

AUSCULTACION Y SEGUIMIENTO DEL ESTADO DE LA RED DE CARRETERAS CON APARATOS DE GRAN RENDIMIENTO

RAMON CRESPO DEL RIO (*)

RESUMEN. Los sistemas de gestión constituyen el procedimiento más operativo y eficaz de prever y planificar el mantenimiento y conservación de una red de carreteras a los niveles de calidad exigibles en una sociedad moderna. La auscultación de carreteras, entendida como medición y evaluación de las características y estado de una red es una actividad cada día más frecuente, necesaria y compleja. Su finalidad principal se encamina a su integración en la gestión de firmes. En las páginas siguientes se ofrece un repaso a nivel español del equipamiento disponible en medios de auscultación del gran rendimiento y de su utilización.

ABSTRACT. *Management systems are the most efficient and operational procedures in the production and planning of the maintenance of a road network as regard standard of quality required by a modern society. The evaluation of roads understood as measurement and analysis of the characteristic and state of a network of highways, is an activity which is becoming more common on the time and it is a necessary and complicated procedure. A main purpose is to bring about integration in the management of pavements. A review of the spanish situation concerning high capacity evaluation, equipment and its use, is set out in the following pages.*

1. INTRODUCCION

Con motivo de la IV Reunión Hispano-Mexicana de Técnicas en Vías Terrestres, celebrada en Madrid en septiembre de 1988 se presentó una ponencia sobre «Equipamiento y Práctica en España en Auscultación de Carreteras con Aparatos de Alto Rendimiento».

En las páginas siguientes se expone un resumen de dicho trabajo, a modo de inventario de equipos existentes en el país más una descripción con cierto detalle de los más utilizados o representativos.

Quede constancia de nuestro agradecimiento por la información facilitada por los propietarios o gestores de los equipos no pertenecientes a la División de Auscultación y Sistemas de Gestión del Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX.

2. TIPOS DE AUSCULTACION Y EQUIPOS

Es de interés comenzar analizando qué tipos de auscultación requieren el empleo de equipos de

gran rendimiento. Podemos dividirla en dos grandes grupos:

- AUSCULTACION SISTEMATICA O PREVENTIVA (A NIVEL DE RED).
- AUSCULTACION PUNTUAL O PATOLOGICA (A NIVEL DE PROYECTO O TRAMO).

Se entiende por auscultación sistemática aquella que se realiza de una forma organizada en el tiempo y en el espacio, con independencia del estado de la red.

Se entiende por auscultación patológica aquella que se realiza para determinar las causas y cuantificar la rehabilitación que requiere un tramo dado, normalmente no muy largo, de una carretera.

La primera es indispensable para el desarrollo de los bancos de datos de carreteras (BDC) tan en boga hoy en día para acceder y desarrollar un Sistema de Gestión de Firmes, que sin duda constituyen la forma más avanzada de un aprovechamiento integral de los datos proporcionados por la auscultación y una forma de planificar la conservación de la Red.

Se trata de una forma de auscultación que requiere una cuidadosa planificación y un elevado cumplimiento de los programas de trabajo, requi-

(*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe del Sector de Tecnología y Estudios Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX (MOPL).

riendo asimismo un potente sistema informático y una adecuada base de datos.

La auscultación patológica encamina sus objetivos a la evaluación cuantitativa y expresa de las medidas de rehabilitación necesarias para devolver un tramo de la red a su nivel de servicio habitual.

Otra división habitual de la auscultación de carreteras puede realizarse en función de la finalidad de la misma, así tenemos:

- AUSCULTACION ESTRUCTURAL.
- AUSCULTACION FUNCIONAL.

Las definiciones de estas clases se deducen con bastante facilidad de sus propios nombres.

Por auscultación estructural, patológica en la mayoría de los casos, se entiende la realizada con equipos que determinan el estado de un firme desde el punto de vista resistente, midiendo la capacidad residual de ese firme después de un determinado período de servicio, medido habitualmente en años o mejor en número de ejes equivalentes acumulados. De una observación previa se ha conocido o deducido la necesidad de actuación, la auscultación estructural debe ser capaz de cuantificarla, generalmente mediante un refuerzo del firme.

La auscultación funcional sirve para la determinación o comprobación de las características superficiales de los pavimentos desde aquellos aspectos más sensibles para el usuario, que son:

- LA SEGURIDAD Y EL CONFORT.

La seguridad de un pavimento, que no de una carretera, se evalúa mediante la medida de un Coeficiente de Rozamiento entre el neumático y el pavimento. Desde el punto de vista del técnico de carreteras el pavimento, o con mayor propiedad la capa de rodadura, debe satisfacer unos niveles de adherencia en superficie mojada que garanticen una circulación segura.

El parámetro Confort o comodidad del usuario tiene una doble componente, la propia calidad de la rodadura y otra diferida y acumulativa relacionada con el tiempo de viaje, el consumo de carburante y finalmente la seguridad, mediante el efecto acumulativo de las aceleraciones percibidas por el conductor.

Vamos ya directamente a entrar en la exposición del tipo y cantidad de equipos existentes en el momento actual en España. Una reflexión final, previa a la enumeración de los equipos, puede establecerse en relación al término «gran rendimiento».

Por gran rendimiento se puede entender tanto la realización de las auscultaciones o ensayos a gran velocidad (de 50 a 90 km/h), como la realiza-

ción a muy baja velocidad pero adquiriendo una gran cantidad de información o datos.

En la tabla 1 se puede ver un inventario de tipos de equipos existentes en España y una cuantificación sino exacta, si bastante aproximada asignando sus cifras a Organismos gestores o propietarios de los mismos.

La tabla está organizada por tipos de equipos, lo que nos permite una primera reflexión o exposición de comparación entre ellos.

TIPO DE EQUIPO	ORGANISMO GESTOR		
	DGC MOPU	CEDEX MOPU	OTRAS ORGANIZACIONES
AUSCULTACION ESTRUCTURAL DEFLECTOGRAFOS TIPO SACROIX DEFLECTOMETROS DE IMPACTO	10 1	1 1	4 2
AUSCULTACION FUNCIONAL 1. REGULARIDAD SUPERFICIAL ANALIZADOR DE REGULARIDAD IASIS RUGOSIMETRO IFTI MAGRAFO ROAD SURFACE TESTER RSTI	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1
2. ADHERENCIA EQUIPO ROZAMIENTO TRANSV. ERT <-> SCRM DESLETOGRAFO ERS	1 1 1	1 1 1	1 1 1
OTROS EQUIPOS GERPHO VEHICULO DE INVENTARIO BASCULAS DINAMICAS PORTATILES		4	1 1

TABLA 1. Inventario de equipos de auscultación de gran rendimiento en España (junio 1988).

3. DEFLECTOGRAFO

Es un equipo de auscultación de gran rendimiento para la medida de las deformaciones verticales (deflexiones) de los firmes.

Está constituido por un camión rígido (foto 1) de dos ejes, marca Pegaso modelo 1135, con separación entre ejes de 5 metros y un peso en el eje trasero (simple rueda general) de 13 t, que es la carga máxima legal en España para este tipo de eje, y constituye el eje de referencia en los estudios y cálculos de dimensionamiento de firmes. Los neumáticos van inflados a 0,85 kPa, que asimismo es la máxima presión de inflado de un neumático de una vehículo destinado a circular por carretera.

En la parte inferior debajo del chasis está ubicado el carretón de medida (foto 2), que puede levantarse durante el transporte. Está formado por



FOTO 1. Deflectógrafo.
Vista general.

una pieza en forma de T a la que están unidos los brazos de medida una por cada semieje y los brazos de guiado.

Los elementos y sensores que lo componen son:

- Dos palpadores con sensores tipo LVDT que miden las deflexiones del firme y que se transmiten por los brazos de medida.
- Un sensor de medida de la distancia recorrida por el equipo.
- Mecanismo de puesta en posición de los palpadores, arrastre y recogida de los mismos.
- Cuatro detectores tipo «Fin de carrera» para control de los movimientos de posicionamiento.
- Un grupo generador de energía.

Sobre el chasis va montada la cabina de instrumentación, que lleva el equipo necesario para la

realización automática del ensayo, controlado en todo momento por el operador desde un ordenador embarcado. Esta parte del equipo consta:

- Equipo de acondicionamiento de la señal y adquisición de datos (SAD).

Sus funciones son acondicionar y amplificar la señal que llega a cada uno de los sensores (LVDT, medidor de distancias, fines de carrera); conversión digital de las señales eléctricas enviadas por los sensores para su almacenamiento en la memoria RAM. También lleva el control de los mecanismos de recogida y lanzamiento de la estructura que soporta a los palpadores durante la realización del ensayo.

- Ordenador a bordo. Se trata de un ordenador AT compatible IBM portátil, Toshiba 3100 Plus, que puede situarse indistintamente en la

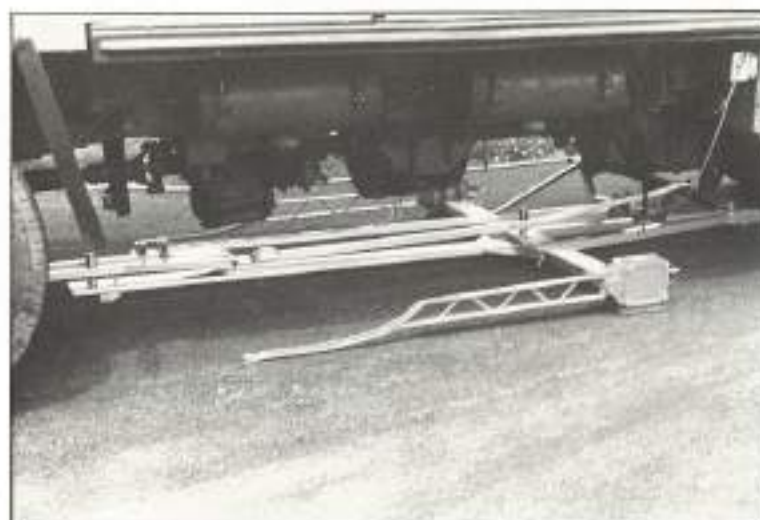


FOTO 2. Carretón de medida.

cabina de instrumentación o en la cabina del conductor. Sus misiones son la recepción de los datos enviados desde el SAD, su almacenamiento en memoria y en diskette y el control integral del ensayo.

Otro componente del sistema es el Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI) que garantiza un funcionamiento estable del generador y proporciona energía durante 10-15 minutos, en caso de avería del grupo electrógeno. También está dotado de una Impresora Panasonic KX-P 1081.

Una vez calibrado el equipo, tanto en su puesta a cero autónoma como mediante calibración con viga Benkelman que sigue siendo en España la medida estándar de referencia de la deflexión, se comienza el ensayo que se realiza a velocidades entre 2-3 km/h, tomando para cada punto ensayado 60 lecturas de deflexión en cada uno de los palpadores. Las lecturas se toman cada 2,5 cm, en toda la longitud del punto ensayado que es del orden de 1,5 metros. El ordenador trabaja en tiempo real y

en cualquier instante el operador o cualquier usuario puede ir visualizando el valor de la deflexión expresado en milésimas de milímetro.

Los datos que se obtienen son los siguientes:

- Clave de incidencias (introducidas desde el teclado, tales como hito kilométrico, identificación del tramo, temperatura del pavimento, etcétera.
- Distancia recorrida (referida a un PK inicial).
- Diferencias (máx. y mín.) para cada palpador.
- Lecturas iniciales de cada palpador.
- Punto de la deflexión mitad de cada palpador.
- Número de lecturas de cada palpador.
- Secuencia de deflexiones de cada palpador.

Al finalizar el ensayo los datos almacenados en diskette se llevan al gabinete técnico donde son depurados y tratados mediante los correspondientes programas de explotación.

Finalmente los datos de deflexiones puntuales se analizan con el programa DEFLECTRA que convierte las deflexiones puntuales en deflexiones

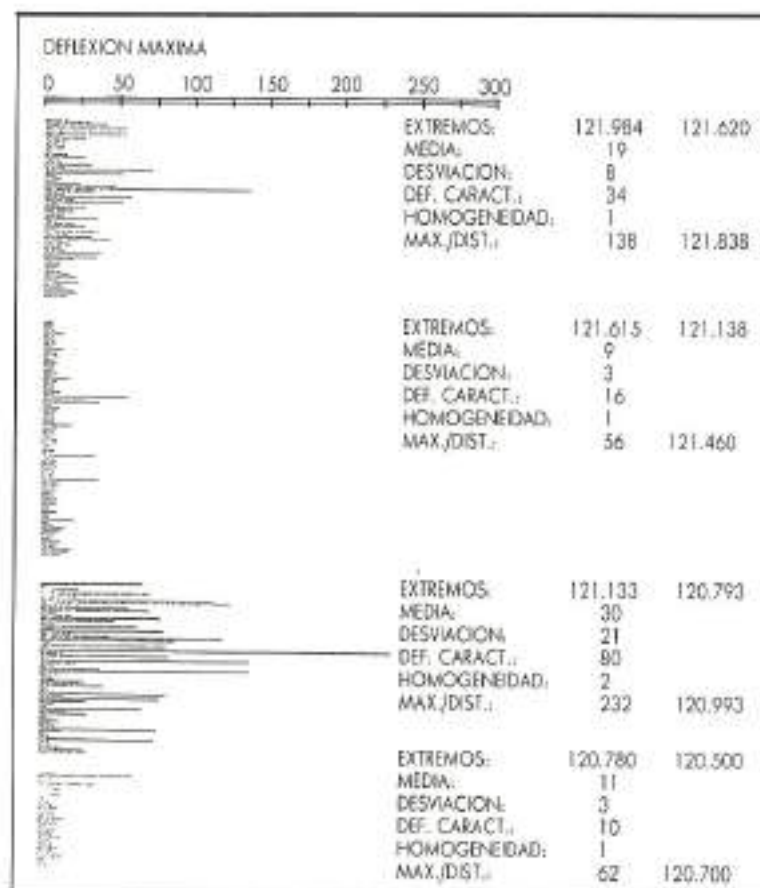


TABLA 2. Detalle de un deflectograma.

características por tramos homogéneos y finalmente en deflexiones de cálculo, que son las que la norma española 6.3. I.C., expresa como criterio para el refuerzo de firmes.

En las tablas 2 y 3 adjuntas se reflejan un ejemplo de deflectograma por tramos homogéneos del criterio de obtener el espesor de un refuerzo de firme en función de la categoría del tráfico y de la deflexión de cálculo.

4. ANALIZADOR DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL

Este equipo permite caracterizar la regularidad superficial de una carretera, determinando las desnivelaciones con longitudes de onda comprendidas entre 1 y 40 m.

Realiza los ensayos a una velocidad fija, aunque ésta puede variar en un intervalo comprendido entre 18 y 140 km/h. En España se efectúa a una

d_{calc}	TR 1	TR 2	TR 3	TR 4
0-50				
50-75	BR-111 5		VEASE APARTADO 7 RENOVACION SUPERFICIAL	
75-100	BR-121 6-10 (*)	BR-221 5		
100-125	BR-131 13	BR-231 8-10 (*)	BR-331 8	
125-150	BR-141 15	BR-241 12	BR-341 8 BR-342 10 BR-343 12	BR-441 4
150-200	BR-151 18	BR-251 15	BR-351 10 BR-352 4 BR-353 10	BR-451 8 BR-452 4 BR-453 10
200-250	BR-161 20	BR-261 18	BR-361 14 BR-362 4 BR-363 12	BR-461 10 BR-462 4 BR-463 16
250-300		BR-271 20	BR-371 16 BR-372 4 BR-373 17	BR-471 12 BR-472 4 BR-473 12
300+			ESTUDIO ESPECIAL	

No están representados los riesgos de imprimación, adherencia y curado.
(*) Si se exige el refuerzo de 8 cm, éste se extenderá en una sola capa.

Esposores en centímetros

 MEZCLAS BITUMINOSAS (4.7.3.2)
 GRAVA-EMULSION (4.7.3.8)
 DOBLE TRATAMIENTO SUPERFICIAL (4.7.3.5)

TABLA 3. Refuerzo de firmes flexibles tipo B, mezcla bituminosa.



FOTO 3. ARS. Vista general.

velocidad constante de 72 km/h en carreteras con velocidad específica altas y a 40 km/h en itinerarios con menor velocidad específica.

El equipo utilizado en nuestro país es el ARS (foto 3) (Analizador de la Rugosidad Superficial) que es una adaptación del APL (Analizador del Perfil Longitudinal) francés, pero una de las innovaciones que tiene con respecto a éste es que se ha incluido unos acelerómetros de gran sensibilidad con objeto de obtener unos parámetros de definición de la calidad de rodadura que integre los dos fenómenos que siente el usuario de carreteras, como son:

- Desnivelaciones del perfil.
- La aceleración vertical que dicha desnivelación produce.

El equipo ARS consiste en dos ruedas gemelas remolcadas por un vehículo que registra las variaciones angulares del brazo portador respecto a un

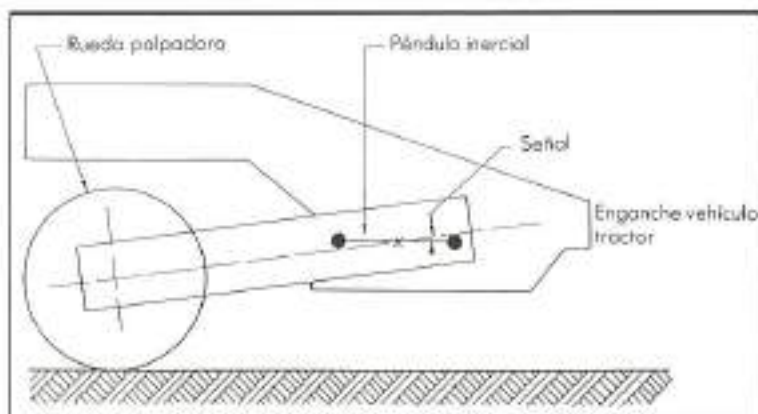
péndulo de inercia, que sirve de referencia fija horizontal (croquis 1). Lleva un sistema de suspensión que permite que la rueda actúe continuamente sobre la carretera, a la vez que recoge todo tipo de irregularidades del perfil.

Las variaciones angulares se miden con captadores electrónicos que se transmiten a un equipo de medida y registro, situado en el interior del vehículo tractor.

Los datos que se obtienen por cálculo son los siguientes:

- Valor medio de las ordenadas de las dos ruedas (oscilación longitudinal o balanceo).
- Diferencia de ordenadas de las dos ruedas (oscilación transversal o cabeceo).

Se expresan los resultados como una nota (comprendida entre 0 y 10) de caracterización (UNI) de la superficie del pavimento, longitudinal



CROQUIS 1. Esquema del remolque ARS.



FOTO 3'. Detalle del equipo.

y transversalmente, para longitudes de ondas en tres intervalos:

- De 1 a 3 m,
- De 3 a 13 m,
- De 13 a 40 m,

en tramos de medida que se fijan antes de empezar el ensayo (200 m a 1.000 m).

A modo de ejemplo, se adjunta a continuación la siguiente tabla 4:

En la actualidad se está estudiando la adaptación del equipo y de los programas de explotación y tratamiento para la obtención del IRI (Índice de Regularidad Internacional).

5. VIAGRAFO

Es un equipo de medida de la regularidad superficial longitudinal de las capas, fundamentalmente el pavimento, de los firmes.

Consta de ocho ruedas alineadas (croquis 2), que están unidas entre sí por medio de balancines, y una rueda libre, registrándose de modo continuo la diferencia entre la altura media de las ocho ruedas que definen el perfil teórico o línea media y la altura de la rueda de medida.

El equipo (foto 4), se transporta a su lugar de empleo, montado en un vehículo tipo Land Rover, que se utiliza como sistema de remolcado del mismo durante la ejecución de los ensayos. Dentro de



FOTO 3". Detalle del equipo.

BANDAS DE LONGITUDES DE ONDA			
KM/H	1 A 3,3 M	3,3 A 13 M	13 A 40 M
	1 3 5 7 9	1 3 5 7 9	1 3 5 7 9
00 72,5 P.R. 183			
72,7			
73,4			
01 72,1			
72,7			
72,2			
73,1			
73,1 OBRA DE FABRICA			
02 72,0			
73,8			
72,5			
72,7			
72,9			
03 73,0			
71,0			
72,5			
72,0			
73,8			
04 72,5			
73,4 PASO A NIVEL			
73,4			
71,8			
72,4			
05 71,4			
71,0 OBRA DE FABRICA			
72,4			
72,6			
71,9			
06 72,3			
72,7 INTERSECCION			
72,4			

TABLA 4. Representación gráfica de notas de regularidad.

la cabina del vehículo, está instalado el sistema electrónico e informático del equipo.

Para el levantamiento del perfil se coloca a cero el captador de desplazamiento vertical y la barra de referencia. Se remolca el viógrafo mediante el vehículo tractor que circulará por la trayectoria que se quiere ensayar, con una velocidad no superior a 5 km/h.

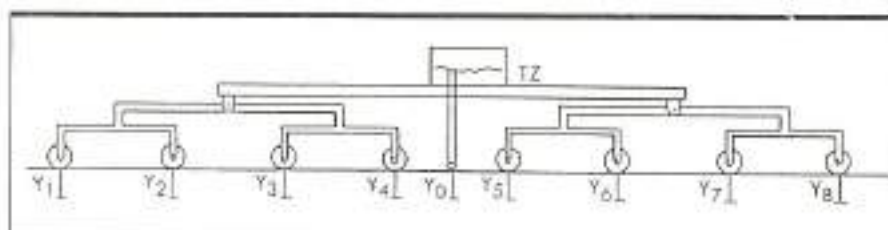
El equipo toma datos cada 0,25 m, lleva incorporado un sistema electrónico de medida, que a través de un registrador y un ordenador almacena y compila los resultados.

El ordenador tiene un programa de cálculo que proporciona los siguientes valores:

- Clave de hectómetro.
- Calzada y carril.
- Número de datos.
- Coeficiente de viógrafo.
- Coeficiente de irregularidad.
- Varianza o desviación típica.
- Dispersión de ordenadas en relación a la línea media.
- Media de las ordenadas.

De los resultados obtenidos, integrados por tramos de 100 m, se consideran índices de evaluación de la regularidad superficial los siguientes:

- CV = Coeficiente de viógrafo. Es igual al doble del área, a escala natural, de la superficie de-



CROQUIS 2. Esquema del viógrafo.



FOTO 4. Viógrafo. Vista general.

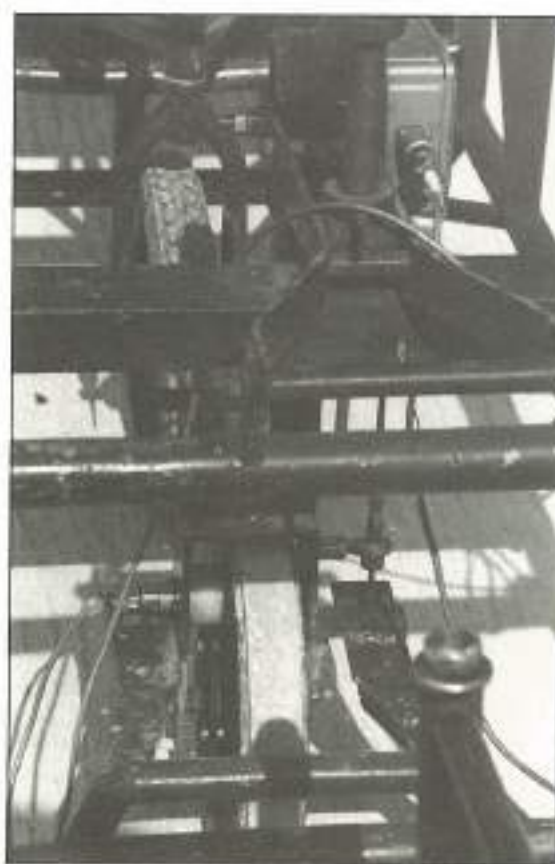


FOTO 4'. Detalle del equipo.

terminada por la línea del perfil y la línea media, en dm^2/Hm .

- CI = Coeficiente de irregularidad. Es la suma de las diferencias de ordenadas entre máximos y mínimos consecutivos, expresada en mm.

Recientemente se ha establecido, para las capas de mezcla bituminosa en caliente, los valores máximos del coeficiente de viágrafo que figuran en la tabla 5.

Está en fase de estudio los coeficientes máximos tolerables para pavimentos de hormigón. En la actualidad se considera que con velocidades superiores a 80 km/h las irregularidades superficiales con coeficientes superiores a 10 producen movimientos que aunque no son peligrosos resultan molestos cuando existe una gran longitud de calzada con dicha irregularidad. Coeficientes superiores a 20 originan una conducción molesta y a veces peligrosa. A partir de 40 no se puede circular a altas velocidades y cuando se alcanzan valores mayores de 60 la circulación es intolerable a velocidades superiores a 80 km/h.

En tramos de autopista con velocidad especifi-

CAPA	VELOCIDAD ESPECÍFICA (km/h)	MÁXIMO COEFICIENTE DE VIÁGRAFO (dm^2/Hm) (NLT-332/87)		IRREGULARIDAD MÁXIMA (mm) BAJO REGLA DE 3 m (NLT-334/88)
		MEDIA DEL LOTE	MÁXIMA EN 1 km	
RODADURA	≥ 100	5	15	4
	< 100	7	20	5
INTERMEDIA	≥ 100	7	20	6
	< 100	10	25	7
BASE	≥ 100	15	25	9
	< 100	20	30	10

TABLA 5. Límites de la irregularidad superficial.

ca superior a 100 km/h se puede considerar satisfactoria para el usuario cuando el coeficiente de viágrafo es inferior a 5.

España cuenta en la actualidad con el viágrafo del Centro de Estudios de Carreteras (CEDEX) y está en fase de construcción uno nuevo en el que se incorporará los adelantos existentes en la actualidad en relación a la electrónica e informática y con los resultados que de él se obtengan se piensa en un futuro la realización de algunos más, ya que es de destacar la gran utilidad que representa el viágrafo en el control de la regularidad superficial de carreteras, dentro del Plan General que se está llevando a cabo, y para el mantenimiento y conservación de las realizadas.

6. ROAD SURFACE TESTER (RST)

Dentro del campo de la auscultación funcional el RST es un equipo multiuso, de muy alto rendimiento y de alta tecnología que se ha utilizado recientemente en las carreteras españolas.

No existe de forma permanente un equipo en España y su empleo se ha realizado en régimen de contratos específicos de duración (por kilómetros a ensayar) prefijada. Normalmente el equipo viene a España en los meses de enero a marzo cuando en Suecia, por condiciones de vialidad invernal, queda totalmente inoperativo.

La realización de los ensayos corre a cargo de operarios suecos a los que acompaña un técnico español.

En esencia el RST (fotos 5 y 6) tiene los siguientes componentes:

- Vehículo.
- Acelerómetro.
- Sensores laser.
- Un transductor o medidor de distancia.
- Un CRT terminal/impresora.
- Un ordenador.



FOTO 5. RST. Vista general.



FOTO 6. Detalle del equipo.

El vehículo es una furgoneta tipo Van, marca Saab, en la que va montado todo el equipo incluido el sistema de alimentación (on-board power system).

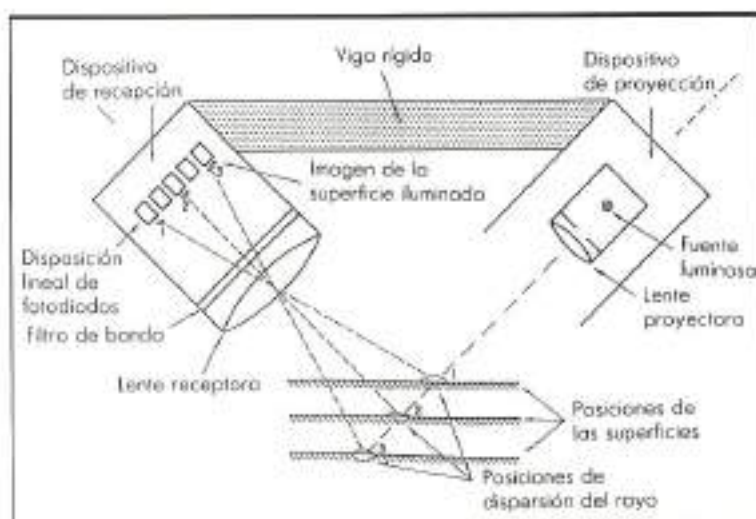
El acelerómetro montado en la parte frontal mide las aceleraciones verticales y se utiliza para la determinación de la regularidad superficial.

Los 11 sensores láser de 16.000 pulsos por segundo miden un ancho de 11 pies (3,1 m). Obtiene la distancia desde un plano inercial de referencia a la superficie del pavimento (croquis 3).

Esta medida combinada con la realizada por el acelerómetro y el medidor de distancia proporciona los siguientes datos del estado del pavimento:

- Regularidad superficial.
- Fisuración.

CROQUIS 3. Esquema de sensor láser.



		OBJECT:	1									
		LENGTH:	191,0 m									
		MEASURED:	191,0 m									
		SPEED:	40,3 km/h									
		ROUGHNESS:	3,9									
		> 6,5:	0,2 %									
		RUTDEPTH:	2,6 mm									
		> 10 mm:	0,3 %									
		> 20 mm:	0,1 %									
LASER	#	DEPTH # 1 (3 mm - 6 mm)			DEPTH # 2 (6 mm AND DEEPER)							
		WIDTH # 1 3 - 6 mm	WIDTH # 2 6 - 12 mm	WIDTH # 3 12 - 50 mm	WIDTH # 1 3 - 6 mm	WIDTH # 2 6 - 12 mm	WIDTH # 3 12 - 50 mm					
CRACK	1	6,8	2,6	1,0	0,5	1,5	0,5					
	2	3,6	1,5	0,5	0,5	1,0	0,0					
	4	3,6	1,5	0,0	0,5	1,5	0,0					
	3	5,2	1,0	0,0	0,0	0,5	0,5					
			0,2	0,3	0,4	0,6	0,9	1,3	2,0	3,0	5,0	
RMS		0,2	0,3	0,4	0,6	0,9	1,3	2,0	3,0	5,0		
MACRO ROUGH FINE	1	0,48	0,0	2,0	9,5	77,3	9,0	0,5	1,0	0,5	0,0	0,0
		0,28	2,5	70,3	25,1	0,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MACRO ROUGH FINE	4	0,44	0,3	1,5	29,0	57,5	9,5	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0
		0,53	0,0	0,0	7,0	75,5	17,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0

TABLA 6. Informe sólido de resultados RST.

- Roderas.
- Macrotextura.

El equipo opera a cualquier velocidad comprendida en el rango de 8 a 90 km/h.

A modo de ejemplo se adjunta un listado de resultados obtenidos. Tabla 6.

7. EQUIPO DE ROZAMIENTO TRANSVERSAL

Es un equipo de medida continua de la adherencia de pavimentos que determina el coeficiente de rozamiento transversal de la carretera a ensayar.

Consta de un camión Pegaso modelo 2135 (foto 7) equipado con una cisterna de 8.000 litros de



FOTO 7. ERT. Vista general.



FOTO 8. Rueda de ensayo ERT.

agua, provisto de una rueda lisa de ensayo (foto 8), colocada en su lado derecho, de forma que la medida se lleva a cabo en la parte de la calzada más solicitada por el tráfico. La rueda está cargada con una masa de 200 kg que se puede desplazar verticalmente (con independencia de los movimientos del camión). Lleva incorporado un sistema neumático que sube y baja la rueda de medida y simultáneamente cierra o abre el flujo de agua que se inyecta por delante de ella, colocando una película de agua de 0,5 mm de espesor.

La rueda de medida (croquis 4) se sitúa sobre la calzada formando un ángulo de 20° con el plano perpendicular al eje de las ruedas del camión.

La fuerza de rozamiento transversal neumático-pavimento se mide a través de un transductor de presión situado en el eje de la rueda.

En la cabina del camión van ubicados el sistema de registro de datos en diskette, la consola con display para visualizar durante la ejecución los datos de velocidad y coeficiente de rozamiento, así como un elemento auxiliar de registro gráfico.

El ensayo del equipo ERT determina el Coeficiente de Rozamiento Transversal que se define como la relación entre la reacción transversal generada por la adherencia neumático-pavimento (fuerza N en dirección del eje de la rueda) y la reacción vertical de la carretera sobre el neumático (fuerza R). Este coeficiente expresa la resistencia al deslizamiento en una carretera mojada. Croquis 4.

La carretera se ensaya según un paso p de medida variable (5, 10 o 20 m) en función del tipo de auscultación que se vaya a realizar.

Antes del inicio de cada jornada se procede a calibrar el equipo y el operador introduce las características previstas sobre la forma de realización del ensayo:

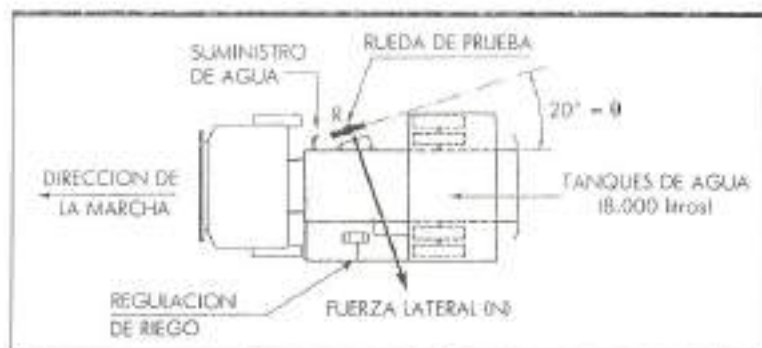
- Velocidad.
- Paso de medida.
- Caudal de agua.
- Evento de comienzo de ensayo.
- Temperatura ambiente exterior.

Se anotan las incidencias más significativas del recorrido que se va efectuando y el equipo realiza la medida en continuo.

Se ha fijado como condiciones normales de ensayo las siguientes:

- Velocidad $V = 50$ km/h.
- Paso de medida $p = 20$ m.
- Altura de la película de agua $h = 0,5$ mm.

CROQUIS 4. ERT.
 V = Velocidad constante.
 θ = Ángulo de deriva.
 N = Reacción transversal.
 R = Reacción vertical.



Para la explotación y tratamiento de los datos se ha desarrollado el programa CRT que permite obtener:

Resultados estadísticos.

A. Resumen de resultados:

- Número de puntos registrados en el ensayo.
- Número de puntos con medida nula.
- Número de puntos con velocidad fuera de rango $55 \leq V \leq 45 \text{ km/h}$.
- Valor medio del coeficiente de deslizamiento.
- Desviación típica.
- Valores mínimo y máximo del coeficiente.
- Distancia al origen de los puntos ensayados.

A modo de ejemplo se incluye una de las salidas que se obtiene, tabla 7.

B. Histograma de valores del CRT.

C. Distribución en tramos con coeficiente homogéneo.

Por último proporciona las gráficas de coeficientes.

Los valores máximos admisibles del coeficiente de rozamiento transversal (CRT) obtenidos con el ERT (SCRIM) en España son:

- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| $\text{CRT} \geq 0,50$ | Bueno |
| $0,4 < \text{CRT} < 0,5$ | Señalización |
| $\text{CRT} \leq 0,4$ | Nivel de intervención |

Mencionar que estos valores están en fase de estudio y que en un tiempo, que esperamos no muy lejano, se podrá establecer una clasificación más detallada y de mayor precisión.

8. VEHICULO DE INVENTARIO GEOMETRICO

Es un equipo destinado a la obtención de un Inventario Integral de Características Geométricas de las Carreteras.

RESULTADOS POR KILOMETROS				
PKI	MEDIA	DESVIACION TÍPICA	VALOR CARACTERÍSTICO	LONGITUD DESLIZANTE
10	54	3,4	48	20
11	54	2,9	48	100
12	50	4,6	41	360
13	53	3,2	46	160
14	50	2,8	44	500
15	49	4,1	41	540
16	49	3,9	41	540
17	52	13,6	25	720
18	78	5,4	68	0
19	75	1,9	72	0
20	77	2,3	72	0
21	79	1,7	75	0
22	80	2,2	76	0
23	76	5,7	65	0
24	51	19,3	12	720
25	38	2,7	32	1.000
26	43	4,1	35	900
27	40	2,3	35	1.000
28	43	3,5	36	980
29	43	2,1	39	1.000
30	44	2,4	39	1.000
31	45	4,4	36	840
32	48	3,1	42	720
33	48	2,1	44	620
34	61	14,2	33	240

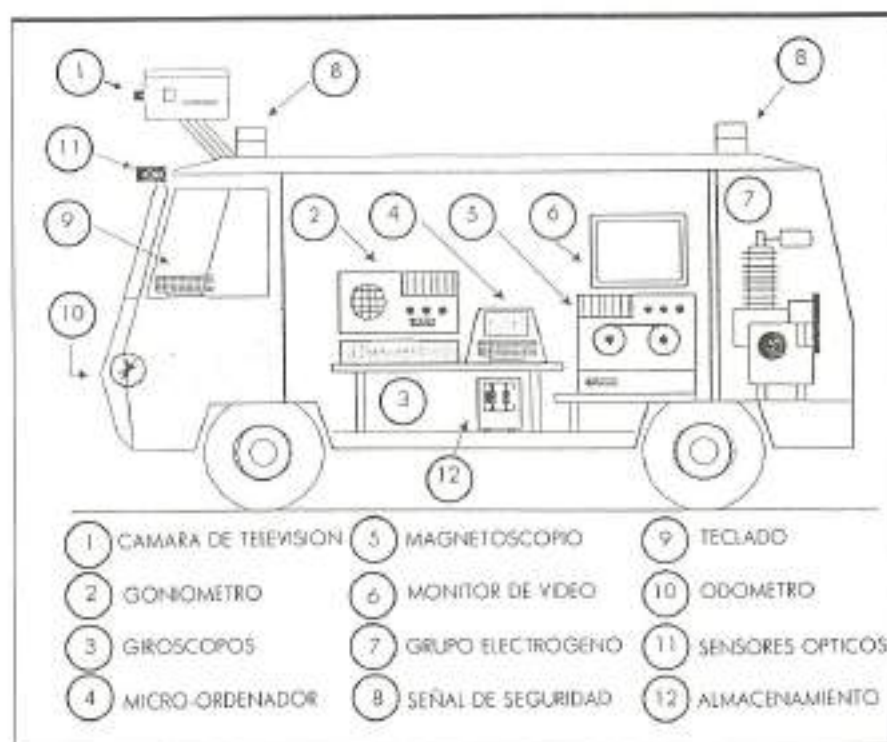
TABLA 7. Resultados ERT.

El vehículo (foto 9) es un prototipo ideado y desarrollado en España íntegramente y cuyos componentes principales son:

- Vehículo. Es una furgoneta marca Ebro 350/2 especialmente carrozada para la instalación de los distintos equipos de medida.
- Aparatos de medida de parámetros físicos y geométricos consta de:



FOTO 9. Vehículo inventario.



CROQUIS 5. Esquema de vehículo inventario.

- Odómetro de precisión (medida de distancias).
- Giróscopos (medida de rumbos, trazado en planta, pendientes y peraltes).
- Sistema óptico de medida de anchos (distancia entre bordes y/o rayas).
- Sistema de grabación en video (filmación continua de la carretera).
- Sistema de adquisición de datos (en base a un PC-IBM modelo AT con memoria RAM de 512 K capaz para 35 km).

Estos componentes (croquis 5) junto a otros secundarios y con los correspondientes sistemas de tratamiento de la información y de explotación del inventario permite a velocidades operativas próximas a los 40 km/h, evaluar cada 10 metros los parámetros geométricos de la calzada (pendientes, peraltes, etc.); características del trazado (radios de las curvas, desmonte, terraplén, etc.); señalización horizontal y vertical, elementos de balizamiento, etc.

El rendimiento del equipo se puede cifrar en 150 km/día en la toma de datos y 60 km/día en el proceso de mezclado de imagen con datos geométricos de gabinete.

A modo de ejemplo se adjunta una representación de los parámetros inventariados de cualquier tramo de la red. Tabla 8.

9. BASCULA DINAMICA PORTATIL

Es un sistema de medida de las características de los vehículos que se realiza en continuo sin interferir en el flujo del tráfico.

Los datos obtenidos por el sistema se pueden ver en la tabla 9:

Los componentes del equipo (fotos 10 y 11) son:

- Sensor de peso (manta).
- Sensores de velocidad y longitud.
- Contador clasificador de señales.
- Recogedor de datos.
- Ordenador portátil.

El principio de medida del peso se basa en el análisis del cambio de frecuencia producido en un circuito oscilador (formado por el conjunto del sistema), al variar la capacidad eléctrica debido al paso de un eje sobre el sensor de peso (elemento capacitativo).

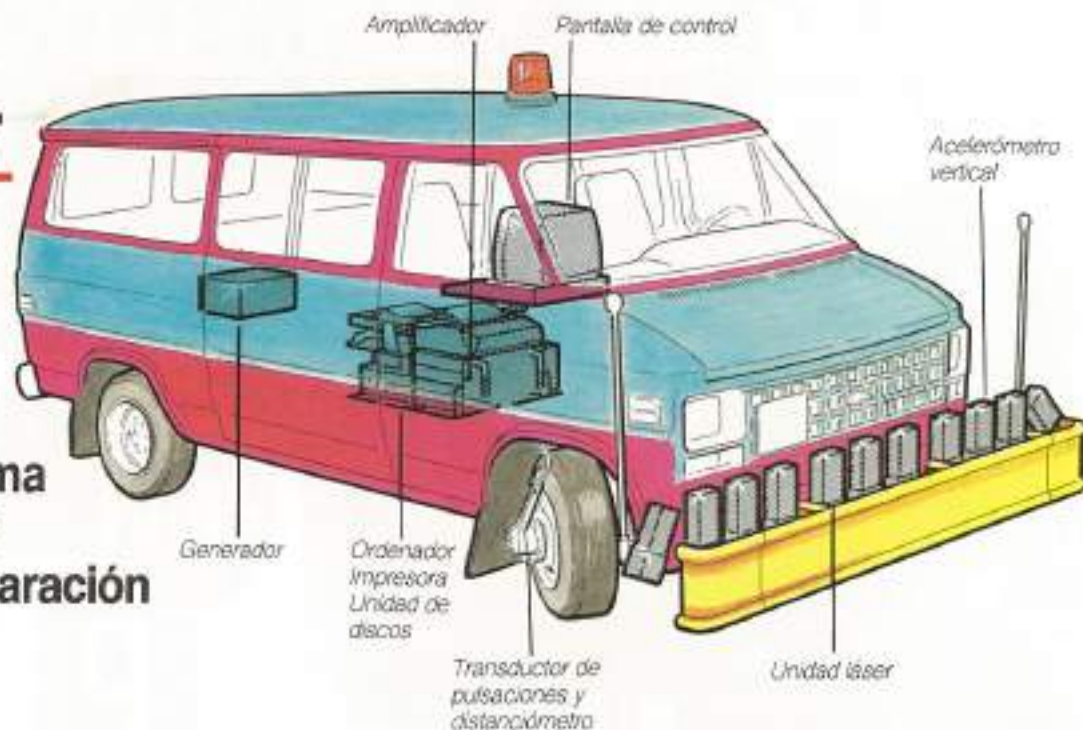
Por su parte, la obtención de la velocidad y longitud del vehículo se basa en la variación del flujo magnético al paso del vehículo sobre los sensores.

El equipo es fácilmente transportable a los distintos puntos de aforo debido a sus pequeñas dimensiones y peso.

El sensor de peso se clava al pavimento a través de los orificios laterales dispuestos al efecto y se protege con cinta adhesiva bituminosa.

El RST Láser

Un sistema "no contacto" para determinar el estado del pavimento de forma objetiva y estimar el coste de su reparación o mejora.



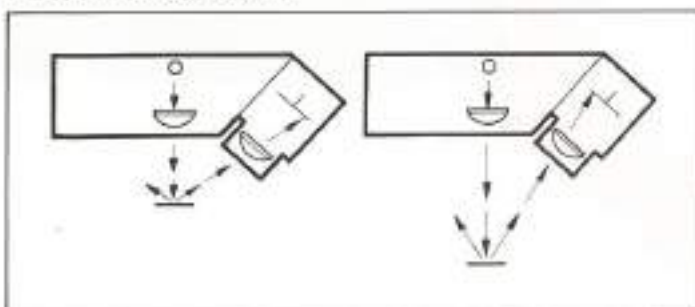
Mediante 11 unidades láser se determina cada decímetro el perfil transversal del carril y se miden las profundidades de las deformaciones longitudinales (roderas), el estado de agrietamiento y la rugosidad superficial, texturas, etc.

Se calcula un "índice de servicio", como dato objetivo del estado del firme, que permite tramificar los trayectos auscultados para proyectar los tratamientos correctores o para realizar otras auscultaciones más lentas y costosas (por ejemplo deflexionar) en aquellos tramos que realmente lo requieran.

La auscultación periódica con el RST Láser, permite la evaluación objetiva de la bondad de los tratamientos aplicados en un determinado tramo, pudiendo llegar a la solución del más idóneo para cada estado inicial ("índice de servicio").

La auscultación se realiza a la velocidad de circulación de los vehículos pesados (60 a 90 km/hora) sin molestias especiales para la circulación de usuarios.

LAS UNIDADES LASER



El punto de luz sobre la superficie de la carretera, se proyecta sobre un sensor de desplazamiento sensible a la luz. Las señales eléctricas que representan la posición vertical y la intensidad de la luz del punto, se registran y procesan en el ordenador.



Profundidad de rodadura y rugosidad - Índice de servicio de un carril de un camino. La anchura de las columnas corresponde a la longitud del tramo y su altura indica el valor variable.

AEPO, S.A.

Rafael Calvo, 9
28010 Madrid
Teléfono: (91) 446 64 00
Fax: (91) 445 99 05

Información:

D. JAVIER ORTUETA SAINZ (Ingeniero Industrial)

TODO EN SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL

• Equipos reflectantes para Policía Municipal.



• Señales de Tráfico pintadas y reflexivas.



• Nueva señalización urbana.



• Barreras de Seguridad.

• Señalización para obras.



señalizaciones **VILLAR**

Avda. Valladolid, 58 apdo. 61 42004 **SORIA**

Telf. (975) 22 05 04

Fax (975) 22 06 45

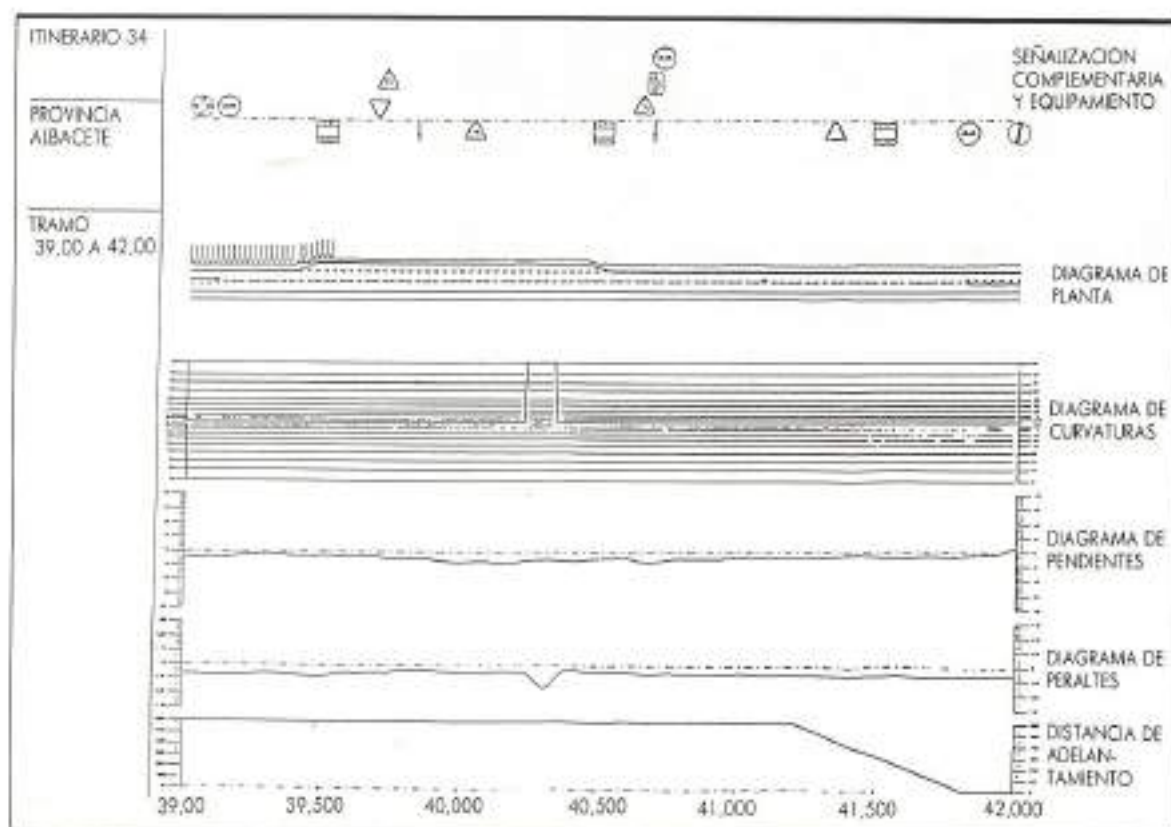


TABLA 8. Representación de Parámetros Inventariados.

DATOS SUMINISTRADOS POR EL SISTEMA
DE TODOS LOS VEHICULOS: — NUMERO DE ORDEN — HORA DE PASO — VELOCIDAD — LONGITUD TOTAL — CLASIFICACION — NUMERO DE EJES — DISTANCIA ENTRE EJES EXTREMOS — PESO TOTAL — DISTANCIA ENTRE CADA 2 EJES CONSECUTIVOS — PESO DE CADA EJE
DATOS RECOGIDOS POR OBSERVACION VISUAL
DE LOS VEHICULOS MUESTREADOS: — CLASE DE VEHICULO — TARA Y PESO MAXIMO AUTORIZADO — MARCA — MATRICULA — CONFIGURACION DE LOS EJES — EJES LEVANTADOS (SE LOS LLEVA) — HORA DE PASO

TABLA 9. Descripción de datos del sistema BDP.

Los lazos de inducción pueden realizarse de forma permanente, mediante serrado del pavimento, o bien simplemente adherida mediante hitos de fijación (cuya duración puede llegar a varias semanas).

Las señales producidas por los sensores son recogidas, analizadas y registradas en la memoria del clasificador en base a la configuración previamente elegida e introducida por el operador.

Las distintas configuraciones del equipo permiten disponer de los datos de forma individualizada (por vehículo) o bien mediante totales por intervalos de tiempo.

Los datos recogidos son analizados en gabinete con el apoyo de un paquete informático, que elabora los cuadros, histogramas y gráficos correspondientes a cada uno de los puntos de aforo.

En la actualidad se están llevando a cabo campañas anuales de 20-25 puntos con una duración de veinticuatro horas en las cuales se realiza además una inspección visual de los vehículos (6-8 horas de duración) recopilando:

- Hora de paso (para identificación del vehículo).



FOTO 10. Báscula dinámica. Vista general.

- Matrícula.
- Marca del vehículo.
- Tipo de los ejes.
- Tara y peso máximo autorizado.
- Ejes levantados.

Este muestreo visual permite establecer una silueta del tráfico de vehículos pesados, así como conocer las sobrecargas que se producen.

Una salida de resultados por tipos de vehículos puede verse en la tabla 10.

10. RESUMEN Y PERSPECTIVAS

Se ha procedido a una descripción que se ha procurado no excesivamente técnica sobre los equipos

de auscultación de gran rendimiento que vienen siendo empleados de forma habitual en la evaluación de las carreteras españolas.

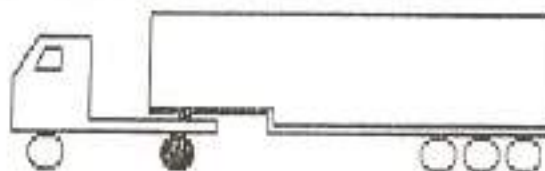
Como han podido observar la aplicación y la metodología de trabajo no presenta el mismo nivel de desarrollo en todos ellos. En algunos casos por la propia naturaleza del equipo, en otros por insuficiencias o limitaciones del sistema de aplicación. Somos conscientes de que queda un cierto camino por recorrer sobre todo en el aprovechamiento integral de los resultados y en la incorporación de los mismos a los bancos de datos y a los sistemas de Gestión. Entendemos que la auscultación patológica o puntual se atiende bastante satisfactoriamente, pero queda organizar con mayor precisión



FOTO 11. Detalle del sensor de peso.

AEROPUERTOS Y CARRETERAS

TIPO 2512500



NÚMERO DE VEHÍCULOS: 392

PORCENTAJE SOBRE TOTAL: 7,4 %

	EJE 1	EJE 2	EJE 3
PESO MEDIO	5,7	10,2	14,8
SOBRECARGADOS	0	80	43

PESO MEDIO DEL VEHÍCULO: 30,8
VEH. SOBRECARG. (PESO TOTAL/P.M.A.): 132

PORCENT. SOBRE TIPO: 33,7 %

	a = 4,00	a = 8,00
FACTOR DE EQUIVALENCIA	0,78	0,76

TABLA 10. Salida de resultados BDP.

A-B-C-D-E-F-G-H-I

A	B	C	D	E	F	G	H	I												
*BEGIN	47	01	11004241	1	64	1	0244	037	G											
*SEQ	DATE	TIME	SPD	CL	C	LENG	VEH.TY	TOT	AXLE1	AXLE2	AXLE3	AXLE4	AXLE5	AXLE6	AXLE7	AXLE8	AXLE9	AXLE10	AXLE11	AX
*AXLE	SEPARATION							TOTAL	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11	
01061	87/11/25	19:30:11,2	069	01	D	00487		001771	00996	00775										
01061								00250		00250										
01062	87/11/25	19:30:16,0	078	12	D	01054		011178	03210	07969										
01062								00512		00512										
01063	87/11/25	19:30:17,6	073	12	D	01230		023353	07747	15605										
01063								00568		00568										
01064	87/11/25	19:30:25,9	078	08	D	01648		023463	07637	08301	01992	02214	03320							
01064								01206		00359	00598	00129	00120							
01065	87/11/25	19:30:49,0	071	03	D	01055		015163	05091	07194	02878									
01065								00636		00467	00169									
01066	87/11/25	19:30:51,7	071	08	D	01292		030436	07083	10293	07637	05423								
01066								00923		00332	00457	00134								
J	K	L	LL	M	N						O	P	Q	R						
01067	87/11/25	19:30:55,2	077	08	D	01252		034642	07415	10957	07194	09075								
01067								00910		00332	00461	00126								
								S	T	U	V									
01068	87/11/25	19:31:15,1	062	02	D	00507		001992	00996	00996										
01068								00275		00275										
01069	87/11/25	19:31:23,9	073	12	D	01009		033092	10514	22578										
01069								00515		00515										
J:	NÚMERO DEL VEHÍCULO								N:	LONGITUD TOTAL EN CM										
K:	FECHA								N:	PESO TOTAL EN KG										
L:	HORA								O-P-Q-R:	PESO DE CADA EJE EN KG										
LL:	VELOCIDAD EN KM/H								S:	DISTANCIA ENTRE EJES EXTREMOS EN CM										
M:	CLASIFICACIÓN								T-U-V:	DISTANCIA ENTRE EJES CONSECUTIVOS EN CM										

TABLA 10'. Descripción de los datos registrados por el sistema BDP. (Configuración-47).

AEROPUERTOS Y CARRETERAS

DE CADA 100 VEHICULOS PESADOS, 32 SON CAMIONES DE 2 EJES.

DE CADA 100 VEHICULOS PESADOS, 45 SON DE 4 EJES.

DE CADA 100 VEHICULOS PESADOS, 26 SON TRAILERS DE 4 EJES.

DE CADA 100 VEHICULOS PESADOS, 11 LLEVAN UN EJE TRIDEM.

DE CADA 200 VEHICULOS PESADOS, 1 LLEVA MAS DE 5 EJES.

DE CADA 100 VEHICULOS PESADOS, 1 ES UN TREN DE CARRETERA.

DE CADA 100 VEHICULOS PESADOS, 25 LLEVAN UN PESO SUPERIOR A SU PESO MAXIMO AUTORIZADO.

DE CADA 100 EJES, 64 SON EJES SIMPLES.

DE CADA 100 EJES, 30 SON EJES TANDEM.

DE CADA 100 EJES, 5 SON EJES TRIDEM.

DE CADA 100 EJES SOBRECARGADOS, 48 SON EJES SIMPLES CON RUEDA GEMELA.

DE CADA 100 EJES SOBRECARGADOS, 34 SON EJES TANDEM CON RUEDA GEMELA.

EL PESO MEDIO DEL EJE SIMPLE SOBRECARGADO ES 15,1 TONELADAS.

EL PESO MEDIO DEL EJE TANDEM SOBRECARGADO ES 24,8 TONELADAS.

TABLA 10". Cómo es el tráfico pesado en las carreteras de la RIGE.

la auscultación preventiva o sistemática de reconocimiento intensivo de la red.

A este respecto nuestras aspiraciones van encaminadas al menos a nivel de propuesta a la frecuencia de control que recoge la tabla 11, destinada únicamente a la Red de Interés General del Estado, que con una longitud de aproximadamente 20.000 km es la red gestionada por el Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.

TIPO DE AUSCULTACION	PLAN DE AUSCULTACION AÑOS
AUSCULTACION ESTRUCTURAL DEFLECTOMETRIA	4-5
AUSCULTACION FUNCIONAL REGULARIDAD SUPERFICIAL ADHERENCIA	1-2 1-2
OTRAS AUSCULTACIONES EXAMEN VISUAL INVENTARIO GEOMETRICO EVOLUCION TRAFICO PESADO	3-4 6-8 40 ESTACIONES/AÑO

TABLA 11. Propuesta de frecuencia de auscultación, Red de interés general del Estado.



NOVEDADES EDITORIALES

Librería Ciencia-Industria, S. L.

Plaza de San Juan de la Cruz, 3
Tels. 234 85 56 y 233 75 43

PEDIDOS: Contra reembolso ☐ — Cheque adjunto ☐

MINERALS HANDBOOK. 1988-1989

Crowson, P. —601—
1988 ed. 338 págs. 16.854 pts.

CONTENIDO: Production and reserves by main geo-political grouping. The adequacy of reserves. The growth of world reserves of selected products. Value of contained metal in 1985-86 in percentages annual production. Import dependence: European Community, Japan, United Kingdom, and United States. The historic growth of total mine production. Comparative growth rates of consumption in the 1970s: United Kingdom, European Community, Japan and United States. ...

CORROSION HANDBOOK. Vol. 2

Behrens, D. —18933—
1988 ed. 340 págs. 57.452 pts.

CONTENIDO: General remarks and instructions for use. Aliphatic aldehydes. Ammonia, ammonium hydroxide. Sodium hydroxide. Soil (Underground corrosion). Key to materials compositions. Subject index.

HYDRODYNAMICS OF ESTUARIES. 2 Vols.

Kjerfve, B. —1945—
1988 ed. 285 págs. 37.922 pts.

CONTENIDO: Dynamics of partially mixed estuaries. Dynamic control by topography in estuaries. Dispersion in shallow estuaries. Tidally generated estuarine mixing processes. Tidal dynamics of estuaries. Estuarine residence times. Estuarine fronts. Modeling of tidally induced residual currents. Eulerian and lagrangian model of estuarine hydrodynamics.

GROUND ENGINEER'S REFERENCE BOOK

Ball, F. G. —21020—
1987 ed. 950 págs. 22.472 pts.

CONTENIDO: Properties and behaviour of the ground. Investigation in ground engineering. Treatment of the ground. Construction in ground engineering. Numerical methods and modelling in ground engineering.