

Resultados del primer ensayo efectuado en la pista del Centro de Estudios de Carreteras (3.ª parte)

RECAREDO ROMERO AMICH (*)
AURELIO RUIZ RUBIO (**)

RESUMEN. En esta tercera parte sobre los resultados del primer ensayo efectuado en la pista de firmes del CEDEX se presenta el análisis de la evolución de la regularidad transversal de las secciones. Los resultados señalan claramente un mejor comportamiento de la sección 322 del Catálogo de Dimensionamiento en comparación con la sección 321. En este artículo se da cuenta, entre otros aspectos del análisis de los perfiles transversales desde tres puntos de vista: profundidad de rodadura, diferencia de áreas y pendiente de la deformada, y se amplía este análisis a los parámetros representativos del deterioro y a los que caracterizan la velocidad del deterioro. También se aplican diversos criterios de fallo, se establece la relación del fallo con las condiciones climáticas, y se estudia la influencia de la disminución del espesor del pavimento en las secciones señaladas.

RESULTS OF THE FIRST TEST CONDUCTED ON THE TEST TRACK AT THE ROAD RESEARCH CENTRE (3rd part)

ABSTRACT. In this third part of the article «First test on the CEDEX pavement test tracks», the analysis of the transversal roughness of the sections is presented. According to the results section 322 of the design catalogue clearly shows a better performance than section 321. The analysis covers the evolution of rut depth, difference of rut areas and slope of the rut profile. An analysis of the rut formation speed is also made. Different failure criteria are applied and the relationship between the failure and the climatic conditions is studied. A relationship is also established between the rut depth and the decrease of the asphalt layers thickness.

1. PERDIDA DE LA REGULARIDAD SUPERFICIAL TRANSVERSAL. DEFINICION DE PARAMETROS

La pérdida de regularidad superficial de un tramo de carretera, es decir, la desviación de la superficie de la misma con respecto a un plano teórico, se debe a uno o varios de los siguientes fenómenos:

- Las mezclas bituminosas se deforman plásticamente, o bien por un efecto de postcompactación (con pérdida de volumen), o bien en un proceso de fluencia (sin cambio de volumen). Este fenómeno puede producirse sin deformación de las capas inferiores.

- El pavimento acompaña, también por deformación plástica, a la deformación de la explanada o de las capas granulares, producida por sollicitaciones verticales repetidas (cargas del tráfico), que modifican el esqueleto mineral de estas capas.
- Se producen cambios de volumen en la explanada derivados de las diferencias de humedad del suelo que la compone (efecto no asociado a las cargas del tráfico), que se reflejan en deformaciones plásticas del pavimento.

Así definida la pérdida de regularidad superficial se refiere a la superficie inicial, es decir, la que forma la rodadura una vez construida la carretera. A esta pérdida de regularidad hay que sumarle la de construcción, que es la desviación de la superficie inicial respecto al plano ideal establecido en los planos del proyecto, y que es debida a errores o defectos en la ejecución del tramo.

La evaluación del deterioro se lleva a cabo de forma directa obteniendo los perfiles transversales del tramo estudiado mediante perfilómetros que miden geométricamente el perfil en cuestión. Puede hacerse también una estimación indirecta analizando las aceleraciones

(*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Coordinador de Programas de Ensayo a Escala Real del Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX (Ministerio de Obras Públicas y Transportes).

(**) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Director del Laboratorio de Infraestructura Vial del Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX (Ministerio de Obras Públicas y Transportes).

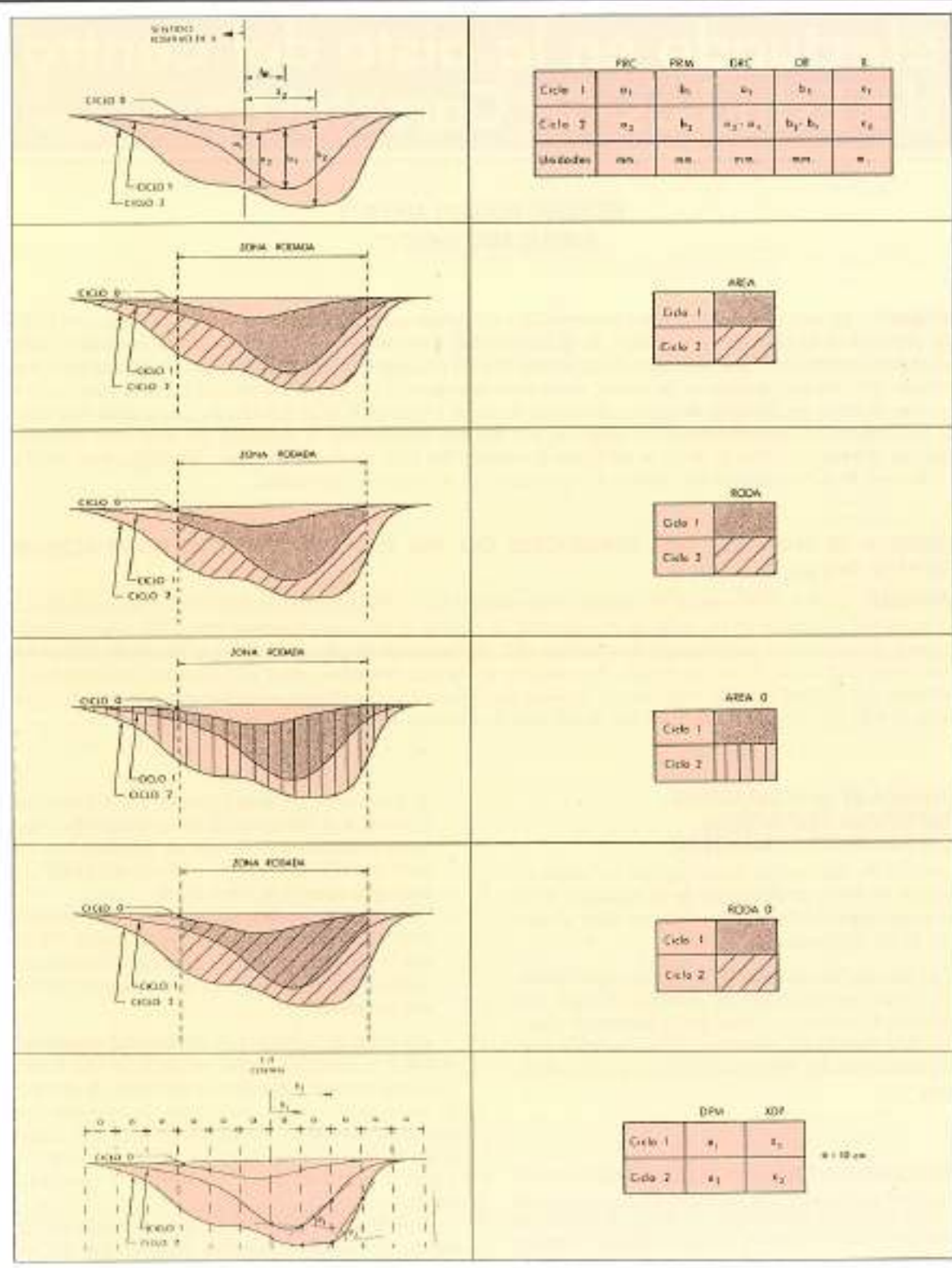


FIGURA 1. Cálculo de los parámetros de la regularidad transversal.

verticales del movimiento de un vehículo tipo al recorrer el tramo de estudio. La comparación de estas medidas en distintos momentos del ensayo permite estudiar la evolución del deterioro.

La interpretación más usual se realiza mediante el análisis del perfil. Este análisis puede hacerse midiendo la profundidad de rodadura del perfil en estudio con respecto al perfil inicial, evaluando diferencias de áreas entre estos perfiles, o complementando la primera medida con la pendiente de la deformada. En este estudio se ha efectuado el análisis según los tres procedimientos descritos, calculándose como parámetros representativos del deterioro los definidos a continuación (figura 1):

- Parámetro PRC, que es la Profundidad de Rodadura en el eje Central de la zona de rodadura (valores a_1).
- Profundidad de Rodadura Máxima, PRM (representado por los valores b_1), junto con la situación del eje donde se ha producido (valores x_1).
- DRC, definido por la Diferencia de Profundidad de Rodadura en el eje Central (valores c_1).
- DR, definido como la diferencia, entre auscultaciones sucesivas, de los valores del parámetro PRM obtenidos en esas auscultaciones (d_1).
- Parámetro AREA, definido como la superficie comprendida entre el perfil de estudio y el perfil medido en la auscultación anterior.
- RODA, calculado igual que el parámetro anterior pero únicamente teniendo en cuenta la zona rodada del vehículo.
- AREAO, definido como la superficie existente entre el perfil de estudio y el perfil inicial.
- RODAO, calculado en forma análoga al anterior pero sólo en la zona rodada del vehículo.
- Parámetro DPM (Diferencia de Pendientes Máximas), definido como el ángulo máximo entre secantes a la curva consecutivas. Las rectas secantes se obtienen uniendo los puntos de intersección con la curva de rectas verticales equidistantes entre sí 10 cm (valores e_1). También se anota la situación del punto donde se obtiene este parámetro mediante el valor XDP.

Los parámetros así definidos se pueden dividir en dos grupos. El primero de ellos estaría formado por los que miden el deterioro en términos absolutos, y serían PRC, PRM, AREAO, RODAO y DPM. El segundo grupo, constituido por DRC, DR, AREA y RODA, evalúan diferencia de deterioros, y por lo tanto al dividir los valores de estos parámetros por el número de ciclos nos definirán la velocidad del deterioro.

Una vez definidos los parámetros representativos del deterioro de la regularidad transversal, es necesario establecer los criterios de fallo para cada uno de ellos. Esto implica fijar el umbral límite de cada uno de los parámetros a partir del cual se considera que la sección ha fallado.

Conviene diferenciar el concepto de fallo localizado, que afecta inicialmente a un punto o zona de pequeña

PARÁMETRO	CRITERIO DE FALLO	TIPO DE FALLO
PRC	PRC MEDIO ≥ 15 mm 20 % MEDIDAS PRC ≥ 25 mm ALGUNA MEDIDA PRC ≥ 50 mm	FALLO GENERALIZADO FALLO GENERALIZADO FALLO LOCALIZADO
PRM	PRM MEDIO ≥ 20 mm 20 % MEDIDAS PRM ≥ 30 mm ALGUNA MEDIDA PRM ≥ 50 mm	FALLO GENERALIZADO FALLO GENERALIZADO FALLO LOCALIZADO

TABLA 1. Criterios de fallo respecto al deterioro de la regularidad superficial transversal.

PRC = PROFUNDIDAD DE RODADA EN EL EJE CENTRAL.
PRM = PROFUNDIDAD DE RODADA MÁXIMA.

extensión (en carretera se correspondería con aquella zona susceptible de ser reparada con los equipos y técnicas usuales de conservación ordinaria), del fallo generalizado, en el que se considera toda la sección fuera de servicio (en carretera se corresponde con una actuación de rehabilitación generalizada). En España no está definido el criterio de fallo puntual ni generalizado para este deterioro, por lo que se han establecido unos criterios que posteriormente habrá que valorar en cuanto a su aplicabilidad. Los criterios de fallo para la profundidad de rodadura se recogen en la tabla 1. En cuanto a los criterios de fallo para los parámetros calculados según los otros dos procedimientos, es decir, áreas entre perfiles y cambio de pendientes, no existe experiencia suficiente en el cálculo y análisis de estos parámetros para poder establecer umbrales de fallo de suficiente fiabilidad.

2. TOMA DE DATOS

En este trabajo se ha elegido como equipo para medir la regularidad transversal un transversoperfilógrafo desarrollado en este Centro (foto 1). El transversoperfilógrafo está constituido por una regla de 3,7 m que se apoya en sus extremos y que marca la línea de referencia, y una rueda que recorre la superficie del firme entre esos dos puntos, registrándose la diferencia de cotas o el perfil entre esos puntos.

Las medidas efectuadas en cada auscultación se han realizado siempre en los mismos puntos, de manera que los valores obtenidos con distinto número de ciclos de carga pueden ser contrastados entre sí, y de esta forma se pueda realizar un análisis preciso de la evolución de los deterioros estudiados en cada sección.

El dibujo de los perfiles se introduce en ordenador, mediante digitalización. A tal efecto se ha desarrollado un programa específico de esta aplicación. Este programa informático, una vez digitalizados los perfiles y almacenados en una base de datos, realiza el análisis posterior de la regularidad transversal y, entre otras salidas, permite el dibujo de la evolución del perfil



FOTO 1. Vista del transversoperfílogo en la pista de ensayo.

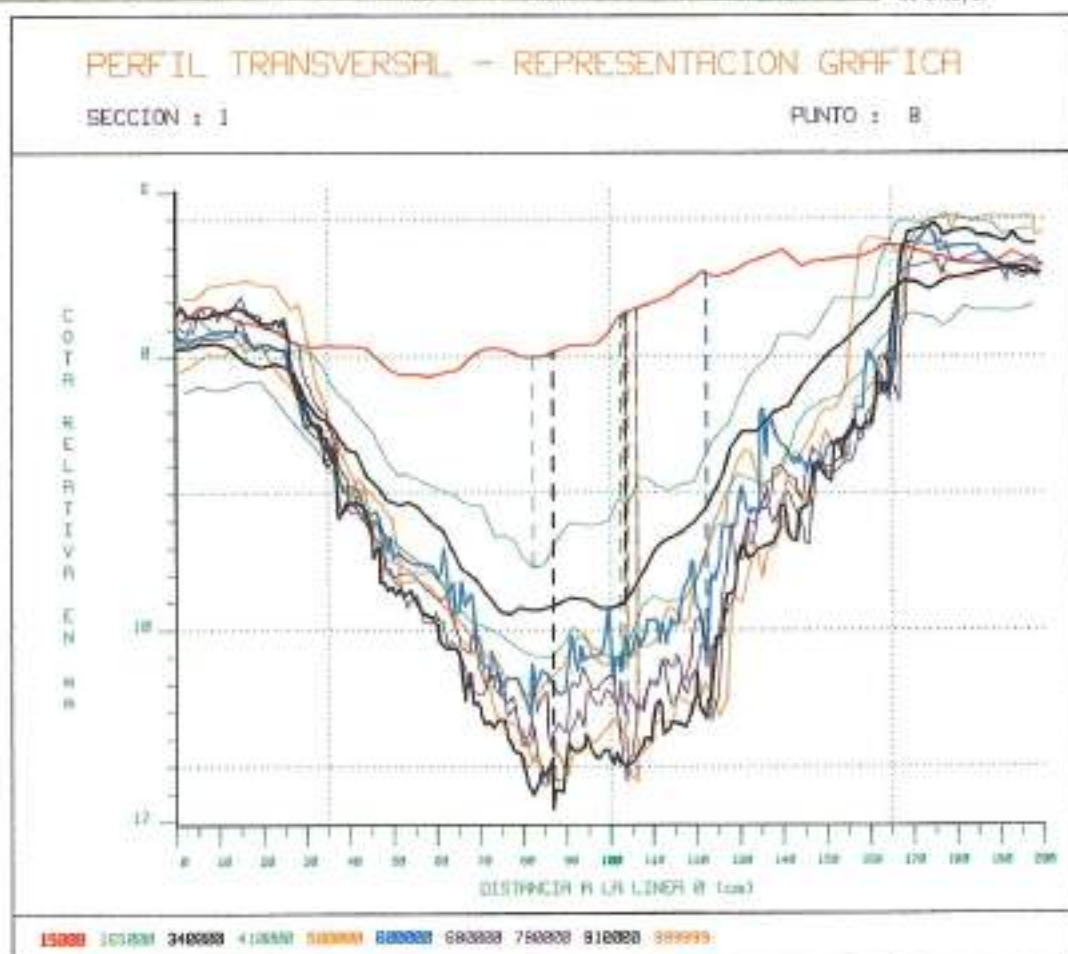


FIGURA 2. Ejemplo de evolución de perfil transversal (gráfica ordenador).

transversal de cada punto, con distintos colores según las diferentes auscultaciones (ejemplo en figura 2). El programa realiza también el cálculo y almacenamiento de los parámetros.

Se han realizado un total de trece evaluaciones de este deterioro, midiéndose en cada evaluación 16-20 perfiles por sección, lo que supone a lo largo del ensayo más de 1.400 perfiles transversales.

3. EVOLUCION DE LA PROFUNDIDAD DE RODERA

Las figuras 3 y 4 representan la evolución de los parámetros PRC y PRM con el número de ciclos de carga, es decir, la formación y evolución de la rodadura (central o máxima) debido al paso continuado del tráfico. Como puede observarse, gran parte de la información que se extrae del estudio del parámetro PRC es la misma que

con el parámetro PRM (por ejemplo la clasificación de las secciones del ensayo).

Las deformaciones transversales de todas las secciones en los primeros 50.000 ciclos de carga son muy similares, pero a partir del ciclo 85.000 en adelante las diferencias de los valores de las rodaduras entre todas las secciones aumentan. Al final del ensayo el orden de las secciones, de mejor a peor, es el siguiente: 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

De ello se deduce que la sección-tipo 322 se comporta mejor frente a la pérdida de regularidad transversal que la sección-tipo 321.

La clasificación obtenida para las secciones de cada uno de los tramos rectos de la pista está plenamente de acuerdo con los espesores de firmes construidos. Tomando los subtramos de cada sección-tipo por separado, a mayor espesor de mezcla bituminosa mejor es su comportamiento durante el ensayo (y menor la evolución del

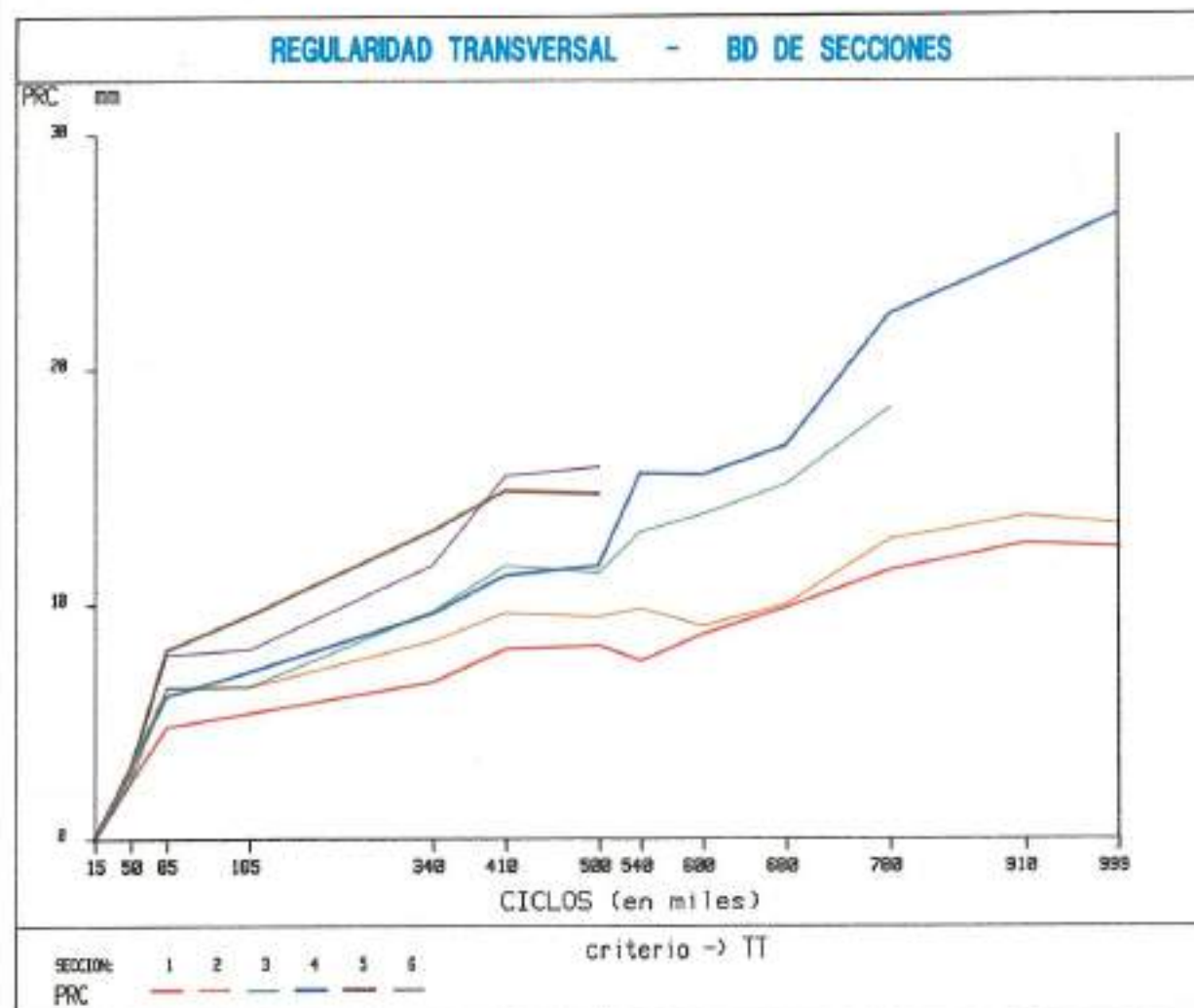


FIGURA 3. Evolución del parámetro PRC con el número de ciclos de carga.

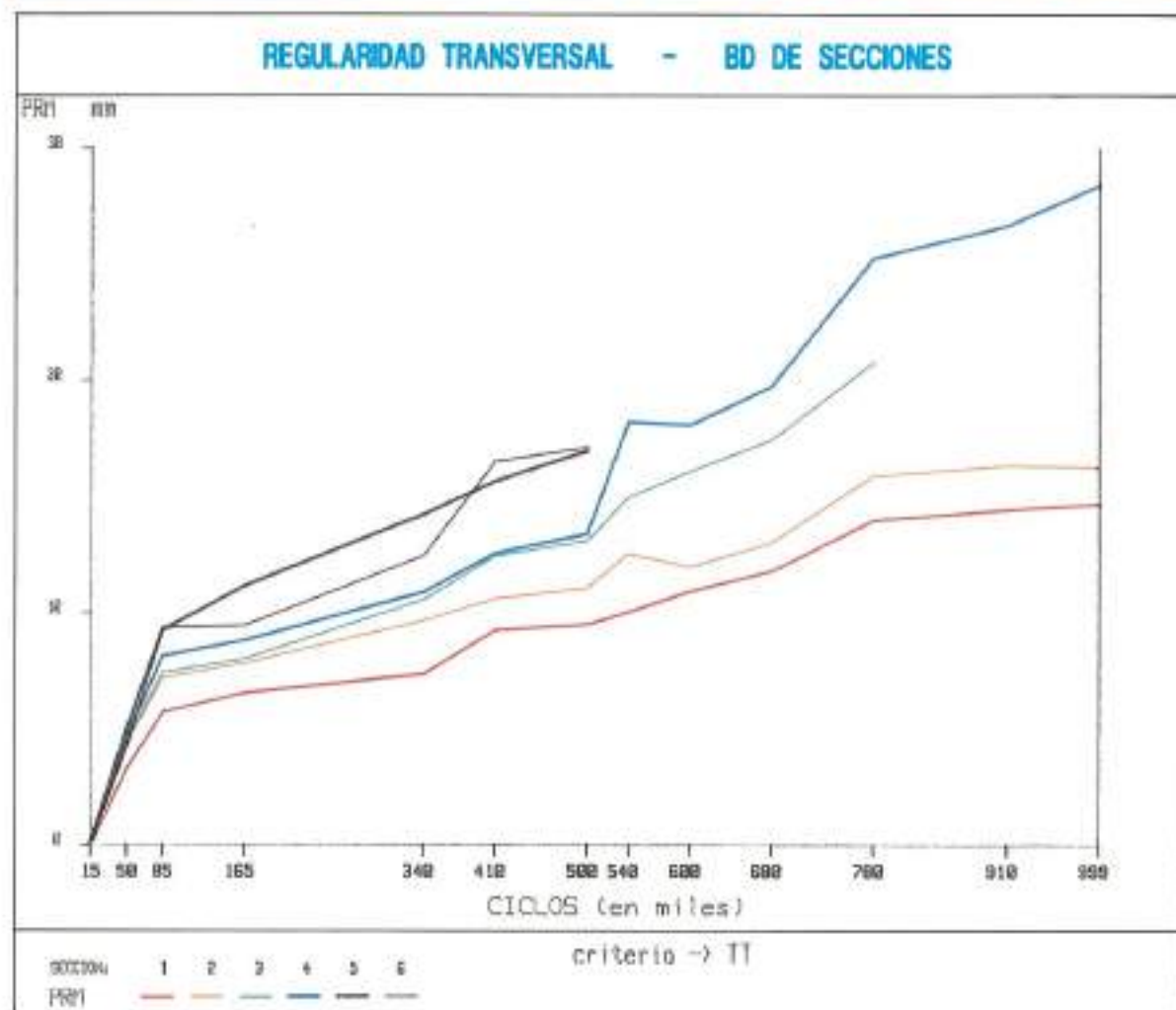


FIGURA 4. Evolución del parámetro PRM con el número de ciclos de carga.

deterioro de la regularidad transversal y los valores de los parámetros medios).

El eje donde se produce la máxima rodadura se sitúa inicialmente a 5-15 cm a la derecha del eje central de la zona rodada, según el avance del vehículo, y tiende durante el ensayo a acercarse a este último hasta coincidir con él, y posteriormente a situarse a la izquierda del eje central, alejándose progresivamente de él.

En la figura 5 se estudia, para cada una de las secciones tipo 322 y 321, la relación existente entre el valor de la rodadura y el espesor de mezcla bituminosa. Como parámetro se ha escogido la rodadura máxima (PRM), y los valores y gráficas se han calculado y dibujado en dos instantes determinados: después de 500.000 ciclos (que corresponde al final del ensayo para las secciones 5 y 6, y mitad para el resto) y con 800.000 ciclos de carga (final del ensayo en la sección 3).

Se ha modelizado la ecuación de la curva de evolu-

ción de PRC con el número de ciclos de carga en cada sección. La curva de regresión que mejor se ajusta a los datos de PRC es de tercer grado, y los coeficientes de correlación R obtenidos son siempre superiores a 0,96, lo que da idea de la buena calidad del ajuste efectuado. En la figura 6 se dibujan conjuntamente las curvas de regresión obtenidas para todas las secciones, y los valores medios de PRC de los que se ha partido en el ajuste. Idéntica modelización se ha realizado con PRM.

4. APLICACION DE LOS CRITERIOS DE FALLO

Aplicando a los resultados obtenidos en cada sección los criterios de fallo respecto al deterioro de la regularidad transversal, se confecciona la tabla 2.

Como puede verse, las secciones 1 y 2 no han llegado todavía al fallo al finalizar el ensayo, y además están

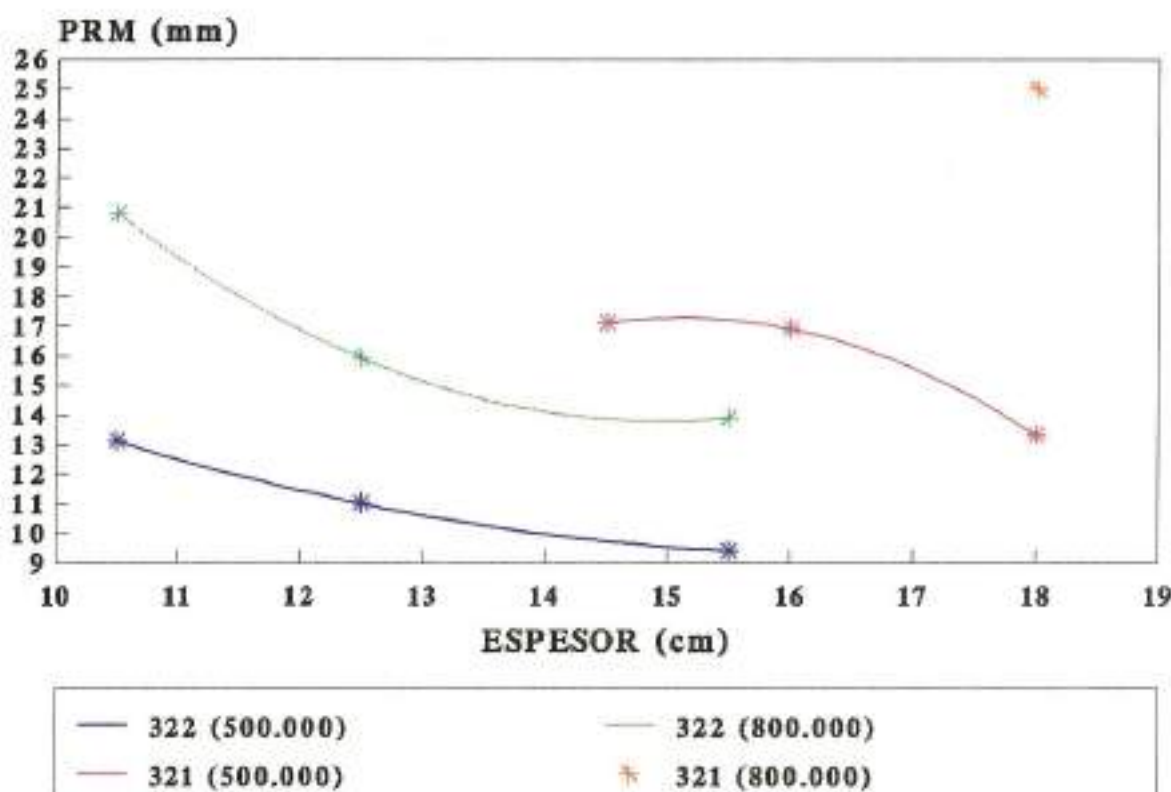


FIGURA 5. Aumento del valor de la rodadura al disminuir el espesor de mezcla en cada una de las secciones tipo.

relativamente lejos de él por cualquiera de los criterios establecidos. El final de la vida útil de estas secciones debe producirse, por tanto, con un número de ciclos de carga superior al millón.

Por otra parte, la vida útil de la sección 3 puede establecerse, teniendo en cuenta lo obtenido con los distintos criterios, en 700.000 ciclos de carga, y promediando los resultados de los diferentes criterios la vida útil de la sección 4 respecto al deterioro de la regularidad transversal se puede establecer en 600.000 ciclos de carga.

La sección 5 no alcanza el fallo con medio millón de ciclos de carga pero en algún caso se encuentra muy cerca de él. A partir de los ciclos de fallo obtenidos en las secciones 4 y 6, y teniendo en cuenta que el espesor de mezcla de la sección 5 es intermedio entre los de éstas, la vida útil de la sección 5 puede establecerse en 550.000 ciclos de carga, aproximadamente.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos con los diferentes criterios la vida útil de la sección 6 puede establecerse, por último, en 500.000 ciclos de carga.

De acuerdo con estos resultados el comportamiento de la sección 321 (fallo con un número de ciclos inferior

a 600.000) es mucho peor que el de la sección 322 (incluso con 5 cm menos de espesor de mezcla la vida útil es mayor: 700.000 ciclos). La sección 322 presenta un espesor crítico entre 10 y 11 cm de mezcla.

En ningún caso se ha producido fallo localizado alguno. Este criterio parece difícilmente aplicable, al menos en la pista de ensayo. El criterio del máximo valor medio es más restrictivo (sitúa el fallo en menores ciclos de carga), que el criterio del porcentaje de medidas superior a un valor máximo. Parece además más adecuado el primero, pues el fallo se alcanza progresivamente. Los criterios de fallo de PRC son más restrictivos que los de PRM. Al ser de más fácil medición y obtenerlo antes en el tiempo el criterio de PRC, este último parece el más adecuado.

5. EVOLUCION DE LA SUPERFICIE ENTRE PERFILES

Representando gráficamente los valores medios de los parámetros RODAO y AREAO obtenidos en las seis secciones de ensayo con los ciclos de carga de las auscultaciones de medida se obtienen las figuras 7 y 8. Estas figuras representan la formación y evolución de la

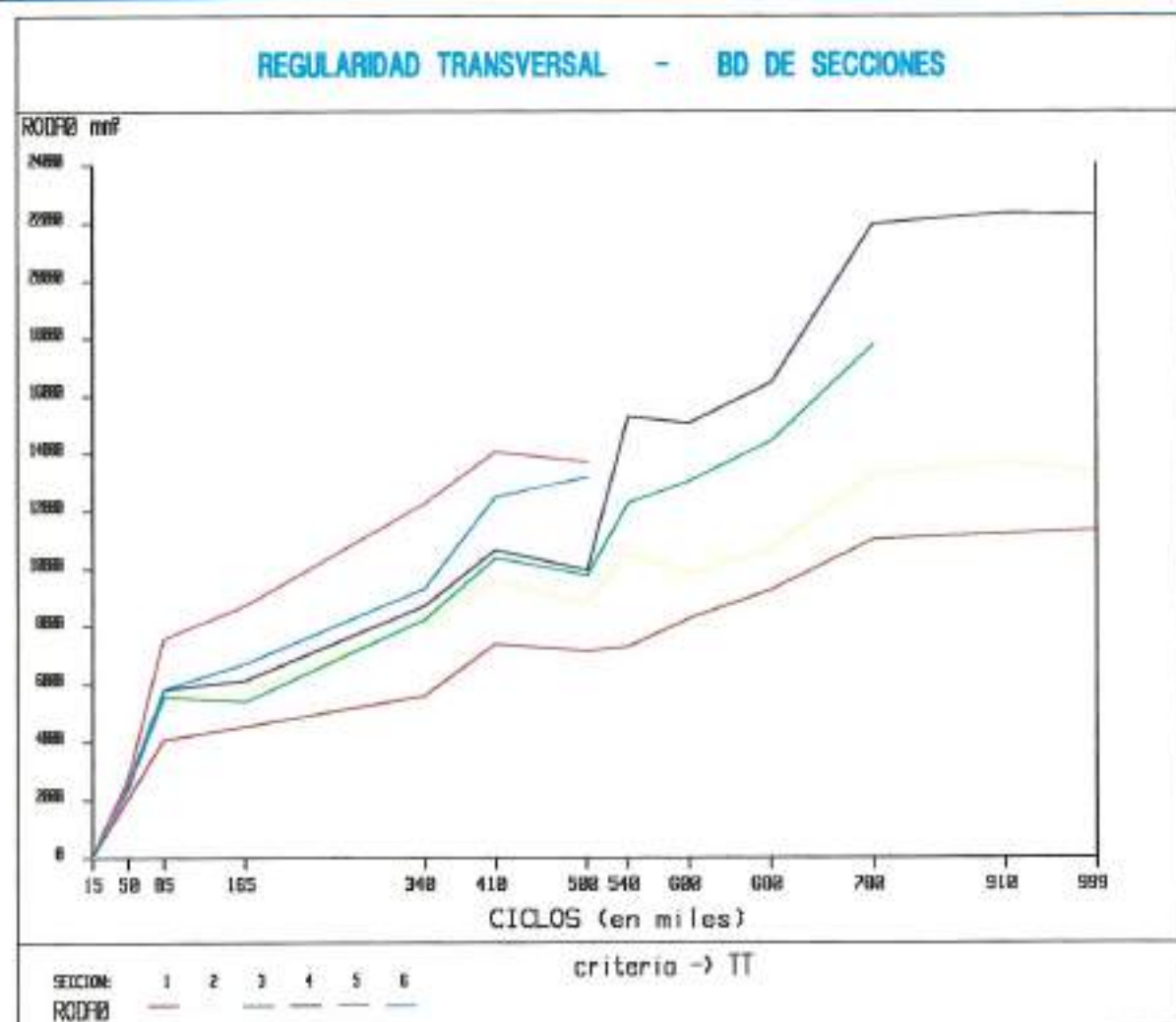


FIGURA 8. Evolución del parámetro RODAO con el número de ciclos de carga.

presenta en esta tabla el volumen medio de roderas formado en el firme suponiendo una carretera de dos carriles (valor obtenido a partir de AREAO).

De los resultados obtenidos se aprecia que el valor de AREAO en el momento del fallo de las distintas secciones de ensayo varía entre 15.600 y 16.600 mm². A partir de estos datos puede establecerse como criterio de fallo para este tipo de firmes el número de ciclos en el que AREAO supere el valor de 16.000 mm². Este valor significa un volumen medio de roderas de 65 m³ por kilómetro de carretera de dos carriles.

Por otra parte, el parámetro RODAO en el ciclo de fallo de las diferentes secciones se mueve en el intervalo 13.100-15.000 mm². El criterio de fallo para este parámetro en este tipo de firmes puede establecerse en superar el valor de 14.000 mm².

Las curvas de evolución, con el número de ciclos, de los parámetros AREAO y RODAO en cada sección se han modelizado, obteniéndose curvas como las repre-

sentadas en la figura 9, que representa al segundo de estos parámetros. Las curvas de regresión que mejor se ajustan, obtenidas mediante polinomios de Tehebicheff, son polinómicas de tercer grado.

6. VELOCIDAD DE EVOLUCION DEL DETERIORO EN FORMA DE RODERAS

Así como PRC y PRM representan el aumento de las roderas que se produce a lo largo del ensayo, DR y DRC cuantifican la velocidad de evolución de este deterioro. Ahora bien, como estos parámetros miden la diferencia de la profundidad de rodera entre auscultaciones sucesivas, y entre estas últimas el intervalo de ciclos de carga no siempre es el mismo, se hace necesario referir los valores de DR y DRC al número de ciclos transcurrido entre auscultaciones consecutivas. De esta manera se puede realizar no sólo una comparación de los valores obtenidos entre secciones distintas, sino también un

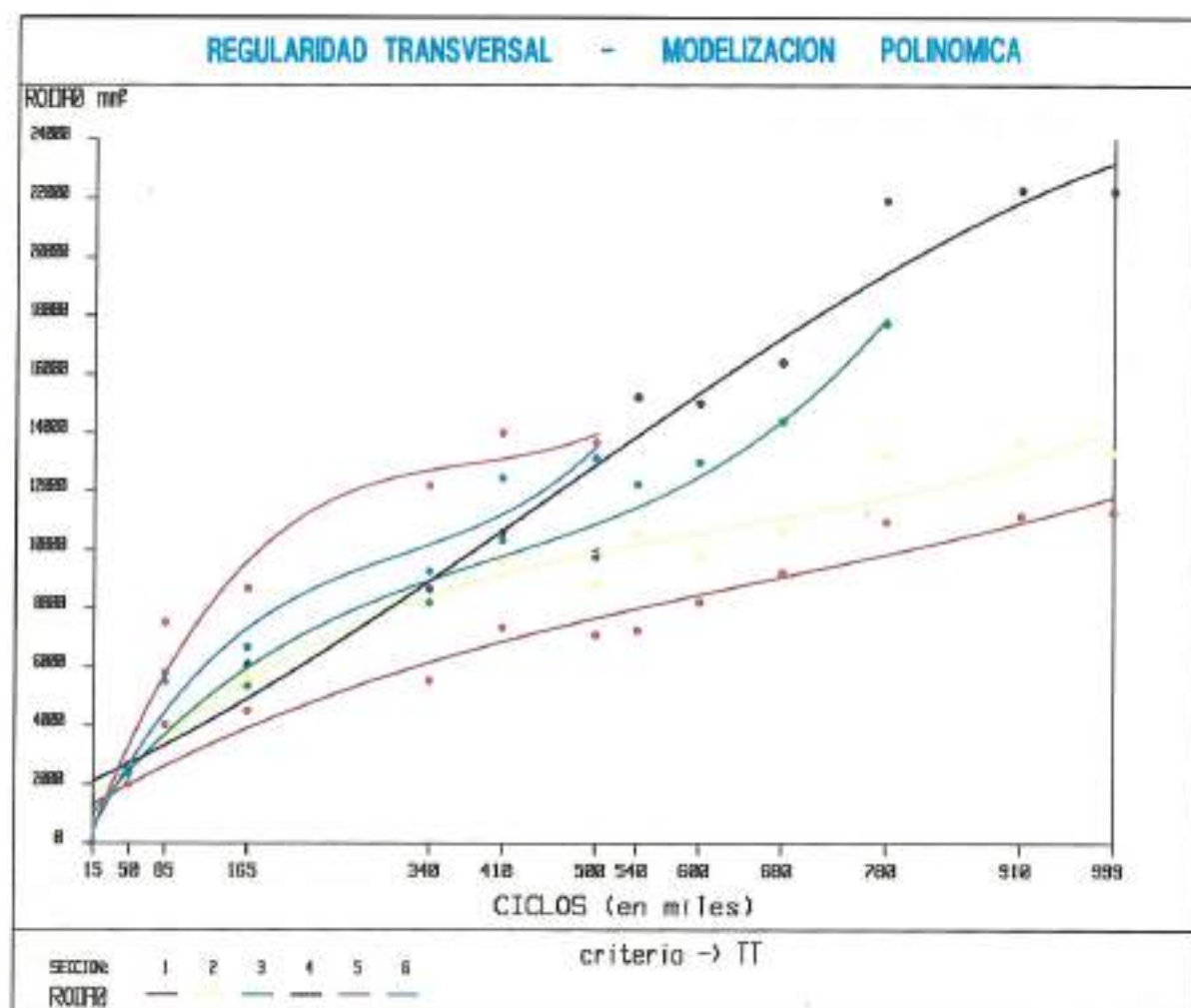


FIGURA 9. Modelo de evolución del parámetro RODAO con el número de ciclos de carga.

análisis de lo que sucede en una misma sección en distintos momentos del ensayo.

Dividiendo los *DRC* y *DR* medios de cada auscultación por el número de ciclos transcurrido desde la auscultación anterior (*IC*) se obtienen *VDRC* y *VDR*, es decir, la velocidad del deterioro de regularidad transversal medida según los parámetros *DRC* y *DR*. El cálculo de *VDRC*, por ejemplo, se realiza mediante la fórmula:

$$VDRC = \frac{DRC}{IC} \times 10^5 \text{ (} 10^{-5} \text{ mm/ciclos)}$$

estando *DRC* en mm e *IC* en ciclos. Expresado de otra manera *VDRC* serían los milímetros de avance de la rodera central cada 100.000 ciclos.

Representando con el número de ciclos los valores obtenidos de *VDRC* y *VDR* de las seis secciones en la misma gráfica se obtienen las figuras 10 y 11. En estas gráficas las velocidades calculadas entre dos auscultaciones sucesivas se han representado en el número de ciclos intermedio entre ellas.

Del análisis de estas figuras se deduce que en todas las secciones pueden distinguirse dos fases diferenciadas. En la primera fase la velocidad es elevada y la más alta de todo el ensayo para cada sección, aunque es variable de unas a otras: $6-15 \cdot 10^{-5}$ mm/ciclos según *VDR*. Esta fase dura desde el inicio hasta el ciclo 165.000 y en ella la velocidad disminuye con el número de ciclos en todas las secciones. En la segunda fase la velocidad (*VDR*) es más reducida, moviéndose en el rango $0-3 \cdot 10^{-5}$ mm/ciclo. En esta fase no se aprecia tendencia clara a aumentar o a disminuir. Esta fase dura desde el ciclo 165.000 hasta el final del ensayo. Se produce en algún intervalo de ciclos y sección determinados un fuerte aumento de la velocidad, alcanzando incluso magnitudes parecidas a las de la primera fase, pero este hecho no tiene continuidad en los intervalos posteriores.

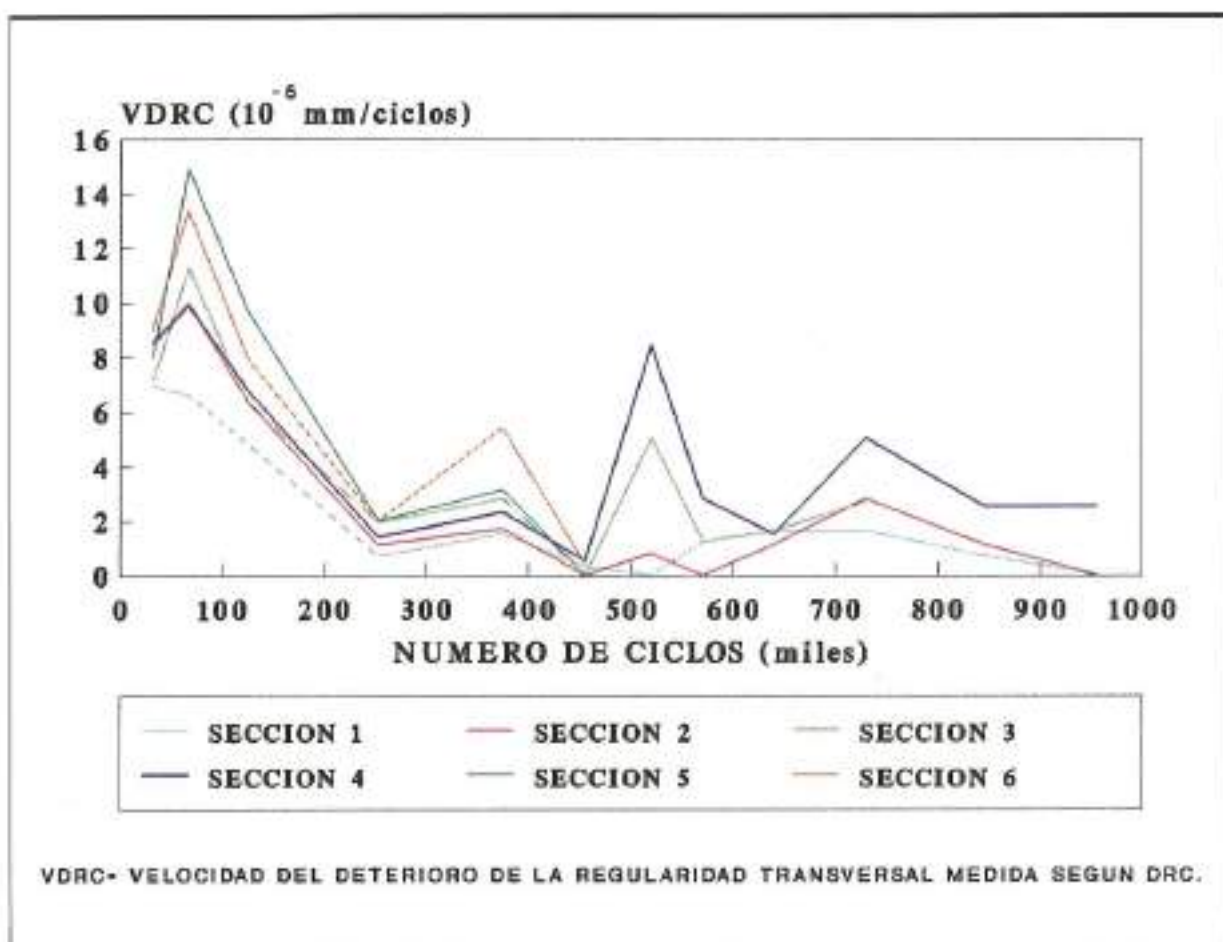


FIGURA 10. Evolución, con el número de ciclos, del deterioro de la regularidad transversal según DRC, en todas las secciones.

Las velocidades de formación de roderas son mayores en la sección-tipo 321 respecto a la 322, y se aprecia una clara tendencia a que las secciones se clasifiquen en el mismo orden obtenido en el estudio de *PRC* y *PRM*, es decir, de mejor a peor (de menor a mayor velocidad): 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

Asimismo existe una relación, para cada sección tipo, entre velocidad y espesor de mezcla, de forma que para mayor espesor de mezcla menor es la velocidad de formación de roderas.

Se han relacionado los intervalos de ciclos con la climatología existente en ese intervalo, buscando una explicación de los fenómenos anteriores en la influencia de las estaciones cálidas (altas temperaturas), frías (bajas temperaturas), lluviosas (elevadas precipitaciones) o secas (reducidas o inexistentes precipitaciones). Por ejemplo, teóricamente con altas temperaturas la velocidad del deterioro debe aumentar.

Para ello se han medido en la pista temperaturas y precipitaciones, confeccionando finalmente las figuras 12 y 13. En la primera de ellas se ha superpuesto al

gráfico de distribución mensual de temperatura máxima y mínima un diagrama en el que se indican los meses en los que se realizaron cada uno de los intervalos de ciclos. De esta manera se ven de forma rápida y clara las temperaturas que se produjeron en cada intervalo. Se han señalado como tramos de distinto color los intervalos definidos como «cálidos» o «fríos», que son aquellos en los que todo el intervalo presenta altas temperaturas (temperaturas máximas por encima de los 30°C) o bajas temperaturas (temperaturas mínimas por debajo de los 0°C). En forma análoga se ha confeccionado la figura 13, que relaciona intervalos de ciclos con precipitaciones mensuales, y en la que se distinguen los intervalos «lluviosos» (precipitaciones mensuales en general por encima de 100 mm, sobre todo antes de la auscultación de medida) y «secos» (precipitaciones inferiores a 50 mm por mes).

De la relación entre estas figuras y los datos de velocidad de deformación obtenidos en cada intervalo de ciclos se deduce que la existencia de altas temperaturas acelera el proceso de formación de roderas, aumentando

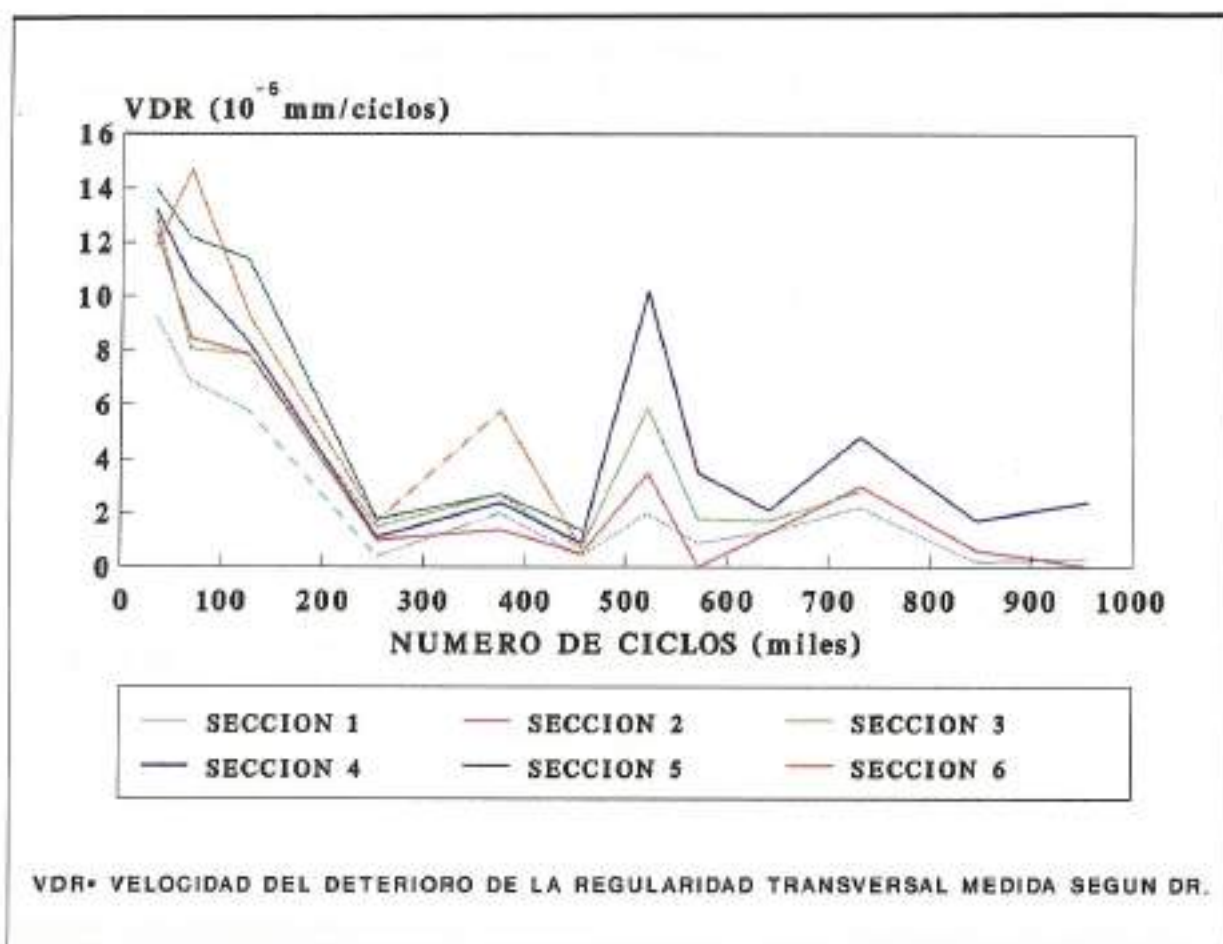


FIGURA 11. Evolución, con el número de ciclos, del deterioro de la regularidad transversal según DR, en todas las secciones.

la velocidad de deformación. El efecto de esta aceleración es difícil de concretar, pero se puede estimar en un aumento de 1-3 mm de rodera más cada 100.000 ciclos.

La existencia de fuertes lluvias, con la consiguiente entrada de agua en las capas inferiores, acelera también el proceso de formación de roderas, aumentando la velocidad de deformación. Este fenómeno, producido primordialmente por el asentamiento de las capas granulares afectadas por el agua, se agudiza en los firmes que presentan fisuras superficiales, las cuales aumentan dicha entrada de agua.

No obstante, el factor más importante que ha influido en la primera fase del ensayo, caracterizada por las altas velocidades de formación de roderas, no son las altas temperaturas ni las fuertes lluvias sino un proceso de asentamiento inicial por movimientos de las capas inferiores del firme y fenómenos de postcompactación en la capa de mezcla bituminosa. El efecto de este proceso es difícil de precisar pero es sin lugar a dudas

superior al de las altas temperaturas o al de las precipitaciones elevadas (con las que en parte coincide), produciendo velocidades de deformación superiores a los 6 mm de rodera cada 100.000 ciclos de carga, y llegando en ocasiones incluso a magnitudes de $14-15 \cdot 10^{-5}$ mm/ciclo.

A partir de los valores obtenidos de los parámetros AREA y RODA se han calculado también los parámetros VAREA y VRODA, que se obtienen dividiendo los valores medios de los primeros en cada auscultación por el número de ciclos transcurrido desde la auscultación anterior, y cuantifican la velocidad de evolución del deterioro. Expresado de otra manera VAREA sería el aumento de volumen de rodera (expresado en mm^3) que se produce en un metro longitudinal de firme al paso de cada ciclo de carga. Del análisis de los valores obtenidos y de su relación con los datos climáticos se extraen las mismas conclusiones que las deducidas de VDR y VDRC, anteriormente expuestas, por lo que no se repiten aquí.

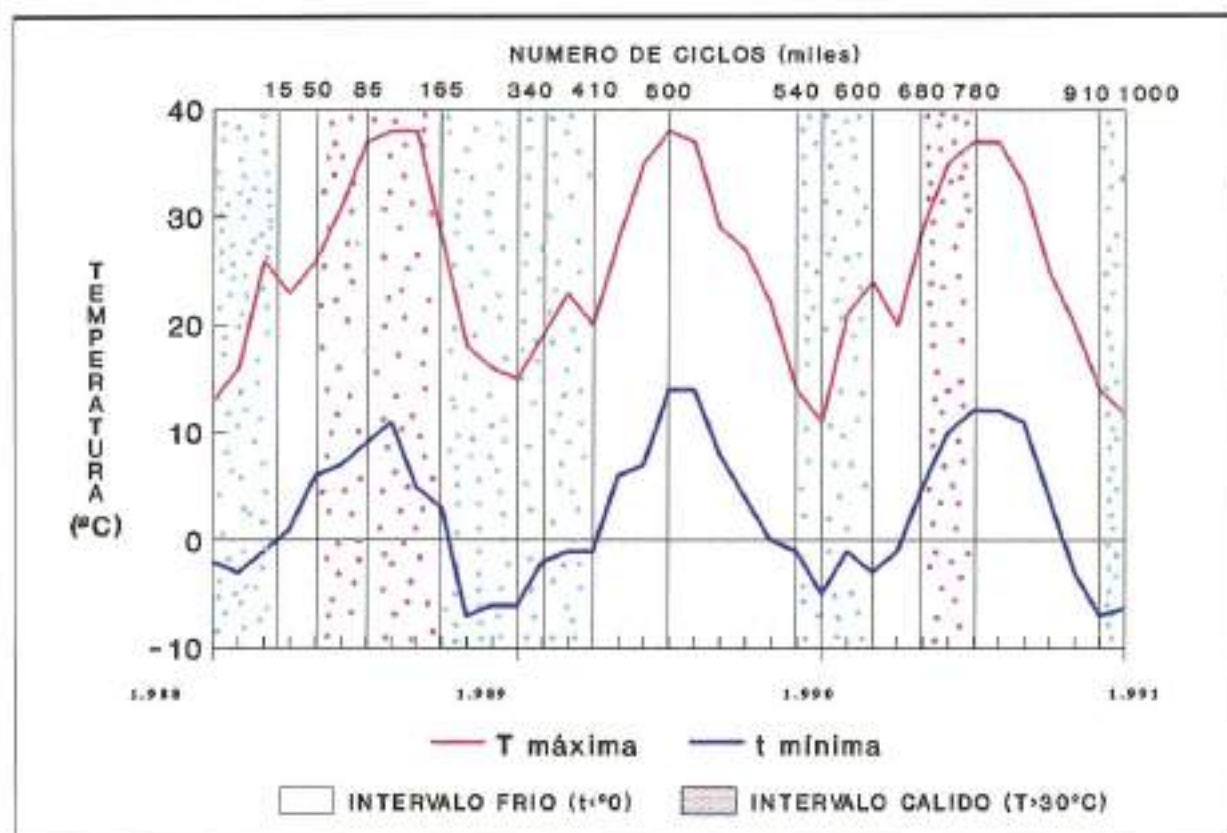


FIGURA 12. Relación entre distribución mensual de temperaturas y los intervalos de ciclos de carga.

7. EVOLUCION DE LA PENDIENTE DEL PERFIL

Los valores medios obtenidos durante el ensayo del parámetro DPM, representados gráficamente con los ciclos de carga, forma la figura 14. Del análisis de esta gráfica se deduce que, aunque el valor de DPM aumenta a lo largo del ensayo, no se aprecia ordenación de secciones de acuerdo con la magnitud de DPM. Es decir, no parece existir relación entre DPM y el espesor de mezcla bituminosa de cada sección, y los valores de este parámetro no son mayores en ninguna de las dos secciones tipo en comparación con la otra.

En consecuencia, no es posible establecer, a partir de los valores obtenidos, un criterio de fallo suficientemente fiable para el parámetro DPM.

8. REGULARIDAD TRANSVERSAL EN LOS TRAMOS CURVOS

En los tramos curvos de la pista se han medido los perfiles transversales en tres auscultaciones, las correspondientes a los ciclos 15.000, 450.000 y 500.000. Sobre los perfiles medidos se han calculado los mismos parámetros que para las secciones de ensayo. Los valores medios de estos parámetros se presentan en la tabla 4.

PARAMETRO	CICLO 450.000		CICLO 500.000	
	M	s	M	s
PRC	0,4	—	1,5	1,85
PRM	1,2	0,87	2,5	2,02
X	0,28	0,18	0,22	0,16
DRC	0,4	—	1,1	1,85
VDRC	0,1	—	2,2	—
DR	1,2	0,87	1,3	2,1
VDR	0,3	—	2,6	—

TABLA 4. Parámetros de la regularidad transversal en los tramos curvos.

M = Valor medio.
 S = Desviación típica.
 PRC = Profundidad de rodadura en el eje central (mm).
 PRM = Profundidad de rodadura máxima (mm).
 X = Posicionamiento transversal del eje donde se produce PRM (mm).
 DRC = Diferencia de PRC (mm).
 VDRC = Velocidad del deterioro de la regularidad transversal según DRC (mm 10⁻⁵ años).
 DR = Diferencia de PRM (mm).
 VDR = Velocidad del deterioro de la regularidad transversal según DR (mm 10⁻⁵ años).

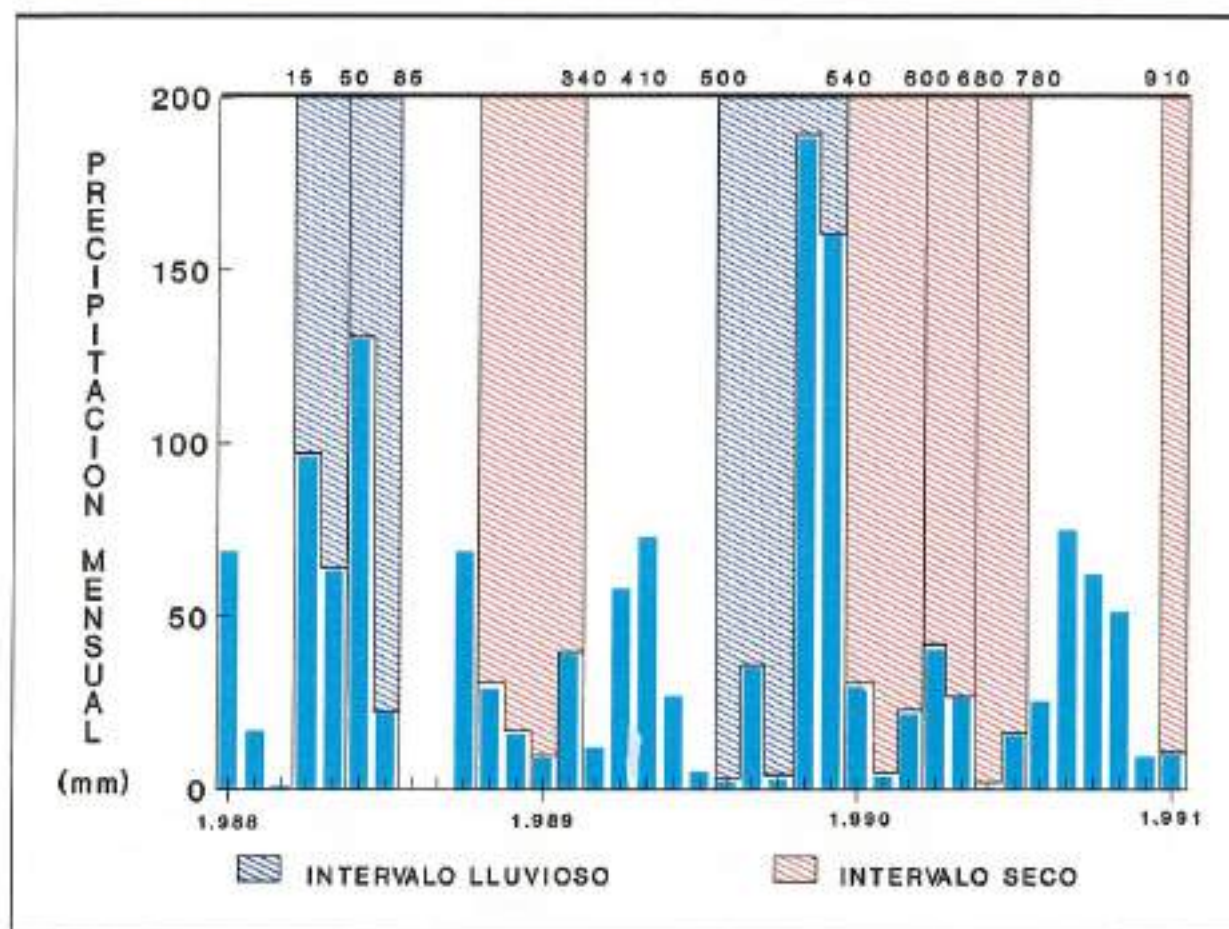


FIGURA 13. Relación entre distribución mensual de precipitaciones y los intervalos de ciclos de carga.

Las principales diferencias de esta sección respecto a las de ensayo es que la mezcla bituminosa se apoya sobre una base de hormigón, y que, debido también a esta circunstancia, el grado de compactación de las mezclas es superior.

La consecuencia es que antes del ciclo 450.000 las deformaciones producidas y la velocidad del deterioro

son mínimas. Entre el ciclo 450.000 y el ciclo 500.000 se produce un cierto deterioro de la regularidad transversal, y en ese mismo intervalo de ciclos la velocidad del deterioro aumenta fuertemente, aunque el deterioro de la regularidad transversal después de medio millón de ciclos es muy inferior al que se ha producido en las secciones de ensayo.

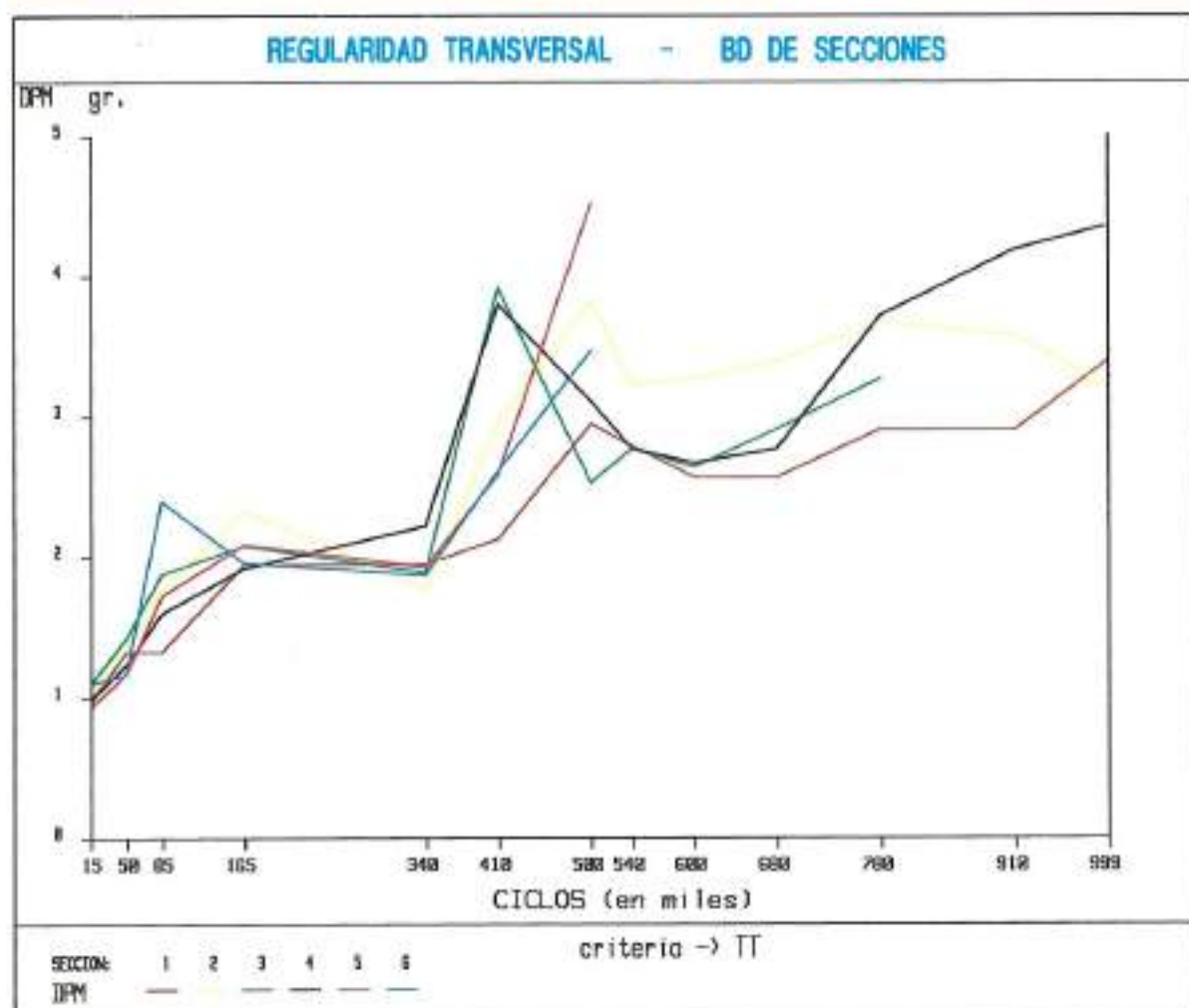


FIGURA 14. Evolución, con el número de ciclos de carga, del parámetro DPM.

Sólo una rigurosa metodología SISTEMAS+CONTROL +AUDITORIA asegura la calidad de una obra

*En FCC lo sabemos
por mentalidad y por experiencia.*

*En Fomento de Construcciones y
Contratas, S.A. somos conscientes
que el aseguramiento de la
calidad de nuestras obras requiere
una rigurosa metodología de
aplicación de sistemas, tanto del
proceso como del producto. Un
programa que debe ser diseñado,
controlado permanentemente,
auditado en todas sus fases y
mantenido al día por un
importante equipo de rigurosos
profesionales especialistas.*

*Hace ya tiempo que en FCC
hemos establecido programas de
aseguramiento de la calidad en
cada fase de la obra, basados en
el autocontrol y en la auditoría,
lo que nos exige una innovación
y especialización constantes.*



FOMENTO DE
CONSTRUCCIONES Y CONTRATAS, S.A.

Responde a los compromisos de calidad más exigentes



TABLA 1. Clasificación de las señales de mensaje variable.

2. CARACTERISTICAS VISUALES DE LAS SEÑALES DE MENSAJE VARIABLE

Para que una señal pueda comunicar su mensaje a los conductores debe ser percibida adecuadamente bajo una variedad de condiciones visuales. La **visibilidad** de la señal, su **legibilidad** y la **comodidad** visual con la que su imagen es captada por el conductor nos indicarán la aptitud de la SMV para cumplir su cometido.

2.1. VISIBILIDAD

La visibilidad describe lo perceptible que es la señal, y su capacidad para atraer la atención del automovilista.

Esta propiedad depende del contraste de brillantez entre la señal y el medio ambiente que la rodea, y por tanto está influenciada por las condiciones de luminosidad existentes en cada momento. Dado que estas condiciones varían según sea de día o de noche, y según los ángulos de incidencia de la luz solar sobre la cara de la señal, habrá que averiguar para cada tipo de SMV cuál es la situación más desfavorable y comprobar si en ella se cumplen los requisitos mínimos.

Actualmente no existe ninguna regla empírica comúnmente aceptada que sirva para determinar la visibilidad mínima necesaria de una SMV, por lo que se suele tomar un valor del lado de la seguridad, equivalente al doble de la distancia de legibilidad seleccionada. Con ello se pretende que una vez que el conductor advierta la presencia de la señal, tenga tiempo suficiente para dedicarse a otras tareas de conducción antes de pasar a leer el mensaje.

Recientes estudios realizados con el fin de determinar la visibilidad de varios tipos de señales bajo distintas condiciones luminosas han llegado a las siguientes conclusiones:

1. Con luz diurna de mediodía todos los tipos de señales presentan, en general, una visibilidad suficiente.
2. Durante la noche las señales reflectantes tienen problemas de visibilidad por lo que necesitan iluminación externa. Aún con este tipo de ayudas su visibilidad nocturna es bastante menor que la de las señales emisoras de luz (LEDs y fibra óptica principalmente).
3. La condición de luminosidad más crítica en cuanto a la visibilidad se produce cuando la luz del sol incide en la parte trasera de la señal, dando directamente en la cara del conductor. Todos los tipos de señales, tanto las de tipo reflectante como las emisoras de luz, tienen dificultades en cumplir los requerimientos mínimos de visibilidad en estas condiciones.
4. Cuando la luz del sol incide directamente en la cara de la señal, la visibilidad de las señales excede, en general, el umbral límite, superándolo ampliamente en los casos de señales emisoras de luz (LEDs y fibra óptica).

2.2. LEGIBILIDAD

La **distancia de legibilidad** de una señal determinada es la máxima distancia desde la cual el conductor es capaz de leer el mensaje de esa señal.

A) Factores que afectan a la legibilidad. Los factores que

afectan a la legibilidad, sobre los que se puede actuar y que pueden ser controlados, son el **contraste de brillantez** entre la leyenda y el fondo de la señal, el **tamaño** y la **anchura de trazo** de las letras, y el **tipo** de alfabeto y **estilo** de los caracteres. A continuación se explica la influencia de cada uno de ellos.

1. **Contraste de brillantez.** El contraste de brillantez entre el fondo y la leyenda de la señal tiene una gran influencia sobre la legibilidad de los caracteres. En las señales reflectantes el índice de contraste viene dado en función de reflectancias relativas del fondo y de la leyenda de la señal y se calcula como sigue:

$$\text{Contraste (\%)} = 100 \cdot \left[\frac{R_F - R_L}{R_F} \right]$$

siendo:

R_F - reflectancia del fondo
 R_L - reflectancia de la leyenda

Cada color tiene una reflectancia propia con respecto a un color patrón (blanco del óxido de magnesio). Se deberán usar combinaciones de colores que den un índice de contraste superior al 40 % para uso diurno y del 50 % para uso nocturno. Estas combinaciones de colores deben además ser compatibles con las propuestas en la Convención de Viena.

En las señales que emiten luz el contraste de brillantez entre el fondo y la leyenda depende directamente de la brillantez de la fuente luminosa y del color de la luz emitida. Los colores oscuros necesitan mayor brillantez que los claros para una misma distancia de legibilidad.

En este tipo de señales el contraste de brillantez es menor cuando funcionan con luz diurna, en especial cuando el sol brilla directamente en la cara de la señal (situación crítica), produciéndose un efecto indeseable de pérdida de contraste. Para reducirlo se montan pantallas especiales antibrillo en la cara de la señal.

1. **Tamaño.** El tamaño de las letras influye en la distancia de legibilidad del mensaje de una señal más que ningún otro factor. En las señales convencionales de circulación para conocer esta última magnitud en función del tamaño de los caracteres se utiliza la regla empírica siguiente: «la distancia de legibilidad de una señal debe ser al menos de 6 metros por cada centímetro de altura de letras». Esta regla se puede aplicar solamente a las SMV que tienen la misma apariencia que las señales estáticas (señales de paneles con bisagras, prismas giratorios, láminas de corredera). En las SMV de matriz y en todas las que emiten luz, las distancias de legibilidad no son muy conocidas y dependen de muchos factores, requiriendo cada uno de estos tipos de señal estudios especiales. En la tabla 2 se muestran los resultados de un estudio reciente publicado por el Transportation Research Board en el que se comparan las distancias de legibilidad en función de la altura de

letra y en distintas condiciones de luminosidad, de varias tecnologías de SMV.

3. **Anchura de trazo.** La anchura de trazo de las letras es importante en las SMV en las que las figuras se forman a partir de puntos, como ocurre en todas las señales de matriz, tanto reflexivas como emisoras de luz, y en las de fibra óptica.

En las señales de matriz la anchura de trazo suele equivaler al tamaño del elemento tipo, ya sea éste un disco reflectorizado o una lámpara o reflector, pues la letra se suele formar con una columna o fila simple de estos elementos. A veces se pueden desplegar caracteres de trazo doble o triple, aunque esto no ha dado buenos resultados.

En cuanto a las señales de fibra óptica cabe decir que los mensajes alfanuméricos hechos con una sola línea de puntos muy juntos entre sí parecen ser más legibles que los que están formados por puntos más espaciados en trazos más anchos. Sin embargo, para mensajes con símbolos, lo mejor es un trazo ancho con una gran densidad de puntos.

4. **Alfabeto y estilo de los caracteres.** La mayoría de las señales de matriz están limitadas a presentar los mayores tamaños de letras. La disposición de los discos y bombillas hace difícil formar letras de tamaños más pequeños. Esto es especialmente cierto en letras con lazos como la «g» o la «q». Hay que hacer hincapié en el tipo de emparrillado usado para formar las letras en las señales de matriz. Lo mejor es un emparrillado de 7 x 5 con letras verticales, aunque a veces se utilicen emparrillados de 7 x 4 o letras inclinadas.

En cuanto al estilo de letra, su elección debe basarse en dos criterios: maximizar la distancia de legibilidad y minimizar las confusiones entre distintos caracteres. Han dado buenos resultados estilos con letra cuadrada.

8) Distancias de legibilidad de diferentes tipos de señales.

Una señal debe ser legible desde una distancia tal que el conductor viajando a la típica velocidad de recorrido tenga tiempo suficiente para leer el mensaje. Esta condición, en función del tipo de vía, nos dará la distancia de legibilidad mínima que debe tener la señal, y a partir de ella se podrá calcular el tamaño que deben tener los caracteres del mensaje. Sin embargo, aquí es donde surge el problema, pues como ya se ha mencionado anteriormente, las distancias de legibilidad de los diferentes tipos de SMV no son muy conocidas, precisándose para cada una de las tecnologías estudios particulares.

En la tabla 2 aparecen los resultados de una reciente investigación al respecto publicada por el Transportation Research Board (EE.UU.). En ella se comparan las distancias de legibilidad en función de la altura de la letra y para distintas condiciones de luminosidad, de tres de los sistemas más utilizados de SMV (discos electromagnéticos bistables, fibra óptica y LEDs) con la de las señales convencionales de circulación. A la hora de examinar los resultados hay que tener en cuenta que estas últimas tenían mensajes familiares para los con-

CONDICIONES DE LUMINOSIDAD	TIPOS DE SEÑALES			
	FIBRA OPTICA	LEDs	DISCOS ELECTROMAGNETICOS BIESTABLES	SEÑAL (1) CONVENCIONAL
MEDIODIA	733	501	466	800
NOCHE	506	468	237	684 (2)
SOL INCIENDO EN PARTE TRASERA DE LA SEÑAL	491	339	146	420
SOL INCIENDO EN LA CARA DE LA SEÑAL	636	329	280	829

TABLA 2. Distancias de legibilidad de diferentes tecnologías de señalización.

Los valores que se muestran en la tabla corresponden a la media aritmética de las observaciones (porcentaje del 50 %) y expresan la relación:

DISTANCIA DE LEGIBILIDAD

ALTURA DE LETRA

(1) Las señales convencionales tienen letras blancas sobre fondo verde.

(2) Las señales convencionales poseen iluminación externa.

(Transportation Research Board)

ductores, al contrario que las SMV, por lo que su distancia de legibilidad puede ser algo menor que la mostrada.

Teniendo en cuenta este estudio y otros similares se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Las señales de fibra óptica son las SMV que tienen mayor distancia de legibilidad bajo las distintas condiciones luminosas.
- De noche, tanto las señales de fibra óptica, como los LEDs y las convencionales con iluminación externa



FOTO 1. Señal de discos electromagnéticos biestables.



FOTO 2. Señales de fibra óptica.

- Las SMV de discos electromagnéticos biestables sólo proporcionan una distancia de legibilidad adecuada en condiciones de alta luminosidad ambiente (mediodía), por lo que no se recomienda su uso.
- Las SMV de LEDs tienen una distancia de legibili-

dad aceptable en general, aunque a veces se pueden dar problemas de pérdidas de contraste cuando los rayos del sol inciden en la cara de la señal.

- Las menores distancias de legibilidad se dan, normalmente, cuando el sol incide en la parte trasera de la señal, y por tanto en la cara del conductor.



FOTO 3. Señal de LEDs.

2.3. COMODIDAD VISUAL

La comodidad visual con la que es percibida la señal por el conductor depende principalmente del esfuerzo que debe realizar éste para acomodar su visión a la brillantez de la señal, y de que se produzcan reflexiones de la luz en la cara de la señal que puedan resultar molestas.

El automovilista, durante el proceso de la conducción, adapta su visión a la luminosidad del medio ambiente. Debido a esto cuanto mayor sea la diferencia entre la brillantez de la señal y la del entorno, mayor esfuerzo de adaptación deberán realizar los ojos del conductor, y por tanto la incomodidad visual que se le causa será mayor.

Durante la noche una señal emisora de luz puede parecer demasiado brillante frente a la gran oscuridad del entorno, lo que ocasionará un gran esfuerzo de acomodación. De igual forma, después de sobrepasar la señal, el ojo se deberá adaptar otra vez a la oscuridad. Este proceso dura un tiempo, durante el cual el conductor no puede ver lo suficientemente bien, y por tanto se sentirá incómodo. Para evitar estos problemas las señales emisoras de luz suelen llevar un mecanismo fotoeléctrico de control que reduce la intensidad de la luz emitida en ambiente nocturno.

El mismo tipo de problema, pero al contrario, se da cuando el sol incide en la parte trasera de la señal y por tanto en los ojos del automovilista (condiciones de gran luminosidad en el ambiente), y éste tiene que leer el mensaje de una señal reflectante en la que el fondo sea oscuro, como son las SMV de discos electromagnéticos biestables. En estos casos los conductores tendrán dificultades para leer el mensaje y les parecerá que las letras contrastan poco con respecto al fondo.

Las reflexiones que se producen cuando los rayos del sol o la luz de los faros de los automóviles inciden en la cara de la señal, y que se dirigen a los ojos del conduc-

tor, son la otra gran fuente de problemas de incomodidad visual. Se ha observado que esta reflexión se experimenta con mayor frecuencia en las señales que llevan instaladas pantallas transparentes antibrillo para reducir pérdidas de contraste, como suele ocurrir en las SMV de LEDs y discos electromagnéticos biestables.

3. MODOS DINAMICOS DE PRESENTACION DEL MENSAJE

En algunos tipos de SMV los mensajes pueden ser desplegados de forma dinámica para atraer la atención del conductor y ayudar a su mejor comunicación. A continuación se explican los modos más usuales de presentación dinámica de mensaje:

Destellamiento (flashing): Consiste en encender y apagar rápidamente (destellar) uno o más elementos del mensaje. A veces es deseable destellar ciertas palabras mientras otras permanecen estacionarias. Se usa para atraer la atención del conductor a la señal, o para enfatizar la urgencia del mensaje (advertencia de peligros potenciales). Este modo dinámico es muy usado en señales de fibra óptica y matrices de lámparas de incandescencia y LEDs.

Secuenciamiento (sequencing): Se refiere a presentar el mensaje en elementos dentro del mismo espacio de señal. Se divide el mensaje en partes (chunking) y cada parte es mostrada en orden durante un cierto periodo de tiempo. Así los elementos del mensaje son secuenciados en la señal. Normalmente este modo dinámico se utiliza para mensajes alfanuméricos en señales de matriz, dividiéndose el mensaje en dos, tres o, como mucho, cuatro fases secuenciadas (ver figura 1).

En movimiento (run-on): Presenta el mensaje como un tren de palabras moviéndose continuamente a través del display de derecha a izquierda (los fabricantes también

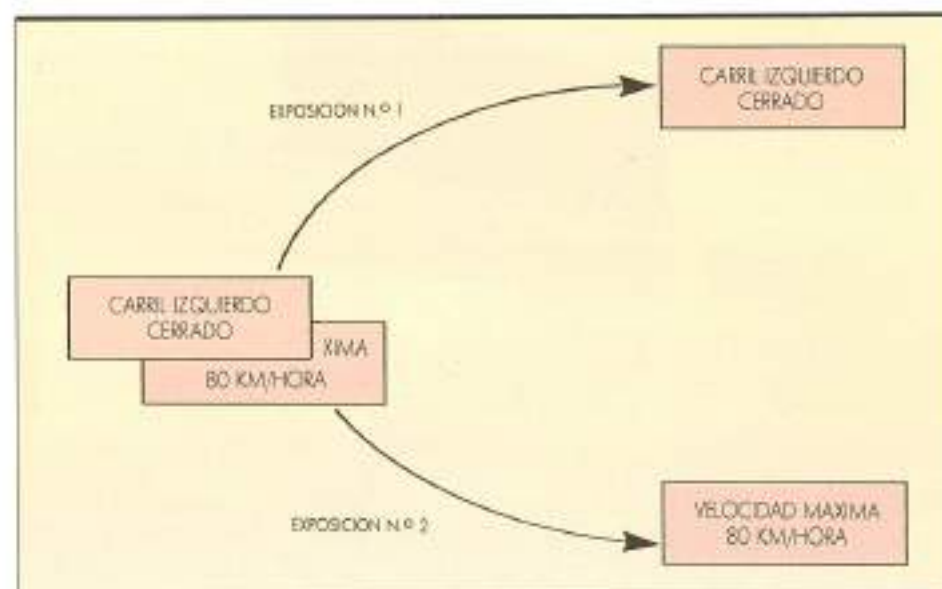


FIGURA 1. Display secuencial.

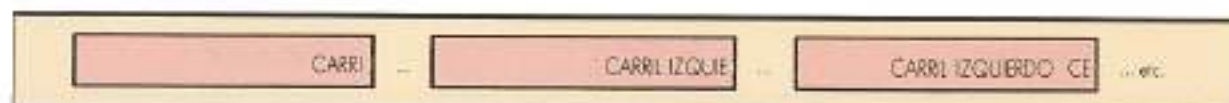


FIGURA 2. Display en movimiento.

los llaman mensaje en movimiento, o mensaje continuo) (figura 2).

En escritura (write-on): En vez de presentar una línea entera de mensaje a la vez, las letras y palabras aparecen rápidamente de una en una, como en secuencia de escritura (y lectura) hasta que el mensaje esté desplegado. Normalmente lleva un segundo el cambiar una línea de 20 caracteres. Este modo se utiliza en matrices de discos electromagnéticos para atraer la atención del conductor.

Enrollado (rolling): Se despliegan líneas completas de mensaje que se mueven de arriba a abajo en toda la altura de la señal (como la lista de actores en una película).

4. CONSUMO DE ENERGÍA

El consumo de energía es un elemento importante de los costes de explotación de un sistema de señales de mensaje variable. Las necesidades de suministro energético para una SMV se deben a los siguientes factores:

- Operaciones de cambios de mensaje (en las SMV de tipo mecánico).
- Funcionamiento de la señal (en las SMV de tipo luminoso).

y opcionalmente, en algunas SMV de tipo mecánico:

- Iluminación externa cuando las condiciones de luminosidad ambiente así lo requieran.
- Calentamiento y ventilación necesarios para evitar que el hielo o la nieve afecten a los mecanismos de rotación o deslizamiento, o prevenir la formación de condensaciones que no dejen ver nítidamente el mensaje en señales cerradas.

En la tabla 3 aparece una comparación de los consumos aproximados de diferentes tipos de señales. Una vez conocidos el tamaño y las características de la señal que se desea instalar conviene consultar a los fabricantes para estimaciones más precisas.

Normalmente la alimentación de los equipos se realiza mediante una línea de corriente eléctrica con su correspondiente acometida, aunque se está ensayando el empleo de paneles solares y baterías como alternativa, en el caso de que no exista la correspondiente infraestructura eléctrica.

5. TÉCNICAS DE INTERCONEXIÓN

Los sistemas de SMV requieren un enlace de comunicación entre la oficina de control central y cada una de las señales que permita efectuar la transmisión de los datos necesarios para llevar a cabo el control de las mismas.

El medio de transmisión de datos es generalmente de una de estas tres clases: cable propio (directo), líneas alquiladas o radioenlace.

Sistema de cable propio. Proporciona una conexión directa entre el centro de control y la señal. El cable, de calidad de grado de voz, está enterrado a lo largo de la carretera (en la mediana o márgenes), o colgando de postes. Para la mayoría de los sistemas puede usarse un torzal de doble cable. En los casos en que se controle un gran número de señales se usa un cable coaxial. El coste inicial de la instalación eléctrica entre el centro de control y la señal puede ser alto, dependiendo de factores tales como el número de pares necesarios para transmitir datos, la distancia y el terreno.

En los últimos años se ha comenzado a utilizar cables de fibra óptica como medio de conexión. Esta técnica tiene como ventajas la mayor capacidad y velocidad de transmisión de datos, la menor atenuación de la señal, la ausencia de interferencias y el poco peso del cable. Las desventajas provienen del hecho de que se trata de una tecnología aún en desarrollo, que requiere complejos sistemas de emisión y recepción de datos, y un personal de mantenimiento especializado.

Líneas alquiladas. La interconexión con líneas alquiladas es muy común, debido principalmente a que los costes iniciales son mucho menores que en el caso de cable propio, y a que en teoría no hay limitación de distancia. Normalmente se usan líneas de grado de voz de la compañía Telefónica, y en la actualidad también se ha comenzado a utilizar las líneas de las compañías de televisión por cable (CATV). Las desventajas de la conexión con líneas alquiladas tienen que ver con la dependencia de la compañía titular de las líneas en costes, explotación y mantenimiento.

Las líneas telefónicas pueden ser convencionales o acondicionadas. En las convencionales el organismo que explota el sistema recibe la misma calidad de servicio que el público general, lo que puede ocasionar problemas por reducción de amplificación de la señal o pérdida de servicio. Las líneas acondicionadas son más caras pero proporcionan un servicio de calidad mayor.

Los sistemas que utilizan las líneas de televisión por cable deben costear inicialmente la conversión del cable de comunicación unidireccional normalmente usado por estas compañías en uno de comunicación bidireccional, indispensable para el control del tráfico.

Sistema de radio. Los enlaces radioeléctricos basados en la propagación de las ondas electromagnéticas en el espacio libre pueden ser utilizados como medios de transmisión a gran distancia, compitiendo con los cables coaxiales.

TIPO DE SEÑAL	POTENCIA REQUERIDA (kw)	DESCRIPCION
CONVENCIONAL	0	
BALIZAS DESTELLANTES	0,1-0,2	
NEON	0,2	8 letras de 25 cm de altura
LUZ DE FONDO (blank-out)	3-4	1 m ² de área iluminada
FANEALES CON BISAGRAS	0,4 0	durante el cambio de cara otras veces
CINTA ENROLLABLE	0,2 0,15-0,35 0,4-1,2	durante cambio de mensaje iluminación interna calentamiento (si fuera necesario)
PRISMAS GIRATORIOS	0,5-1,0 0,15-0,35 0,3-1,0	durante cambio de cara calentamiento de cada tambor (si fuera necesario) iluminación externa
MATRIZ DE PLAQUETAS ELECTROSTATICAS	0,03-0,1 0,1-0,4	control de la señal iluminación externa
MATRIZ DE DISCOS ELECTROMAGNETICOS	0,7 0,6	control de la señal y calentamiento o ventilación iluminación externa
FIBRA OPTICA	0,10-0,13	2 lámparas halógenas
MATRIZ DE LAMPARAS DE INCANDESCENCIA	0,011-0,015 2,0-5,0	cada bombilla línea típica
MATRIZ DE LED:	1,2 0,35-0,40 0,030-0,035	1 m ² área total línea típica cada carácter

TABLA 3. Necesidades de energía de los diferentes tipos de señales.

El coste del consumo energético anual vendrá dado por la fórmula:

$$\text{COSTE ANUAL} = (\text{POTENCIA requerida (Kw)}) \times (\text{N.º HORAS operación al año}) \times (\text{COSTE por Kw-h.})$$

La característica diferenciadora de este medio de transmisión es que sólo precisa medios físicos en los puntos de origen y destino (estación transmisora y receptora), aparte de un número indeterminado de estaciones repetidoras, dependiendo de la distancia entre terminales y de la orografía de la ruta que los une.

La comunicación a distancia por radio frecuencia es ofrecida por varios fabricantes y tiene anchos de banda adecuados para acomodarse a todos los tipos de señales. Generalmente funciona en las bandas de frecuencia estándar aunque pueden ser diseñados para operar en las frecuencias utilizadas para el mantenimiento de la autopista. La comunicación con la señal es conseguida por modulación de frecuencia (FSK).

Las ventajas de este sistema de interconexión son que requieren menos obra civil, su mayor flexibilidad e independencia (si un elemento no está operativo los demás no ven alterada su actividad, a menos que el fallo se produzca en un repetidor). Sus inconvenientes provienen del hecho de que el comportamiento del medio no es

homogéneo, viéndose afectado por las condiciones atmosféricas, estaciones del año, hora de emisión, etc. Otra desventaja es que el mantenimiento es más complicado, ya que el número de equipos electrónicos es mayor.

6. ALMACENAMIENTO DE LOS MENSAJES

Todas las señales de mensaje variable requieren algún sistema de control de almacenamiento de los mensajes. Estos sistemas pueden ser agrupados en tres categorías:

- Almacenamiento de mensajes prefijados.
- Almacenamiento de mensajes variable.
- Almacenamiento mixto.

A continuación se explican las categorías principales de cada una de las categorías:

6.1. ALMACENAMIENTO DE MENSAJES PREFIJADOS

En los sistemas de almacenamiento de mensajes prefijados las señales solamente pueden desplegar un número

de mensajes preseleccionados. Los mensajes estarán contenidos dentro de la señal o en sus circuitos (matrices). Una vez diseñados los mensajes en el sistema, no pueden mostrarse otros mensajes, a menos que se cambie la señal o su electrónica.

Todos los tipos de señales de mensaje variable pueden ser diseñados para desplegar un cierto número de mensajes prefijados dentro de ellas.

Hay ciertas clases de SMV que se diseñan solamente para almacenamiento de mensajes prefijados, como son las señales de paneles con bisagras, prismas giratorios, láminas deslizantes, cinta enrollable, balizas destellantes, luz de fondo (blank-out), tubos de neón y fibra óptica.

Las señales de matriz, ya sean éstas de tipo electromecánico (discos, láminas o plaquetas) o del tipo totalmente eléctrico (lámparas de incandescencia o LEDs), pueden ser diseñadas con capacidades de almacenamiento de mensajes prefijados, con almacenamiento variable o una combinación de los dos.

Para reemplazar los mensajes por otros nuevos en las señales de almacenamiento prefijado se procederá según las características de la señal:

- Señales de luz de fondo (blank-out): instalando una nueva cara de plexiglás con los mensajes recortados.
- Señales de tubos de neón: cambiando los tubos por otros nuevos de forma diferente.
- Señales de cinta enrollable: cambiando la cinta.
- Señales de prismas giratorios: reemplazando los paneles montados en el tambor por otros nuevos.
- Señales de fibra óptica: modificando las posiciones de los extremos de las fibras conductoras de la luz en la placa frontal.
- Señales de balizas destellantes y paneles con bisagras: cambiando la cara de la señal.
- Matrices con mensajes prefijados: los mensajes son precodificados en cartas de circuitos impresos diseñando unidades ROM (Read Only Memory) o introduciendo un nuevo mensaje en una nueva unidad ROM (Programmable Read Only Memory) o EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory). El número de mensajes disponible es fijo. Reemplazar uno de los mensajes existentes requiere el quitar la ROM, PROM o EPROM existente y reemplazarla, o el reprogramar la EPROM.

6.2. ALMACENAMIENTO DE MENSAJES VARIABLES

Los sistemas de almacenamiento de mensajes variables son aquellos en los cuales los mensajes son guardados en la memoria del ordenador. Los mensajes almacenados pueden ser «borrados» de la memoria y reemplazados por otros a través de la consola del operador que es parte del sistema de control.

Este tipo de almacenamiento se puede utilizar solamente en señales de matriz y tiene una considerable versatilidad tanto en el número de mensajes disponible

como en la manera de presentación del mensaje (modos dinámicos).

El tipo y el número de mensajes diferentes que pueden mostrarse están limitados solamente por las características físicas del display, del equipo periférico del sistema y del software de control.

Normalmente, los sistemas corrientes en explotación tienen capacidades de almacenamiento de hasta 160 mensajes para un rápido acceso.

6.3. ALMACENAMIENTO MIXTO

Algunos sistemas modernos tienen un almacenamiento combinado entre el fijo y el variable. En efecto, su capacidad de almacenamiento es la de uno variable y además tienen la simplicidad de un sistema de almacenamiento de mensajes fijos para controlar *in situ* mensajes preseleccionados en caso de fallo del sistema.

7. SISTEMAS DE CONTROL

Los sistemas de señalización variable para gestión del tráfico o información a los conductores son sistemas que se basan en el funcionamiento conjunto de una vigilancia electrónica por sensores, unos ordenadores y unas señales de mensaje variable (SMV) instaladas en la vía (ver figura).

Los ordenadores centrales desempeñan las siguientes funciones:

- Procesamiento de los datos recogidos por los sensores en la carretera.
- Exposición de la información de las características del tráfico a los operadores.
- Almacenamiento de los mensajes de las SMV y demás hardware del sistema.

Y en algunas instalaciones:

- Cambiando automáticamente los mensajes de las SMV.

La tendencia actual en este tipo de sistemas es el situar microordenadores en el emplazamiento de cada señal para tener más inteligencia en el campo. Este planteamiento permite el ahorro de considerables costos de transmisión, particularmente cuando el sistema se extiende a lo largo de muchos kilómetros. Otros beneficios asociados son la facilitación de las operaciones de mantenimiento y la posibilidad de cambiar *in situ* los mensajes de las señales en casos de emergencia.

7.1. CONTROL DE LA SEÑAL

Su función principal consiste en desplegar o cambiar los mensajes de las SMV. Estos mensajes pueden estar contenidos en la misma señal, o ser introducidos en ella después de su programación.

El proceso que se sigue es el siguiente: junto a cada señal se encuentra el «controlador de señal» correspondiente, que es el mecanismo que gobierna su funcionamiento. El ordenador central, que generalmente posee un sistema de almacenamiento de mensajes varia-

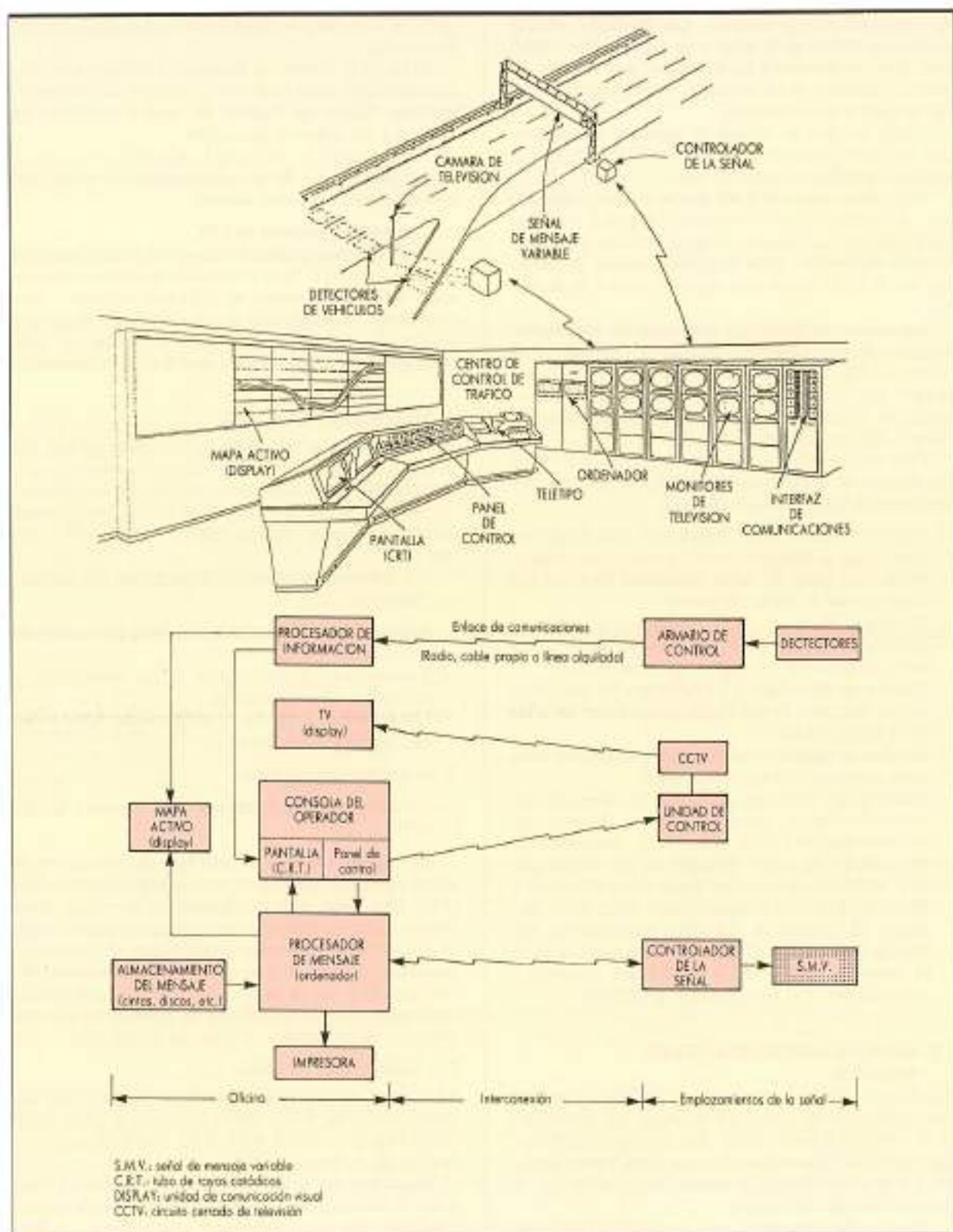


FIGURA 3. Relación entre los componentes de un sistema de señales de mensaje variable.

bles, recibe la orden desde la consola del operador, procesa la información y la envía al «controlador de señal» correspondiente, indicándole qué mensaje debe desplegar la señal, y de qué modo debe hacerlo. El controlador recibe la petición y consecuentemente activa la señal (figura 3).

El cambio de los mensajes en las SMV puede abordarse de tres maneras diferentes:

- Control automático por ordenador con invalidación manual.
- Control manual por teclado o teletipo.
- Control manual por pulsador con control opcional por teclado o teletipo.

Hay que distinguir entre la consola del operador para cambiar manualmente los mensajes, y el equipo usado para cambiar o reprogramar mensajes almacenados en el ordenador. En unos sistemas se usa un teclado con pantalla (CRT) o un teletipo con impresora para ambas funciones, y en otras se utiliza el teclado o el teletipo para cambiar los mensajes almacenados, y la consola con mando por pulsador para controlar los mensajes en las SMV (ver foto).

Las consolas que controlan el mensaje por mando por pulsador son muy útiles para sistemas de SMV grandes o cuando las SMV son controladas por operadores no técnicos. En horas punta, el tráfico cambia con gran rapidez y un gran número de señales deben ser cambiadas rápidamente y en sucesión, por lo que la consola de mando por pulsador es bastante necesaria.

Las impresoras del ordenador se usan para obtener listados diarios de datos tales como el volumen del tráfico, mensajes expuestos en las SMV, etc.

Los mensajes almacenados en el ordenador deberían ser cambiados solamente bajo la recomendación de un supervisor. Por consiguiente una consola con mando por

pulsador eliminaría la necesidad de que los operadores no técnicos usaran el teclado o el teletipo que sirve de entrada al ordenador. Este debería programarse también para no aceptar palabras o mensajes no autorizados.

7.2. ALARMAS DE PROBLEMAS DE HARDWARE

Los modernos sistemas llevan incorporados circuitos de verificación y software para proporcionar señales de aviso de los problemas del hardware e información del estado del mensaje.

Los controladores de señal, uno por cada señal, poseen una serie de cualidades de detección y de información de errores, y el ordenador central las utiliza para evitar el despliegue de información incorrecta o incompleta. Entre estas cualidades de seguridad de información están:

- a) contraseña de control de entrada del mensaje,
- b) supervisión del estado del mensaje por el ordenador, debido a mal funcionamiento o rotura de la línea de transmisión,
- c) verificación por repetición carácter por carácter, de todos los datos enviados a cada señal (la señal envía de vuelta cada carácter transmitido al ordenador para revisión).

Generalmente se usan paneles con luces indicadoras o códigos de colores en pantalla para proporcionar una notificación visual rápida al operador de la condición del sistema.

Los problemas más comunes suelen darse en los equipos (por pérdidas de transmisión en la línea, pérdidas de grupos de datos en un modem, cortes de energía o mal funcionamiento del equipo de entrada de datos), o en la operación de despliegue del mensaje (despliegue de mensajes erróneos, o en modo estático cuando debería hacerse en modo dinámico).

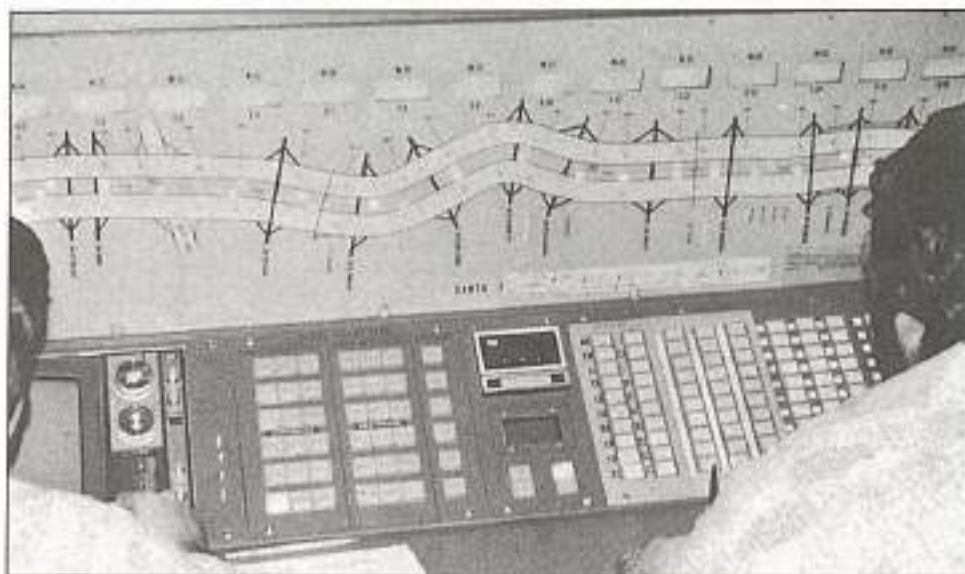


FOTO 4. Consola de control de los SMV con mando por pulsador y cuadro luminoso de estado del mensaje.

7.3. VERIFICACION DE LOS MENSAJES DE LAS SEÑALES

La transmisión inversa desde las SMV es una característica muy útil para verificar que el mensaje pedido desde el centro de control ha sido recibido en el emplazamiento de la señal y está siendo desplegado.

Las SMV con almacenamiento de mensajes prefijados, tales como los prismas giratorios, tienen posiciones cerradas o conexiones que son «percibidas» por el sistema y proporcionan verificación positiva del mensaje.

La transmisión inversa para los sistemas de almacenamiento variable, comunes en las señales de matriz, se consigue por una técnica ligeramente diferente. Los mensajes se envían a través del ordenador central al controlador de la señal situado en el emplazamiento de ésta. El ordenador interroga a cada controlador de señal para asegurarse de que ha recibido el mensaje exacto a desplegar. El controlador de la señal entonces activa la SMV en conformidad. El sistema no hace una revisión lámpara por lámpara, o disco por disco para determinar el estado de cada unidad de matriz al formar el mensaje. Este proceso sería muy caro. De todas maneras, normalmente no hay problemas debidos a que el controlador de señal despliegue mensajes erróneos. Los problemas que pueden ocurrir, aunque infrecuentes, implican un mensaje mutilado, o ningún mensaje, o que permanezca el mensaje cuando debería estar en blanco. Estos problemas son causados generalmente por cortes de electricidad entre el controlador de la señal y las lámparas o discos.

7.4. ESTADO DEL MENSAJE DURANTE LAS AVERIAS DEL SISTEMA

Este es uno de los problemas más frecuentes con los que se deben enfrentar los encargados de la explotación de los sistemas de señales de mensaje variable, y sobre el que es necesaria más investigación en términos de comportamiento humano. La tendencia actual apunta a dejar en blanco (sin mensaje) las señales, más que a desplegar automáticamente un mensaje de avería, o dejar el mensaje que estaba expuesto antes de ocurrir el fallo.

8. BIBLIOGRAFIA

- «Changeable Message Signs». NCHRP-Synthesis. Transportation Research Board, julio 1979.
- DUDEK, C. L., y HUCHINGSON, R. D. «Manual on Real-Time Motorist Information Displays», agosto 1986.
- UPCHURCH, J.; HADI BAAJ, M.; ARMSTRONG, J. D., y THOMAS, G. B. (1992). «Evaluation of Variable Message Signs: Target Value, Legibility and Viewing Comfort». Transportation Research Board.
- GOLDBY, F. J. M. «Variable Message Traffic Signs». The Journal of the Institution of Highways and Transportation, julio 1984.
- DIEZ DE ULZURRUN, J., y GARCIA RAMON, J. «Señalización variable». II Jornadas nacionales de señalización de carreteras, diciembre 1990.
- LAVIGNE, R. C. «Assessment of Changeable Message Sign Technology». Federal Highway Administration, diciembre 1986.
- LAVALLEE, P.; SIMS, D.; STEWART, S., y LAU, M. «Multi-message Fiber-optic Lane-control Signs for Freeway Applications». Journal of Transportation Engineering, noviembre/diciembre 1990.
- Informes de la 1.^a y 2.^a reunión del CEN/TC.226 WG 3:1 de «Señales de mensaje variable», en París, 24 de octubre 1990 y Roma, 5 de diciembre de 1990.
- SMULDERS, S. «Control of Freeway Traffic Flow by Variable Speed Signs». Transportation Research. Part B, abril 1990.
- TSUZAWA, M., y MOCHIZUKI, M. (1982). «Variable Information Board Employing Led». International Conference on Road Traffic signalling.
- EVERALL, PAUL F. «Urban Freeway Surveillance and Control. The State of the Art». Federal Highway Administration, noviembre 1972.
- VALDEZ, S. «Evaluation of the Adco Flip-disc Variable Message Signs». Georgia Department of Transportation, febrero 1988.
- RICHARDS, S. H., y DUDEK, C. L. (1986). «Implementation of Work-zone Speed Control Measures». Transportation Research Record 1986.
- «A New Motorway Signals». Traffic Engineering and Control, noviembre 1983.
- ATHOL, P. J. (1976). «Traffic Surveillance and Control». Transportation and Traffic Engineering Handbook.
- VALDES, A. (1982). «Control de la circulación en las autopistas». Ingeniería de Tráfico, 3.^a edición.

SISTEMAS INTEGRALES DE SEGURIDAD VIAL



ELSAMEX, SA

SERVICIOS Y ASISTENCIA TECNICA

Cedaceros, 11-2º C
28014 Madrid
Tels: 429 13 18/429 37 86
Fax: 429 03 27
Telex: 44748 EXES-E

ESPACIO DELIMITADO, SEGURIDAD ILIMITADA

100% Materia Plástica, Eficacia 100 %

Balizas flexibles. Hitos de vértice monolíticos. Pantallas anti-deslumbramiento. Hitos de arista. Barreras de obra. Seguricubos... estos productos de señalización y seguridad ampliamente implantados por toda Europa, son ideas originales de Allibert Manutención que le ofrecen una doble seguridad. Doble seguridad por las pruebas y controles a que son regularmente sometidos y por su perfecta y armónica integración en el medio ambiente. Concebida bajo conceptos de permanente innovación y sencillez en su uso, la gama Allibert aporta -desde hace más de 10 años- las más fiables respuestas a los problemas y necesidades de señalización, ofreciendo una nueva y superior calidad de vida, tanto en la carretera como en el entorno urbano.

Deseo recibir: ☐ documentación completa Allibert Departamento Señalización y Seguridad. ☐ La visita del especialista Allibert.

Se

Cargo

Actividad

Tel

Dirección

ALLIBERT

MANUTENCION

Departamento Señalización y Seguridad.

Cami Pelat, 8

Polígono Industrial Pinya de Caldes

08184 PALAU DE PLEGAMANS (Barcelona)

Tel. (93) 864 83 86* - Fax (93) 864 05 93

Telex G 1887 ALIB-E