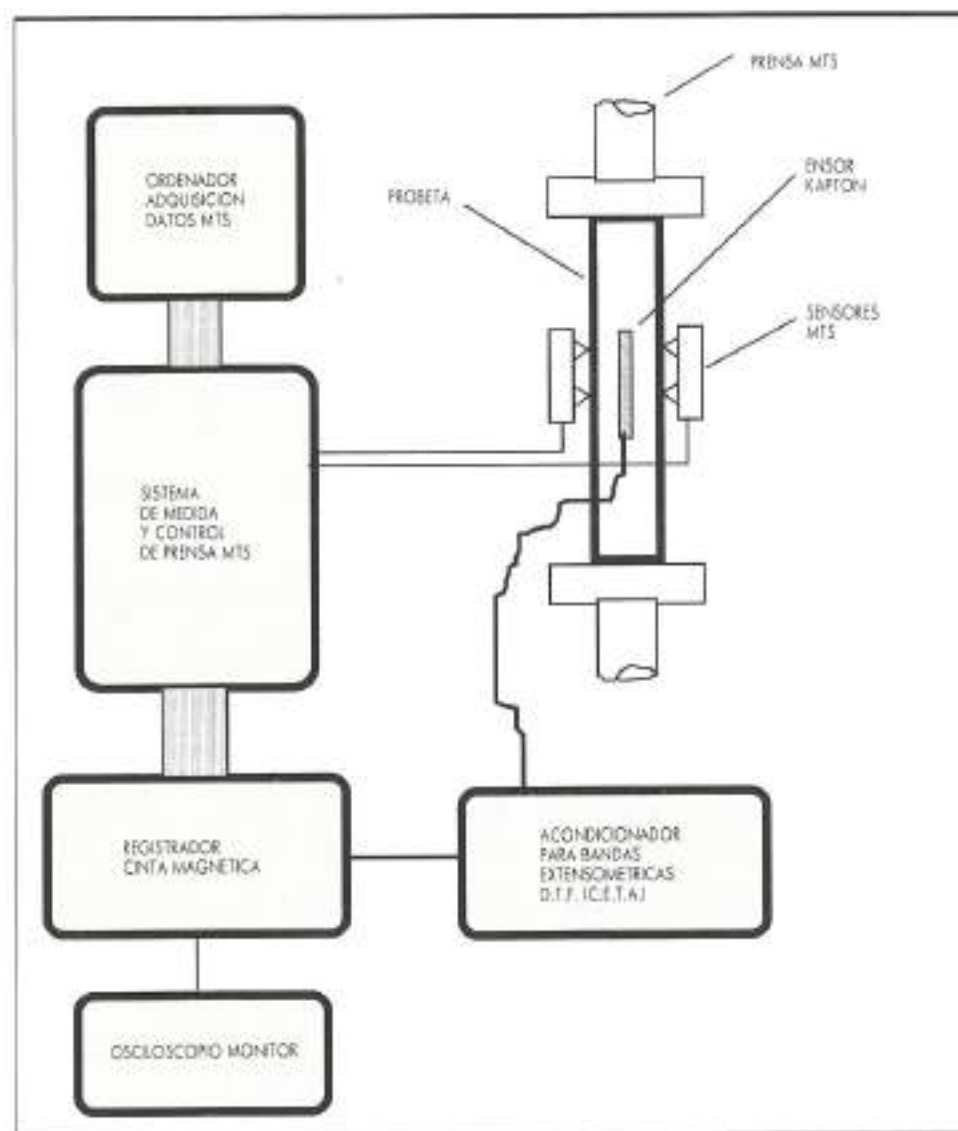


FIGURA 3. Diagrama del sistema de medida utilizado en los ensayos.

- Equipo de ensayos dinámicos MTS, que incluye: la prensa con sus sistemas de medida y control, y los transductores de deformación utilizados como referencia.
- Registrador de cinta magnética de 7 canales.
- Osciloscopio digital.
- Acondicionador para bandas extensométricas con excitación en continua desarrollado por el Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas del CEDEX.

3.2. DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

Con las probetas obtenidas, se procedió a realizar una serie de ensayos que pueden agruparse en los siguientes tipos:

Control de desplazamiento. Desplazamientos de los extremos de la probeta de hasta 100 mm debidos a ciclos de tracción.

Control de carga aplicada a la probeta, con posibilidades de tracción o compresión.

En los casos que se analizan en este artículo, las señales de control fueron sinusoidales. Se realizaron ensayos a diferentes frecuencias (en el rango de 10 a 30 Hz), manteniendo constante la amplitud de la magnitud controlada.

En las figuras 4 a 8 se muestran los comportamientos típicos obtenidos con el sensor de Kapton en comparación con la media de los dos sensores patrón de la máquina de ensayos dinámicos.

Como se observa claramente, el acuerdo entre las

medidas del sensor de Kapton y los de referencia es excelente en todos los casos en los que el esfuerzo aplicado a la probeta es de tracción (casos de elongación controlada y carga de tracción). En cambio, en el caso de carga de compresión, el sensor de Kapton manifiesta su incapacidad para seguir las deformaciones del medio que le rodea, siendo la diferencia con respecto al patrón aproximadamente del 50 %.

De los resultados obtenidos en la Pista de Ensayos, al comparar los extensómetros en H y los de Kapton, se deduce que las diferencias, en el ciclo de tracción, a temperaturas inferiores a los 20 °C, son del orden del error típico de medidas con bandas extensométricas ($\pm 10 \mu\text{def.}$) y por tanto despreciables. Sin embargo, a temperaturas mayores ya no son despreciables. Teniendo en cuenta la plasticidad de la mezcla bituminosa y que el soporte de fibra de vidrio de los extensómetros en H de Kiowa tiene un módulo elástico de 2800 MPa, cabe preguntarse si su anclaje pierde firmeza a medida que aumentan el número de ciclos de carga y la temperatura. Algo parecido cabe decir de los extensómetros en H de Dynatest. Se observa asimismo que, en el caso de las deformaciones debidas a compresión, en la Pista de Ensayos, ocurre algo parecido a lo que sucede en los ensayos con prensa dinámica. Véase figura 9.

4. CONCLUSIONES

De los resultados de los ensayos efectuados en prensa dinámica, se pone de manifiesto que este extensómetro

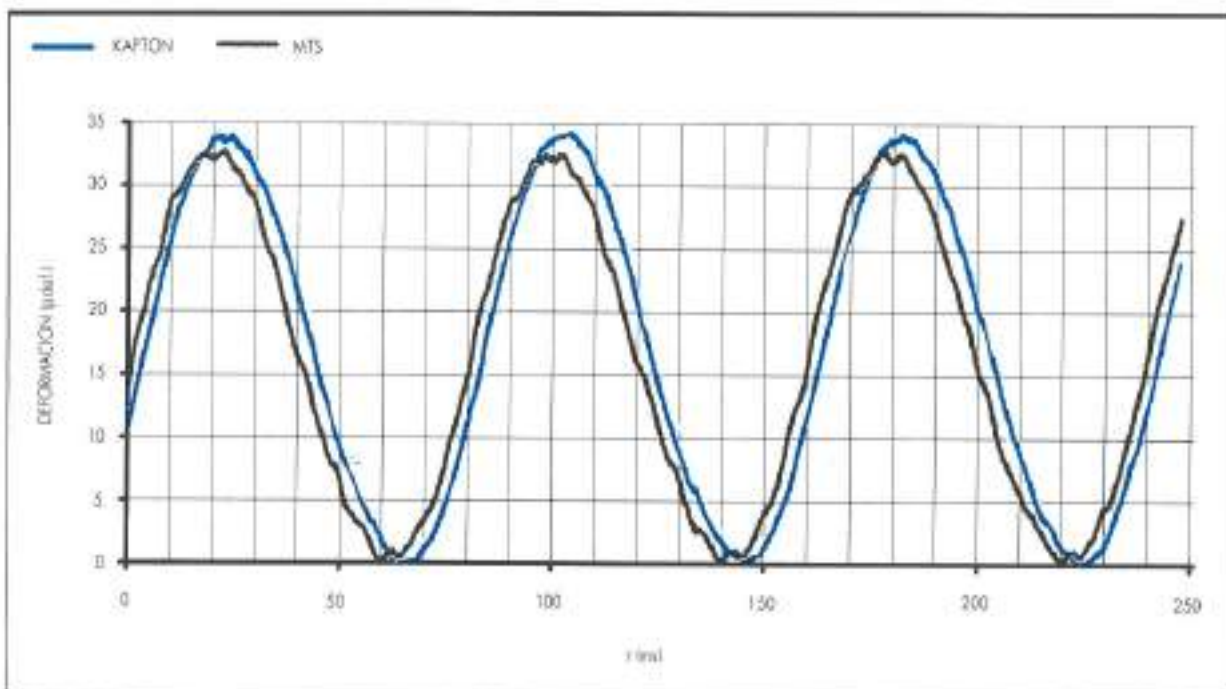


FIGURA 4. Deformación en el ensayo de elongación controlada (100 μm , 12,5 Hz).

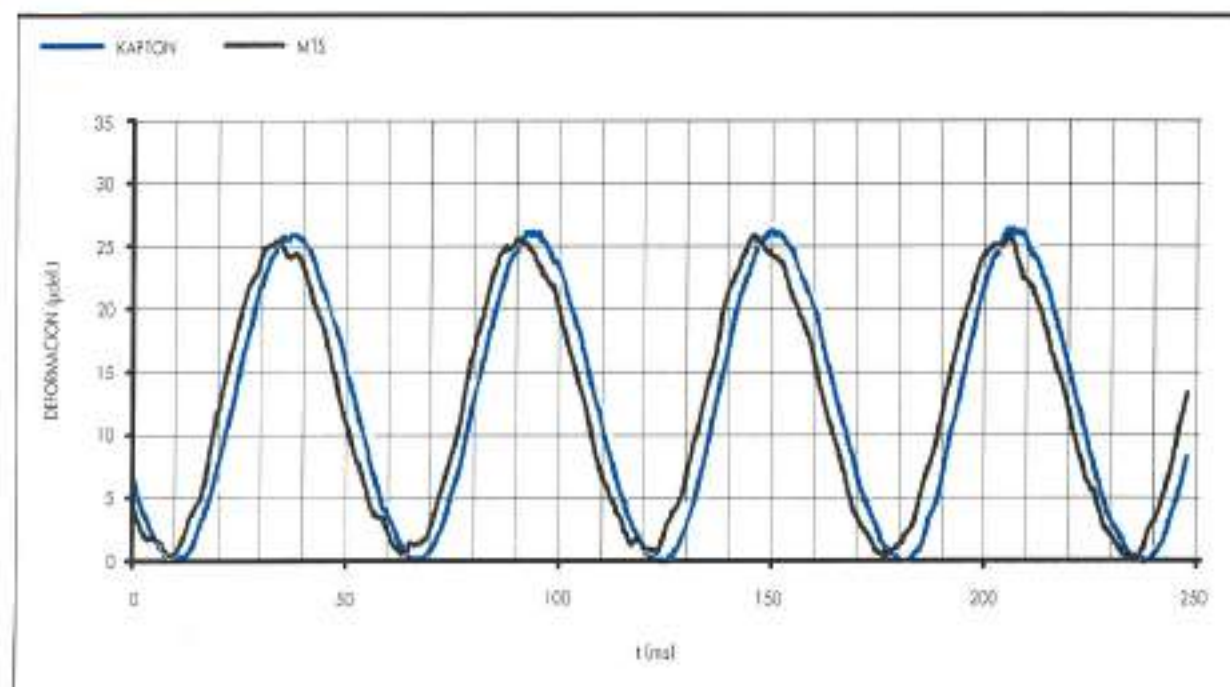


FIGURA 5. Deformación en el ensayo de elongación controlada (100 μm , 17,5 Hz).

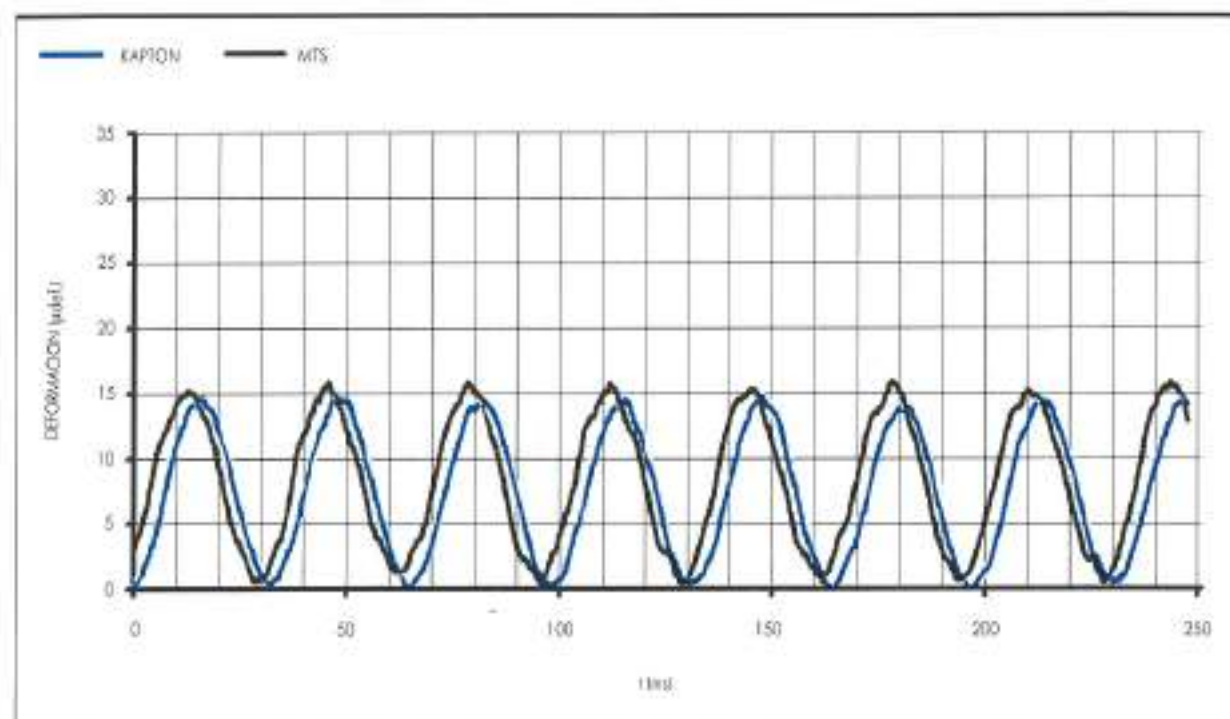


FIGURA 6. Deformación en el ensayo de elongación controlada (1100 μm , 30 Hz).

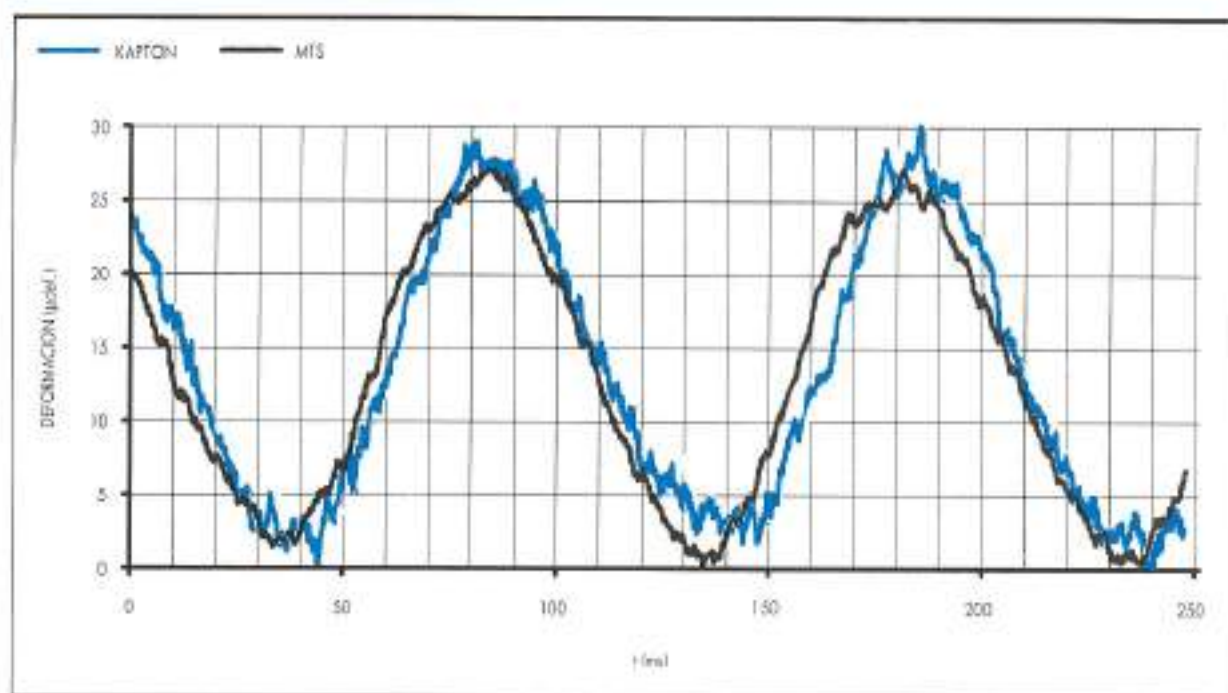


FIGURA 7. Deformación en el ensayo de carga de tracción controlada (1.372 kN = 140 kp).

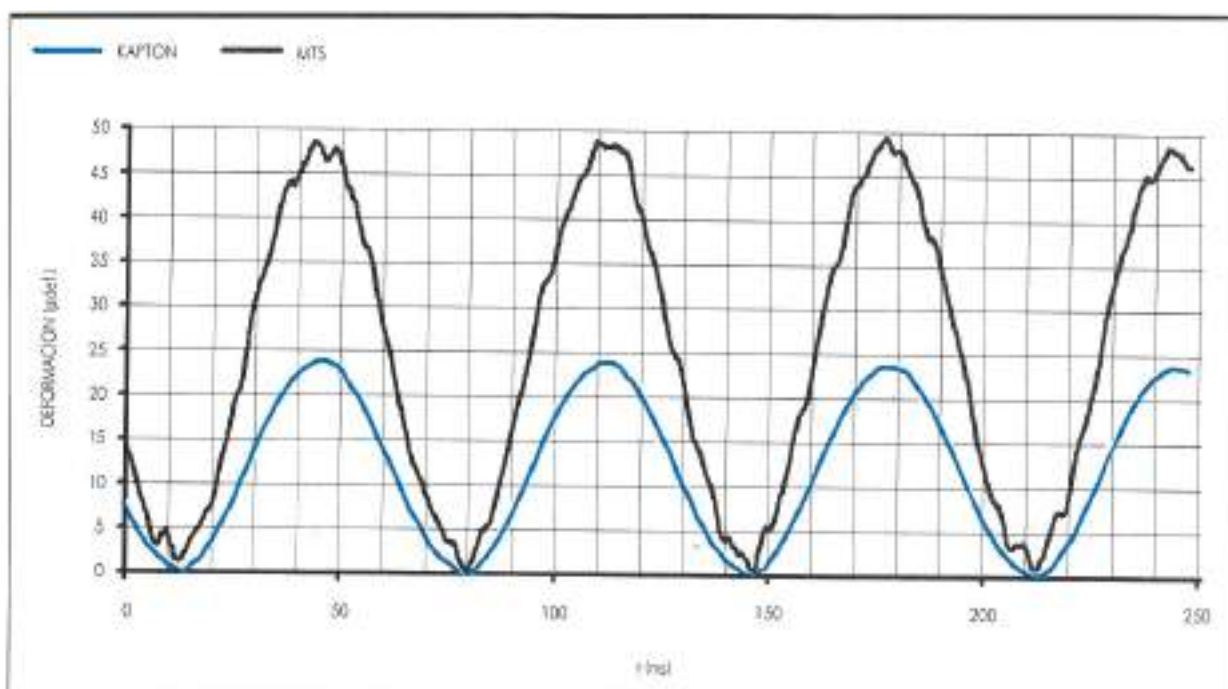


FIGURA 8. Deformación en el ensayo de carga de compresión controlada (2.587 kN = 264 kp).

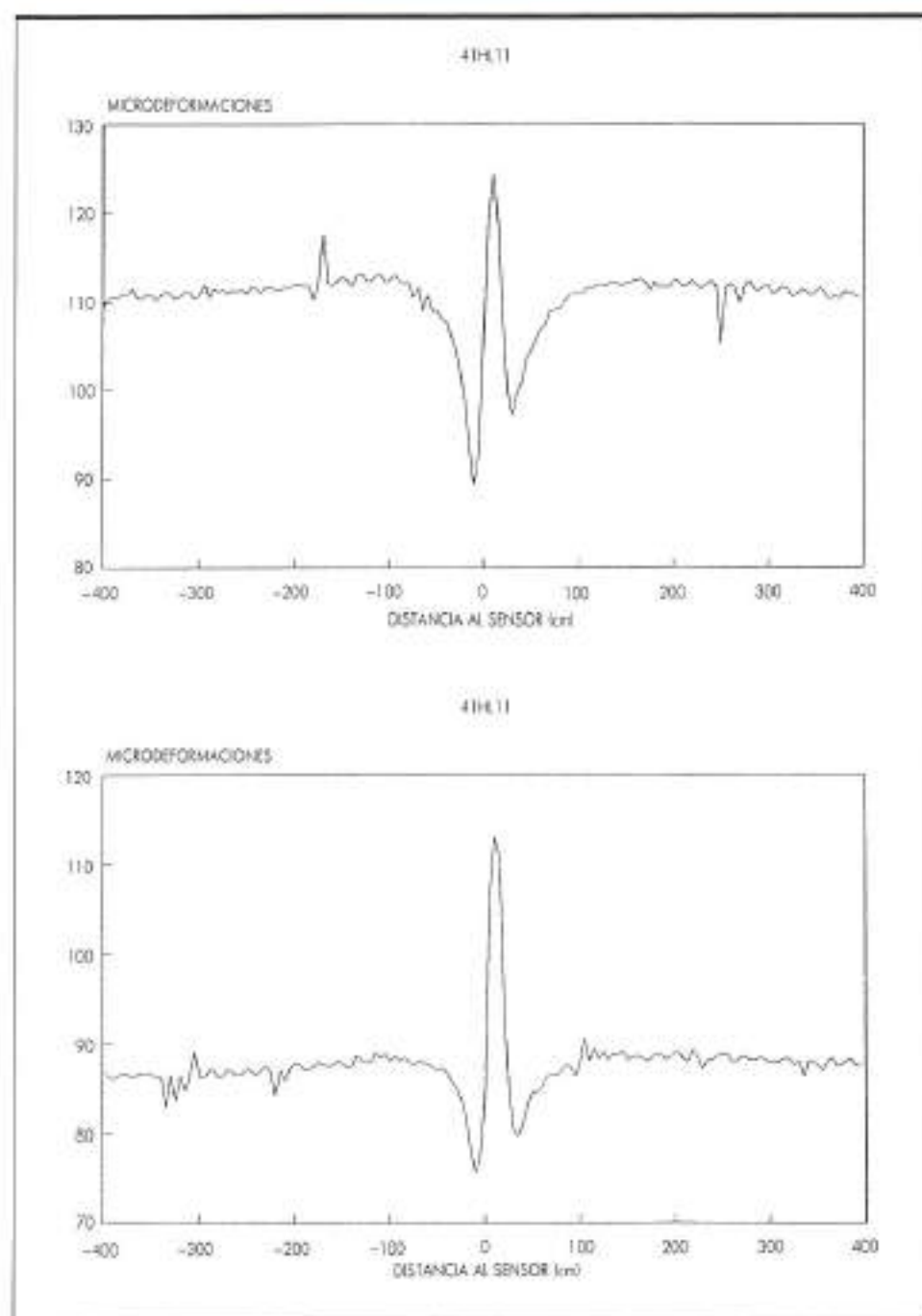


FIGURA 9. Señal de respuesta de los extensómetros en H y de Kapon al paso del vehículo en la Pista de Ensayo.

es adecuado para la medida de deformaciones de tracción en el interior de mezclas bituminosas compactadas.

Las diferencias de medida, con respecto a los extensómetros de la propia máquina, fueron inferiores al 3 % en ciclos de deformación con picos tan bajos como de 25 ó 30 μdef .

La frecuencia de aplicación de la carga, hasta los 30 Hz, no influye apenas. Su efecto es prácticamente nulo en cuanto al valor del pico. No está claro su efecto en cuanto al tiempo de respuesta del extensómetro, mediatizado por las respuestas del propio material; sin embargo, la diferencia con respecto a los extensómetros de

la máquina no supera los 3.5 ms. Los extensómetros de la máquina fueron calibrados previamente con un patrón.

No cabe decir lo mismo para las deformaciones de compresión, resultado previsible dada la amortiguación, en la transmisión de esa deformación, que produce la goma de sílica y la posible corrugación del soporte de Kapton. En este caso las diferencias pueden ser superiores al 45 %; por ello no debe emplearse para medir deformaciones de compresión.

REFERENCIAS

1. MEASUREMENTS GROUP (VISHAY), Instruction Bulletin B-129-7 «Surface Preparation for Strain Gauge Bonding» y B-127-11 «Strain Gage Installations with M-Bond 200 Adhesive».
2. MEASUREMENTS GROUP (VISHAY), Tech Tips TT-607 «Strain Gauge Installation and Protection in Field Environment» y TT-609 «Strain Gage Soldering Techniques».
3. MUÑOZ, J., y SEPULVEDA, J. «Indicaciones para la realización de sensores de deformación basados en film de Kapton y banda extensométrica». Informe interno para la Pista de Ensayos del Goloso (CEDEX). Marzo 1992.
4. DU PONT ELECTRONICS «Kapton, Summary of Properties». Abril 1989.
5. OCDE, Strain Measurements in Bituminous Layers, París, 1985.
6. ASCH, G. «Les capteurs en instrumentation industrielle», París, Dunod, 1989.

CALIDAD

Nuestro Mejor Servicio



Conservación del Acueducto de Segovia

GEOCISA

GEOTECNIA Y CIMENTOS, S.A.

OBRAS Y ESTUDIOS

- Estudios y Reconocimientos Geotécnicos
- Cimentaciones Profundas
- Tratamiento del Terreno
- Estructuras de Contención
- Asesoramiento Técnico

LABORATORIO DE ENSAYOS

- Medio Ambiente
- Construcción
- Industrial
- Estructuras
- Asistencias Técnicas
- Control de Calidad

Grupo



Dragados

Llevamos sus obras por buen cauce.

25
ANIVERSARIO
1967-1992

Llevamos a cabo obras complejas y a menudo de grandes dimensiones. Lo cual nos obliga a tener en cuenta muchos factores. Ahí es donde se demuestra nuestra experiencia y el hecho de contar con los medios tecnológicos y humanos más capacitados. Es así como todas nuestras realizaciones han seguido siempre un buen cauce. Especialmente, después de terminadas.

Canalizaciones de Agua Potable.

Saneamientos.

Estaciones Depuradoras.

Depósitos.

Emisarios Submarinos.

Remodelación de Espacios Urbanos.

Canalizaciones de Gas.

Cruces Especiales.

Contratas y Servicios.

Jardinería.

Edificios Automatizados.



ACSA
AJUNTAMENT DE CANALIZACIONS, S.A.

CENTRAL

BARCELONA 08026 Mts. Casanoves, 14.
Tel. (93) 236 87 00 - Fax. (93) 347 10 85

DELEGACIONES

MADRID 28025 Pinos Alta, 101 - Tel. (91) 323 50 68

CORDOBA 14004 Av. del Aeropuerto, 14
Tel. (957) 23 97 26

GRANADA 18004 Cno. de Purchi, 14
Tel. (958) 25 75 62

PALMA DE MAYORCA 07004 Guillem Galines, 2
Tel. (971) 29 25 24

VALENCIA 46018 Brasil, 19 - Tel. (96) 370 52 16

MARCA

COUTEX
AJUNTAMENT DE CANALIZACIONS, S.A.

LICENCIAS

PHOENIX
REHABILITACIÓ DE TUBERIES

ARMORFLEX
PROTECCIÓ DE TALUDS

