

Plan de instrumentación del 3^{er} ensayo en la pista de ensayos a escala real del Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX

JAVIER ALEIXANDRE CAMPOS (*); JOSÉ BUENO PÉREZ (*) ; BERNARDO MINGO VILLALOBOS(**)
JAVIER PÉREZ AYUSO (**); JAIME TAMARIT RODRÍGUEZ (*)

RESUMEN Este artículo describe la última instalación de sensores en el tercer ensayo de la Pista de ensayos, situada en el Goloso. Explica los parámetros que se miden y los sensores para medirlos. Algunos sensores han sido fabricados exproceso para esta aplicación y otros han tenido que ser modificados para que sean capaces de medir. También ha sido necesario desarrollar nuevas técnicas de instalación para el buen funcionamiento.

MONITORING PLAN OF 3TH TEST IN THE TEST TRACK AT REAL SCALE OF CENTRE OF ROADS' STUDIES OF CEDEX.

ABSTRACT *This paper describes the installation of Test track at real scale whose located in Goloso (Madrid). It is explain whom parameters are interesting to measure and the sensors to measure them. These sensors have been manufactured for this only application and others have been modified to be able measure. It has been necessary evolve news techniques to install the sensors for a good operation.*

Palabras clave: Instrumentación; Sensores de carreteras; Pista ensayos a escala real; Parámetros de medida.

1. TERCER ENSAYO. PARÁMETROS A MEDIR. PLAN DE INSTRUMENTACIÓN

El tercer Ensayo de la Pista a Escala Real del Centro de Estudios de Carreteras, tiene como objetivo el ensayo de nuevas soluciones para la construcción de explanadas.

En las seis secciones a ensayar se parte de un suelo tipo tolerable como simulación de desmonte o terraplen, la diferencia entre ellas se realiza en las diferentes capas y materiales que constituyen la coronación de la explanada. El firme para todos los casos lo constituye 15 cm de pavimento bituminoso.

En carretera, cuando un neumático se desplaza sobre la superficie, en un punto cualquiera de la sección estructural situado por delante de la carga, aparecen unas tensiones y deformaciones cuya magnitud depende del tipo, magnitud y dirección de la carga, constitución del firme, tipo de explanada, temperatura, profundidad del elemento considerado, etc. Salvo en los casos de los firmes mal proyectados o contruidos, las tensiones a que se ven sometidos los distintos elementos del firme son inferiores a las de rotura. El fallo se produce por la repetición de las sollicitaciones, que producen un fenómeno de fatiga.

La instrumentación de los firmes nos permite por tanto la medición de las tensiones y deformaciones que aparecen en distintos puntos del firme bajo el paso de una carga, y especialmente en aquellos que se consideran críticos.

Para cada capa de material, el punto crítico y variable tensodeformacional es distinta, por lo tanto hay que diferenciar cada tipo de sensor y su punto de colocación.

Las mezclas bituminosas apoyadas sobre materiales granulares fallan por la acumulación de deformaciones horizontales de tracción en el fondo de la capa bituminosa. En consecuencia la instrumentación de las capas de mezcla ha tenido como objetivo fundamental la medida de las deformaciones unitarias horizontales en la dirección de la marcha y en su perpendicular en el fondo de la capa.

Las capas granulares y suelos trabajan principalmente repartiendo la tensión vertical que recibe al paso de la carga por contacto entre sus partículas. El fallo se produce por desmoronamiento parcial y reacondicionamiento de su estructura mineral. Por tanto la instrumentación de los suelos se dirigió a las medidas de las deformaciones verticales en el plano superior de este tipo de capas. Así mismo y para poder realizar diferentes trabajos de tarado de modelos matemáticos, análisis de módulos de elasticidad, etc. se han instalado sensores específicos para medir las presiones verticales que se producen en dicho nivel.

Además de los sensores que nos proporcionan datos sobre la fatiga de cada capa de material, se instalan otros tipos de sensores que nos proporcionan datos para analizar la evolución de cada tipo de firme. Para realizar estas medidas se colocan sensores de desplazamiento vertical en la superficie y anclados en el fondo de la cubeta de hormigón.

Por último se instalan una serie de sensores que nos permiten obtener datos sobre las siguientes variables: temperatura, nivel freático y humedad, que son indispensables para el análisis de los datos obtenidos por el resto de los sensores.

(*) Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas. CETA.

(**) Centro de Estudios de Carreteras. CEC.

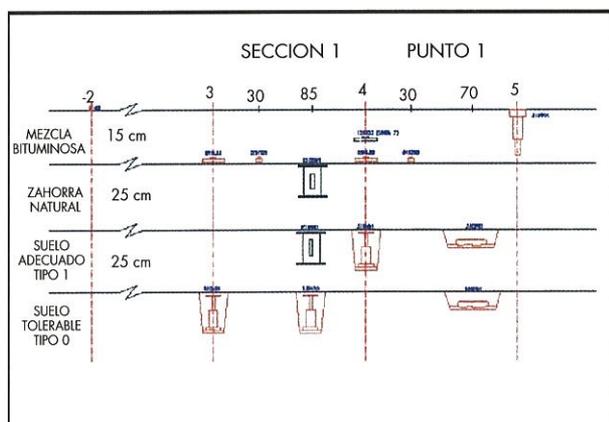


FIGURA 1.

Una vez determinados las variables que se quieren medir y las capas a instrumentar, el siguiente paso es la forma de ubicarlos dentro de cada sección de firme.

Después del análisis de las ventajas y desventajas de las diferentes posibilidades de distribución, se optó por la instrumentación de dos zonas de dos metros de longitud en cada sección, en vez de la distribución de los sensores a lo largo de la sección. De igual forma se dispuso de un único perfil longitudinal de instrumentación coincidiendo con la vertical de la rodada central de los vehículos. En la figura 1 se muestra un ejemplo de un perfil longitudinal correspondiente a un punto instrumentado.

2. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE MEDIDAS

El sistema de adquisición de datos de los sensores, totalmente automatizado, ha sido diseñado y desarrollado por el Departamento de Físicas del CEDEX, permite la medida en tiempo real y el almacenamiento en base de datos de un máximo de 256 sensores en cada ensayo de medida.

Dentro del sistema de adquisición de datos se han diferenciado tres tareas esenciales de medida. Un primer tipo es el llamado Ensayo Estático, nos informa del valor en reposo de los sensores y de su ruido para su análisis posterior. En este proceso se realizan 400 medidas seguidas de cada sensor y se almacena su media y su error asociado.

Un segundo sistema de medida es el Ensayo de Precisión, nos informa de la respuesta dinámica de un sensor determinado con posibilidad de elegir el barrido, obteniéndose así ensayos cortos y rápidos o largos y lentos. En este tipo de ensayo de alta resolución se realizan 32.000 medidas de un sensor determinado, las medidas se toman a intervalos iguales de tiempo, pudiendo elegir entre 5 velocidades de muestreo diferentes entre 10.000 y 625 muestras por segundo y el arranque del proceso se hace sincronizado con el paso del vehículo por el detector de posición elegido.

Por último, el tercer método de ensayo es el Ensayo Dinámico, en este tipo de ensayo previamente hay que definir los sensores que se quieren medir hasta un máximo de 256 por ensayo. Una vez definidos los sensores a medir, se programa la posición transversal en la que debe colocarse el vehículo para la realización del ensayo y la fecha y hora de comienzo o el número de pasadas de los vehículos, como suceso desencadenante de la medida. A la hora fijada, o cuando los vehículos alcanzan el número de ciclos programado, el ordenador de control de ensayos se pone en contacto con el ordenador de gobierno de los vehículos, y si todo es correcto, (no hay ninguna

anomalía que impida la medida), el vehículo se colocará en la posición de ensayo programada; una vez situado los vehículos darán una vuelta en la cual se mide la velocidad de circulación y se calcula la velocidad de muestreo para almacenar las lecturas de 5 metros antes de que pase el vehículo por la vertical de cada sensor y 5 metros después, con una distancia de 5 centímetros entre cada una de las lecturas. Una vez almacenados todos los datos se da por finalizado el ensayo y se devuelve el control al ordenador de gobierno de los vehículos. Este ensayo se puede programar de forma cíclica cada un número de ciclos o tiempo determinado.

3. ANÁLISIS DE LAS MEDIDAS Y ALMACENAMIENTO EN BASE DE DATOS

Una vez realizadas las medidas por el sistema de adquisición de datos, los ficheros son transmitidos a un ordenador para su posterior análisis de las curvas. A las curvas se les realiza un primer filtrado de la señal para la eliminación de ruido. Un segundo paso consiste en la clasificación de curva según su tipología y el cálculo de los parámetros característicos de cada tipo, los parámetros que se calculan corresponden con las variables tensodeformacionales que se quieren medir (máxima deformación horizontal de tracción, máxima tensión vertical, etc.). Y por último se procede al almacenamiento en Base de Datos, por un lado de las curvas y por otro de los parámetros característicos.

Cada curva es almacenada junto con otros datos indispensables para su análisis posterior, estos datos son: nombre del sensor, número de pasadas de los vehículos, temperatura del firme, temperatura ambiente, velocidad y posición transversal del vehículo, día y hora de la medida.

Para el análisis de las curvas y de los parámetros característicos de estas, se dispone de una aplicación informática para facilitar el estudio. Como ejemplo sirvan los datos del segundo ensayo de la Pista de Firmes a Escala Real, en la cual se almacenaron y analizaron un total de 120.000 curvas de los distintos sensores instalados durante el mismo.

Tanto las aplicaciones de filtrado, carga en base de datos y análisis de curvas y parámetros han sido diseñadas y realizadas por el Centro de Estudios de Carreteras (CEDEX).

4. SENSORES

A continuación se explican los distintos tipos de sensores utilizados en la Pista.

4.1. DEFORMACIONES HORIZONTALES

Este sensor ha sido desarrollado en el laboratorio de instrumentación del CEC. El principio de medida se basa en el aumento o disminución de la resistencia eléctrica del conductor en función de la variación de sus características geométricas (longitud, sección,...etc). Teniendo en cuenta que a todo aumento de longitud le corresponde una disminución de la sección, y que la variación de la resistividad es proporcional a la variación relativa de volumen, se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \frac{\Delta L}{L} \quad [1]$$

siendo:

ΔL = Incremento de longitud.

R = Resistencia eléctrica.

L = Longitud del conductor.

K = Factor de galga.

Esta ecuación relaciona la variación de longitud del conductor con la variación de su resistencia. Por lo tanto, midiendo esta última puede obtenerse la deformación sufrida por la banda.

En la utilización de las bandas extensométricas deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- La deformación anterior puede ser debida a esfuerzos o variaciones térmicas. Estas últimas producen una deformación propia de los materiales constitutivos de la banda extensométrica, por lo que es necesario realizar una corrección por temperatura cuando, durante la medida de la deformación, se produce una variación térmica. La corrección afecta al factor de galga y viene dada por el fabricante para un determinado rango de variación de temperatura. Para establecer las correcciones por temperatura, es necesario situar sensores de temperatura en los mismos niveles en que están las bandas.
- La deriva respecto del cero inicial de la banda, principalmente debida al comportamiento y envejecimiento de los materiales sobre los que va instalado el conductor (adhesivo, resina, etc), imposibilita la utilización de las bandas para la medida de deformaciones a largo plazo, por falta de estabilidad en la medida. Como consecuencia de lo anterior, las bandas se emplean para medidas de tipo dinámico (deformaciones elásticas y viscoelásticas de recuperación rápida), puesto que en el corto espacio de tiempo en que se realizan no influyen los fenómenos anteriores.
- En los casos de mezclas bituminosas en caliente es importante la elección de las bandas, ya que tienen que ser especiales para resistir las altas temperaturas (alrededor de 160°C) a las que se extienden dichas mezclas. El mismo comentario puede aplicarse a los productos de pegado y de protección de las bandas.

A diferencia de otras estructuras en las que se coloca pegada en su superficie (vigas metálicas o de hormigón), en el caso de los firmes la banda extensométrica va colocada en el interior del material (en este caso mezcla bituminosa). Normalmente la banda no se introduce directamente en el material a medir sino que suele ir montada sobre algún tipo de soporte que asegure su fijación y orientación en el firme.

Para este tipo de transductor se proyectaron bandas extensométricas pegadas sobre un soporte de lámina de kapton 300 HN de 125x45 mm. Esta lámina se dotará de elementos mecánicos de sujeción a la mezcla bituminosa consistentes en arena sílicea, con tamaños comprendidos entre 0,64 y 0,32 mm, adherida por ambas caras de los extremos mediante araldite y con un ancho de 15 mm.

Sobre la lámina de kapton se montan dos bandas, a la distancia suficiente para que no se produzcan interferencias. El montaje de las bandas es de tres hilos y se completa este transductor con el puente de resistencias de equilibrio.

Las bandas son de rejilla simple, están encapsuladas, compensadas en temperatura y tienen las siguientes características:

- Rango de deformación: $\pm 5\%$
- No-linealidad: 0,1% del fondo de escala
- Longitud activa: 25 mm
- Resistencia: $120 \pm 0,5 \Omega$
- Factor de galga: 2,0
- Resistencia a fatiga: 10^6 ciclos de $\pm 1200 \mu\text{def}$
- Temperatura de trabajo: -20° a 175°C

Dada la importancia para el objetivo de este ensayo, y el alto porcentaje de rotura de este tipo de transductor que generalmente se produce durante la construcción de los firmes, se han realizado numerosos ensayos en laboratorio para la obtención de un procedimiento de construcción de estos transductores, dotándolos de los materiales y componentes necesarios para conseguir una mayor resistencia a las acciones de la compactación y a la humedad. A continuación se realiza un resumen del procedimiento de montaje de bandas tal y como se ha realizado en el Laboratorio de Instrumentación del CEC.

Como superficie de pegado de las bandas se utiliza un kapton del tipo 300HN y se cortarán láminas de tamaño 125x45 mm. Se le somete a una primera limpieza con alcohol isopropílico y luego se lija con lija fina para darle mayor adherencia. A continuación se aplica a las bandas y al kapton un pegamento de tipo resina bicomponente, se deja evaporar durante unos minutos y se sitúan las bandas en el kapton y a continuación se pegan con un tratamiento térmico. Este se hará en dos etapas: una partiendo de temperatura ambiente y con un gradiente térmico de $5^\circ\text{C}/\text{min}$ hasta 160°C manteniéndolo a esa temperatura durante 2 horas. Pasadas las dos horas se debe dejar enfriar el horno hasta 50°C , se saca la pieza y se procede a liberarla del montaje de presión. A continuación se realiza un postcurado a 200°C durante dos horas en el horno sin el montaje de presión. Se deben tomar las mismas precauciones que en el punto anterior en cuanto a velocidad de aumento de temperatura. Finalmente, y una vez transcurridas las dos horas se deja enfriar el horno hasta 50°C y se saca la pieza. Se realiza una inspección visual y se suelda un cable de teflón, que tiene una temperatura de funcionamiento de (-269°C a 260°C). Una vez soldado se limpian los terminales de soldadura de la banda con un disolvente de resina. Esta temperatura de curado es debida a que la mezcla bituminosa se encuentra a 160°C cuando se colocan en ella estos sensores.

El funcionamiento de la banda suele fallar con la humedad, con lo que se deben dar varios grados de protección antihumedad, para poder asegurar un buen comportamiento durante el mayor tiempo posible del ensayo. Por lo que se aplicará una capa de protección a las bandas y las soldaduras, el tiempo de secado es de 2 horas a 24°C . Después se cubrirá toda la superficie de las bandas y la soldadura con una silicona del tipo RTV de 2 mm de espesor, incluida la camisa del cable. Se debe esperar a que se endurezca un poco. El tiempo de secado es de 24 horas a 24°C .

Por último se aplicará un cordón de otra protección antihumedad entre el kapton y la frontera de la silicona RTV. El tiempo de secado es 1 hora a 24°C .

Para que el sensor quede bien sujeto a la mezcla en la instalación, se pega arena fina en ambos extremos del transductor.

Al final de todas las operaciones descritas antes, debe de quedar un montaje como el de la foto 1.



FOTO 1. Banda sobre kapton

En la instalación del sensor se pondrá por encima y por debajo una pequeña cama de finos con betún, que evitará el punzonamiento de la banda por algún árido más grande de la capa de mezcla bituminosa.

Y obteniendo una curva de señal como la siguiente:

Dependiendo de la orientación del sensor en la colocación de obtienen deformaciones longitudinales, en la dirección de movimiento de los vehículos, o transversales en dirección perpendicular.

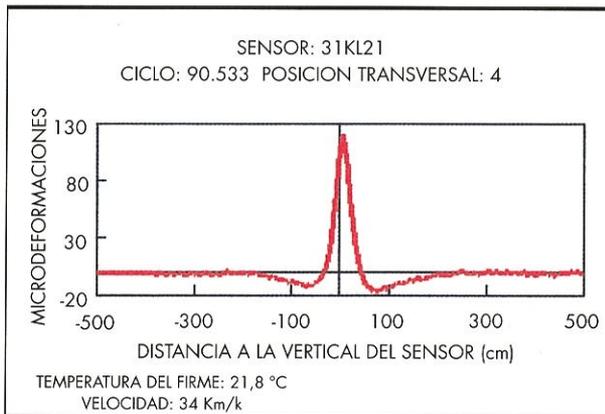


FIGURA 2.

En la figura 2, se muestra un ejemplo de curva de deformación longitudinal, donde se puede apreciar que existe una pequeña compresión al comienzo seguido de una tracción de orden superior y para acabar con otra compresión. Que es la respuesta típica de este tipo de sensor.

En la figura 3, se presenta la curva obtenida mediante una banda colocada transversalmente a la dirección de la marcha de los vehículos, en donde se alcanza una deformación de tracción de 180 microdeformaciones.

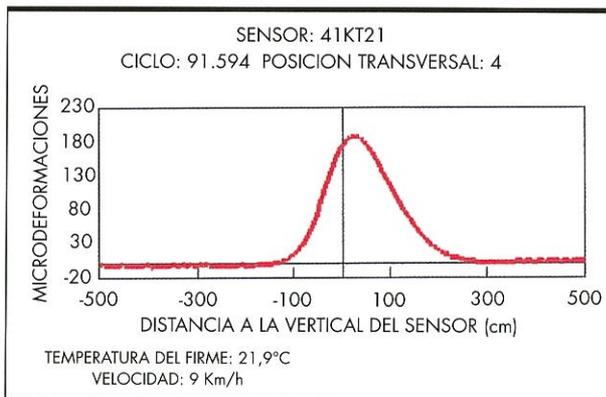


FIGURA 3.

4.2. DEFORMACIONES VERTICALES EN CAPAS GRANULARES Y EXPLANADA

Para la medida de este parámetro se han utilizado dos tipos de transductores diferentes: uno basado en un sensor tipo LVDT y otro en bandas extensométricas.

El LVDT está formado básicamente por un transformador, compuesto por un primario y dos secundarios, y un núcleo metálico que se desplaza entre el primario y el secunda-

rio. El transductor genera una señal eléctrica que es proporcional al desplazamiento del núcleo en su interior. Cuando circula una corriente por el primario, se induce una tensión en el secundario que es función de la posición relativa del núcleo móvil.

Por su construcción, los sensores basados en LVDT presentan una serie de ventajas respecto de otros sensores de medida de desplazamiento como son:

- No existencia de fricción o histéresis al no tener partes mecánicas.
- Respuesta lineal y resolución que depende exclusivamente del equipo de lectura.
- Construcción robusta que asegura el funcionamiento continuo del sensor.
- Independencia con la temperatura.

El diseño mecánico del sensor basado en LVDT puede hacerse a la medida de la aplicación. En el caso que nos ocupa, el dispositivo de medida consiste en dos discos metálicos cuyo movimiento relativo se mide mediante un LVDT interpuesto entre ambos. Cada una de las dos partes móviles del LVDT está ligada físicamente a uno de los dos discos. La compresión anormal del material situado entre ambos discos se evita disponiendo uno de dichos discos con sección abierta, en forma de volante (Foto 2).

El LVDT elegido es del tipo alterna-alterna, o(vo), y tiene las características siguientes:

- Rango de medida: ± 12.5 mm
- Error de exactitud: $\pm 0,005$ mm
- No-linealidad: $\pm 0,25\%$ del fondo de escala
- Tiempo de respuesta: 0,01 s para el 90% del valor de la señal de salida.
- Temperatura de trabajo: de -20° a 125°C
- IP68

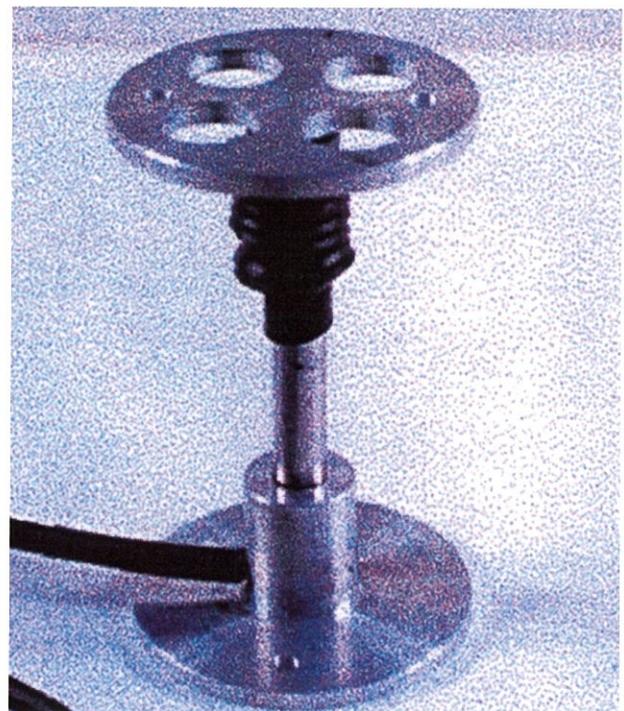


FOTO 2.

Para la instalación de los sensores basados en LVDT, se ha desarrollado una nueva forma de colocación que consiste en poner dos varillas roscadas en toda la longitud del sensor, inmovilizándolo a la altura deseada, después el sensor se instala normalmente en el agujero preparado anteriormente y se tapa completamente con un suelo compactado. Una vez que se comprueba que el sensor está a la altura deseada, se quitan las varillas, y se puede comprobar que el sensor sigue a la misma altura de la instalación. Antes, al no haber varillas al compactar el terreno, en la instalación el sensor iba bajando, con lo que se perdía rango de medida.

En la figura 4 se presenta un ejemplo de un sensor basado en LVDT, colocado en la coronación de la explanada, a 15 cm de la superficie del firme, la deformación es de tracción alcanzando un máximo de 818 microdeformaciones.

El transductor basado en bandas se ha desarrollado por completo en el Laboratorio de Instrumentación del Centro de Estudios de Carreteras, y es por tanto una innovación en la medición de las deformaciones verticales. Consiste en un fleje al que se han pegado dos bandas a lo largo, este fleje esta sujeto en ambos extremos a un disco metálico y su funcionamiento es similar al del LVDT, sólo que ahora se mide la deformación producida en el fleje, que esta debidamente calibrada con el valor del desplazamiento entre discos.

Los problemas que presentan los sensores de deformación vertical son principalmente dos:

El primer problema es la colocación; el proceso de colocación se realiza después de la compactación de la capa, por lo que es necesario realizar una poscompactación manual. Todo este proceso es muy delicado, y no se tiene la certeza de que funcione una vez instalado.

El otro problema es que el medio que rodea al transductor durante todo el ensayo altera el funcionamiento del sensor, ya sea por la humedad o por los finos que obstruyen todos los mecanismos, y llegan en algunos casos a inmovilizarlos.

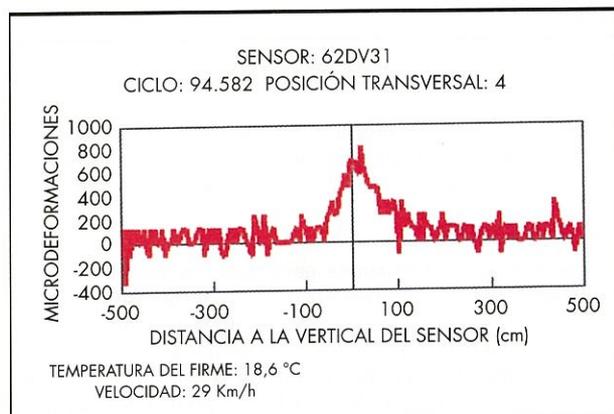


FIGURA 4.

El nuevo transductor diseñado por el Laboratorio de Instrumentación se ha pensado para solucionar estos dos problemas (foto 3). Los acoples mecánicos se han pensado tanto para que funcionen como tal, como para que su colocación solucione el problema de la instalación, apoyando toda su superficie sobre el material ya compactado, evitando que parte de esta tenga que ser compactado posteriormente.

El problema de la humedad y de la filtración de finos se soluciona rodeando a todo el sensor por elastómero de sili-

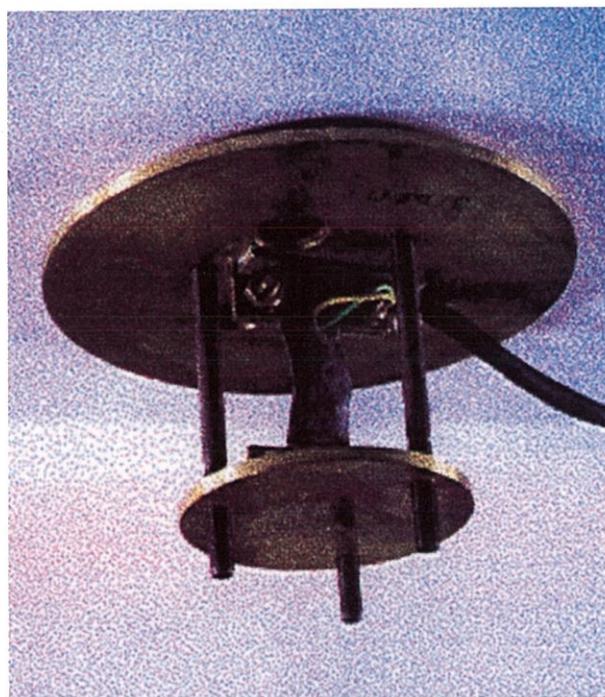


FOTO 3.

cona, siendo el molde de esta silicona el propio cajeadado del terreno realizado para su instalación.

En la figura 5 se muestra la señal obtenida de un sensor de diseño CEC, instalado en la explanada a 35 cm de la superficie del firme, la deformación es de tracción alcanzando las 1.025 microdeformaciones.

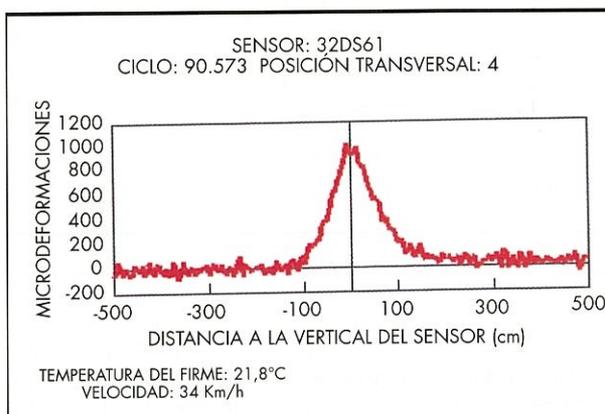


FIGURA 5.

4.3. PRESIONES EN CAPAS GRANULARES Y EXPLANADA

La medida de presiones en el terreno se realiza con células de presión. Este transductor consiste en un diafragma elástico que se deforma bajo la presión. Para eliminar los errores en la medida derivados de la excentricidad de la carga sobre la célula, o de cargas puntuales ejercidas por los áridos, se interpone un líquido viscoso entre la superficie de actuación de la presión y el diafragma, cuya misión es repartir uniformemente las tensiones en la superficie del diafragma.

El principio de funcionamiento de estos sensores consiste en la medida de la deformación del diafragma (proporcional a la presión ejercida por el suelo sobre él) mediante bandas extensométricas.

La relación entre la presión del terreno y la señal eléctrica de salida depende del tipo de terreno donde están colocadas las células. Para que tengan una respuesta similar, independientemente del suelo donde van a estar ubicadas, es necesario que las relaciones entre la rigidez del suelo y la del diafragma por un lado, y la del espesor y el diámetro de la célula, por otro, sean lo más pequeñas posibles. En cualquier caso para obtener una mayor precisión se hace necesaria la calibración de las células en laboratorio bajo condiciones que reproduzcan lo más fielmente posible las condiciones de campo.

Los transductores proyectados para la medida de tensiones totales en los suelos de la explanada son del tipo de célula cilíndrica, y tienen las características siguientes:

- Rango de medida: $\pm 5 \text{ kg/cm}^2$
- Error de exactitud: $\pm 0,025 \text{ kg/cm}^2$
- No-linealidad: $\pm 0,1\%$ del fondo de escala
- Tiempo de respuesta: 0,01 s para el 90% del valor de la señal de salida
- Diámetro sensitivo: 160 mm
- Temperatura de trabajo: de -30° a 80°C
- Esbeltez: $\varepsilon < 0,15$ ($\varepsilon = h/\Phi$ célula diámetro).

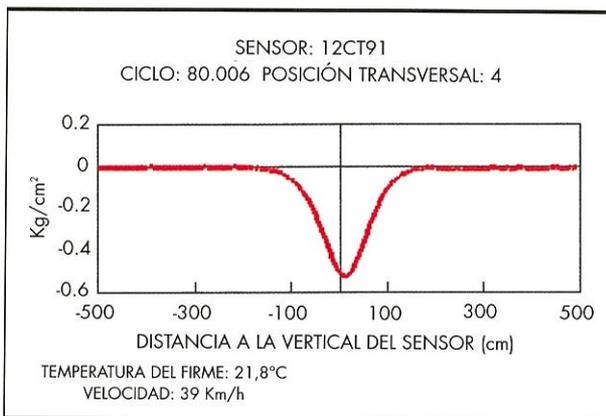


FIGURA 6.

Como ejemplo de una curva típica obtenida mediante este tipo de sensor, se presenta la figura 6, en este caso la célula de carga está situada en el suelo tolerable a unos 65 cm de profundidad de la superficie del firme, se puede apreciar en su punto central la máxima presión que soporta el terreno.

4.4. DEFLEXIONES EN SUPERFICIE

La medida del movimiento de un punto del firme requiere otro punto fijo de referencia. Este punto fijo puede ser interior al firme, en cuyo caso se utilizan transductores de desplazamiento, o exterior, utilizándose entonces un método óptico de medida. Adicionalmente cabría hablar del uso de acelerómetros, de sencilla instalación, pero que sólo permiten medidas dinámicas, especialmente cuando se trata de cargas de impacto.

El método más utilizado es el basado en transductores de desplazamiento, que es el adoptado. Como transductores se han utilizado LVDT.

El dispositivo se coloca normalmente una vez construido el firme, realizando un sondeo por el que se introduce una varilla hasta la capa del punto fijo de referencia, donde se ancla, quedando accesible desde arriba todo el dispositivo interior. El LVDT se monta unido a un disco metálico que es una placa anclada en la superficie del firme y enrasada con ella, y el otro extremo está apoyado en la varilla.

Estos sensores con acoplamientos mecánicos tienen las características siguientes:

- Rango de medida: $\pm 2.5 \text{ mm}$.
- Error de exactitud: $\pm 0,005 \text{ mm}$.
- No-linealidad: $\pm 0,25\%$ del fondo de escala.
- Tiempo de respuesta: 0,01 s para el 90% del valor de la señal de salida.
- Temperatura de trabajo: de -40° a 100°C .
- IP 68.

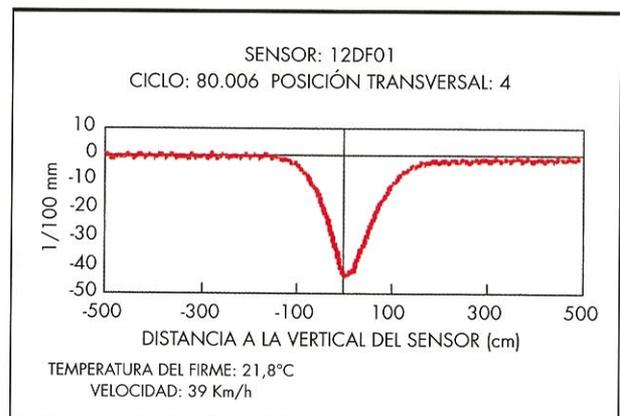


FIGURA 7.

En la figura 7, se presenta a modo de ejemplo la señal adquirida por el sistema, del sensor 12DF01 instalado en la superficie de la sección 1 en el ciclo 80.006.

4.5. TEMPERATURA

Los sensores más frecuentes para medir temperaturas son los basados en termorresistencias. Los termómetros de resistencia están formados por un elemento de detección cuya resistencia eléctrica es función de la temperatura.

Normalmente se emplea el platino en la fabricación del elemento conductor debido a su buena precisión y estabilidad.

Los transductores escogidos para la medida de temperaturas en mezcla bituminosa, como de ambiente, tienen como elemento sensor termorresistencias de platino y están protegidos mediante vaina exterior en acero inoxidable, con las características siguientes:

- Rango de medida: -20° a $+70^\circ\text{C}$
- Error de exactitud: $\pm 0,25^\circ\text{C}$
- Tiempo de respuesta: $\pm 1 \text{ s}$

Los transductores para la medida de temperatura ambiente, mediante una carcasa resistente a la corrosión están

protegidos contra insolación directa, lluvia y nieve, permitiendo la libre circulación de aire.

4.6. NIVEL FREÁTICO

Los transductores de nivel freático están basados también en dispositivos de respuesta eléctrica a extensores, con configuración en puente completo compensado y acondicionador de respuesta a fuente de intensidad, y tienen las características siguientes:

- Rango de medida: 2,5 m.
- No-linealidad: $\pm 0,05\%$ del fondo de escala.
- Error de exactitud: ± 10 mm.
- Tiempo de respuesta: 1 s.
- Temperatura de trabajo: -25° a 80°C
- IP 68

5. CONCLUSIONES

Desde el año 1988, en la Pista de Ensayos a Escala Real del Centro de Estudios de Carreteras se han realizado tres ensayos de firmes. Con estos ensayos se miden la variables

tensodeformacionales de firmes al paso de una carga, de esta forma se consiguen obtener datos para realizar modelos de comportamientos de los firmes.

Para realizar estas medidas se ha llevado a cabo una tarea de investigación y desarrollo desde el primer ensayo, buscando sensores especiales para poder medir estas magnitudes. De esta forma se han obtenido unos sensores únicos y utilizando unas técnicas de instalación innovadores, se han logrado unos resultados brillantes, útiles en las instrumentación de carreteras.

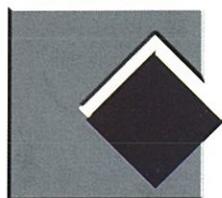
6. BIBLIOGRAFÍA

PALLAS ARENY, RAMÓN "Sensores y acondicionadores de señal". Ed Marcombo 1994.

S. FIGLIOLA, E. BEASLEY. "Theory and design for mechanical measurements". Ed Wiley and sons 1991.

CEDEX. Informe técnico de la Instrumentación de la Pista de ensayos acelerados de firmes del Centro de Estudios de Carreteras.

BOLETINES TÉCNICOS DE VISHAY (B129-7, A110-E2, B130-E1, TT607, TT609).



FERROATLANTICA, S.L.

Fábrica de Sabón • Polígono Industrial de Sabón • 15142 Arteixo.
La Coruña • Telf.: 981 60 06 75 • Fax: 981 60 13 06

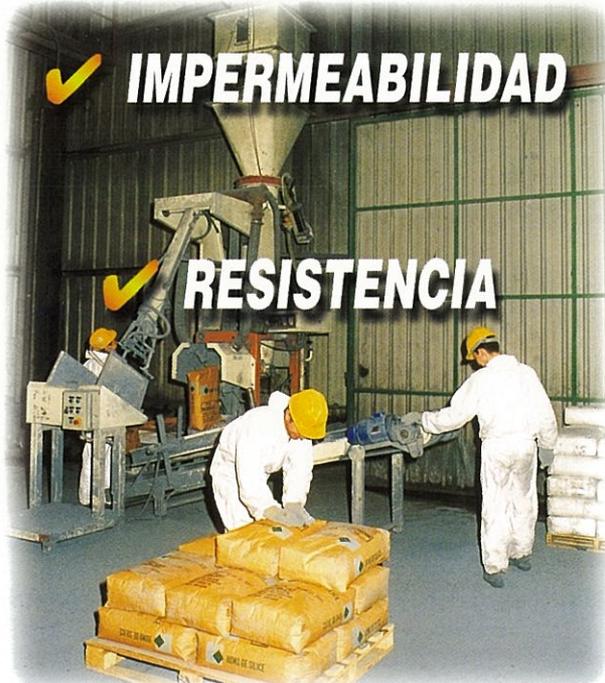
Paseo de la Castellana, 86 - 6º • 28046 Madrid
Telf.: 915 90 32 19 • Fax: 915 63 91 07



DURABILIDAD

COMPACIDAD

MICROSILICE



IMPERMEABILIDAD

RESISTENCIA

ADITIVO PARA HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES