

Efectos del agua sobre los pavimentos de carreteras (*)

Por **BARTOLOME SANCHEZ LOPEZ**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

El agua es uno de los principales factores condicionantes del comportamiento de firmes de carretera. El artículo presenta una revisión general del problema en sus distintos aspectos de proyecto, construcción y explotación.

1. INTRODUCCION

Es un hecho bien conocido que la existencia de agua influye en el comportamiento de las Obras de Carreteras y que ésto ocurre tanto cuando el agua se encuentra en estado líquido como en forma de nieve o de hielo.

El agua no influye de la misma manera en todo tipo de construcciones. En un edificio, por ejemplo, nos preocupará la impermeabilización de la terraza o el potencial de hinchamiento del terreno de apoyo; en un canal nos preocupará su estanqueidad y habrá que hacer un buen sellado de juntas, etc., pero en la carretera, el agua influye en todas estas formas y en alguna más. Hay que hacer impermeabilizaciones difíciles —piénsese en los tableros de puente—, hay que sellar juntas, tratar suelos plásticos, hinchables o heladizos, hay que realizar complicados sistemas de drenaje tanto superficiales como profundos y, además, algo que es exclusivo de este tipo de obras, mantener unas buenas condiciones de rodadura en tiempo lluvioso.

Los efectos nocivos del agua pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- Las modificaciones estructurales.
- Los cambios en las condiciones de rodadura.

Respecto a las primeras el agua es, cuando actúa sobre determinados suelos, el elemento desencadenante de la plasticidad, del hinchamiento, de los ciclos de hielo-deshielo y, en determinadas condiciones, actúa incluso como vehículo de arrastre de partículas. Todo esto condiciona la resistencia del firme.

En relación con la rodadura, el agua contribuye a la pérdida de adherencia entre el neumático y la superficie de rodadura lo que se traduce en una mayor facilidad de deslizamiento y en casos extremos en el efecto conocido como «aquaplaning». Esto condiciona la seguridad de la circulación.

Contra estos efectos no deseables del agua se actúa de tres formas distintas:

- Alejando el agua de la estructura vial.
- Utilizando en la construcción materiales lo menos sensibles al agua que sea posible.
- Construyendo y manteniendo texturas superficiales adecuadas.

Lo primero se consigue utilizando sistemas de drenaje adecuados tanto superficiales como profundos, materia que no trataremos aquí.

Los segundo constituye la parte más interesante, tanto desde el punto de vista técnico como económico de los Proyectos de Carreteras, parte que comprende la prospección de los materiales a excavar en la traza y en los yacimientos próximos, su elección y distribución en las distintas capas y a lo largo de la obra, el desecho de materiales excavados no aprovechables y la utilización, en su caso, de otros con mayores distancias de transporte.

Para la elección de los materiales que han de constituir las distintas capas se cuenta con la ayuda de los Pliegos de Prescripciones Generales y demás Instrucciones y Normas de obligado cumplimiento, pero no hay que olvidar que los valores prescritos en estos documentos son mínimos y a veces puede ser conveniente extremar las precauciones haciendo uso del Pliego de Prescripciones Particulares.

En resumen puede afirmarse que el Ingenie-

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de diciembre de 1988.

ro de Carreteras, y para contrarrestar los efectos nocivos del agua, se ve obligado a tomar una serie de precauciones que pasamos a describir y que a efecto de sistematización dividimos en dos apartados:

- Medidas contra el agua en el Proyecto.
- Vigilancia periódica en la Explotación, de especial importancia por su influencia directa en los accidentes de tráfico.

2. MEDIDAS CONTRA EL AGUA EN EL PROYECTO

En los Pliegos de Obras de Carreteras y otros documentos como Instrucciones, Directivas, etc. se fijan límites a determinadas características de los materiales utilizados con la finalidad de asegurar el buen comportamiento de los mismos. Una gran parte de estas limitaciones tienen como principal y a veces único objetivo asegurar un buen comportamiento de la estructura frente a la acción del agua. Entre estas li-

mitaciones se encuentran las siguientes:

2.1. Prescripciones relativas a la plasticidad

La pérdida de capacidad resistente de los suelos plásticos en presencia de agua es, probablemente, la causa más frecuente de deterioros en los firmes. Como las capas afectadas son las más profundas del firme las reparaciones resultan más caras y causan más molestias al usuario que los trabajos en las capas superficiales, por lo que conviene extremar el cumplimiento de la normativa.

Los Pliegos fijan valores máximos admisibles de los Límites de Atterberg y del Equivalente de Arena, Tabla 1. Este último no es propiamente un ensayo de plasticidad sino de control, subsidiario del primero, pero está universalmente aceptado en los Pliegos porque el intervalo de plasticidad en que nos movemos es el que más difícil resulta de determinar por medio del ensayo de los Límites.

TABLA 1.— PRESCRIPCIONES DEL PG-3 Y VALORES MODIFICADOS EN LA REVISION

PG - 3		L. L.	I. P.	E. A.	PASA 80 μ UNE	C. B. R.	HINCHAMIENTO
SUELOS ADECUADOS		< 40			< 35 %	> 5	< 2 %
SUELOS SELECCIONADOS		< 30	< 10		< 25 %	> 10	NULO
SUBBASES GRANULARES	TRAFICO PESADO Y MEDIO	NO	PLASTICO	} > 25	6 HUSOS	> 20	
	" LIGERO	< 25	< 6		< 8 % < 25 %		
ZAHORRAS ARTIFICIALES		NO	PLASTICO	> 30	3 HUSOS (< 15 %)		
REVISION							
ZAHORRAS NATURALES	T ₀ , T ₁ y T ₂	NO	PLASTICO	> 30	4 HUSOS { < 10 % < 15 %	> 20	
	T ₃ y T ₄	< 25	< 6	> 25	5 HUSOS { < 10 % < 18 %		
ZAHORRAS ARTIFICIALES	T ₀ y T ₁	NO	PLASTICO	> 35	2 HUSOS (< 10 %)		
	T ₂ , T ₃ y T ₄			> 30			

2.2. Prescripciones relativas a la granulometría

Las limitaciones en el contenido de finos se adoptan para facilitar la permeabilidad y, por tanto, la velocidad de evacuación de agua.

Cabe preguntarse porqué no se emplea mayor rigor en las exigencias de plasticidad y contenido de finos, pero realmente el problema de donde establecer el límite no es fácil, tanto por el sobrecosto que puede representar una ligera variación de los valores prescritos que afectan a volúmenes muy importantes, como por la dificultades de compactación de los suelos sin finos. En general puede decirse que las capas que no tienen finos y que drenan bien son difíciles de compactar y las que tienen finos se compactan bien pero no drenan.

2.3. Prescripciones relativas a la capacidad portante

Es conocido que los valores del índice C.B.R. dependen tanto de la densidad como de la humedad de compactación. Esto quiere decir que, para un mismo grado de compactación si varía el contenido de humedad varía la capacidad portante del suelo. Es lo que pasa en determinadas capas del suelo en la época de lluvias, en tanto mayor medida cuanto peor es el sistema de drenaje.

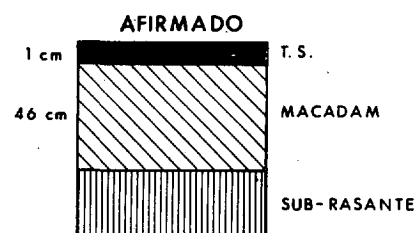
La pérdida de capacidad resistente de los firmes en las épocas húmedas se refleja muy bien en las deflexiones medidas a lo largo de todo el año, apreciándose incluso las diferencias entre años húmedos y secos.

En este sentido se han hecho experiencias en varios países con el fin de determinar la relación entre los valores de las deflexiones y la temporada húmeda o seca en que se hacen las mediciones.

La figura 1 corresponde a una experiencia española.

Se trata de unos tramos de ensayo situados en la carretera CC-100 de 40 m. de longitud cada uno, donde se midieron:

- Las deflexiones cada 2 m. cuatro medidas por sección; en total 80 puntos de medida por tramo.
- Las humedades en el borde de la calza-



PERFIL TRANSVERSAL

DESMONTE

Figura 1.

CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO DE SUB-RASANTE

T. max.	# 4	# 10	# 200	L.L.	I.P.	E.A.	P.N.	C.B.R.	% Pérdida	Coagran.	H.R.B.
3/8"	95	73	20	26	5	30	1,90	≈ 20		S.M.	A-1-b

da y a una profundidad igual a la subrasante. La humedad considerada es la media de 5 ó 6 puntos distribuidos en el tramo. Este dato no es exactamente la humedad en la subrasante, porque existe un desfase que es incluso más acentuado en los puntos de medición interiores, pero no se pudo hacer de otra forma al no disponer de la instrumentación adecuada bajo el firme.

En la figura 2 puede verse claramente la variación de las deflexiones, con las mínimas correspondiendo a los meses de agosto a octubre y las máximas a los meses de febrero a julio.

En la figura 3 se recogen las variaciones del porcentaje de humedad y del grado de saturación.

Los puntos exteriores —zona de borde de la carretera— se han mostrado, lógicamente, más susceptibles a las variaciones de humedad que los interiores, por el desfase anteriormente aludido.

En la figura 4 puede verse con más detalle esta variación que no es lineal y presenta todas las características de un ciclo de histéresis, aunque más pronunciado que lo normal por los desfases entre la humedad en el borde y la existente en la subrasante bajo los puntos de medida.

En la figura 5 se observa la relación entre las deflexiones y la capacidad portante del suelo representada por el índice C.B.R. Los ensayos C.B.R. se hicieron en laboratorio reproduciendo

EFFECTOS DEL AGUA SOBRE LOS PAVIMENTOS DE CARRETERAS

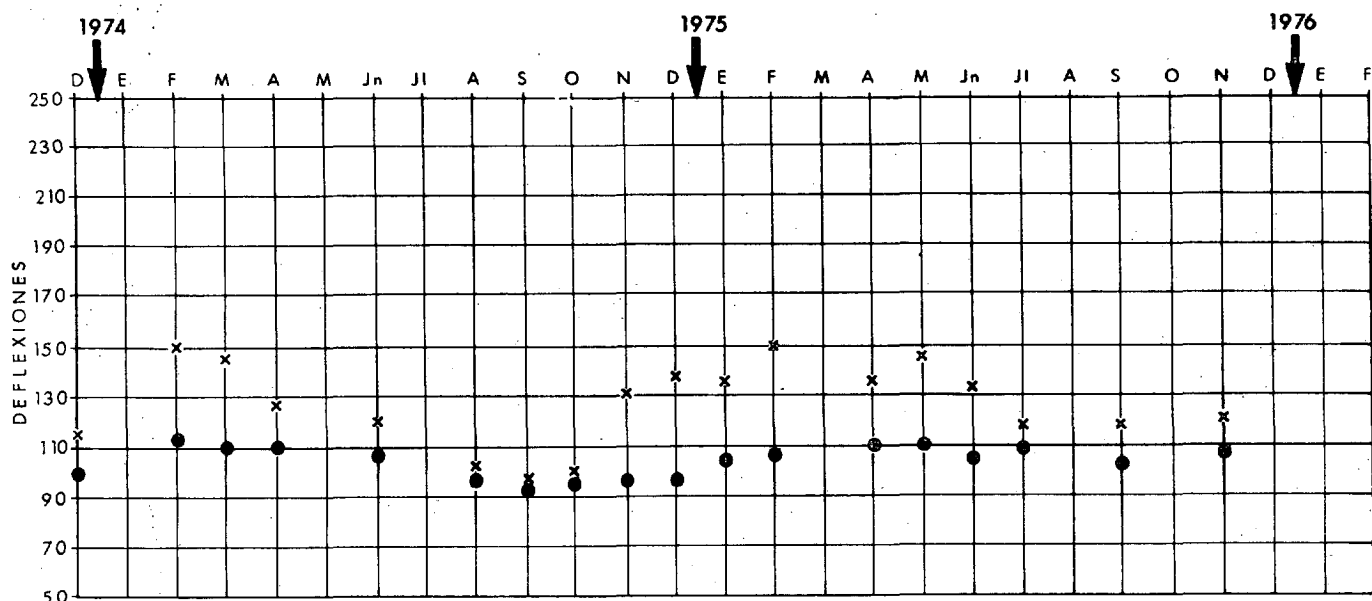


Figura 2.

x DEFLEXIONES EXTERIORES
• " INTERIORES

do las condiciones de humedad y densidad de campo y sin sumergir los moldes en agua, es decir, lo más parecido a un C.B.R. in situ, pero en el laboratorio.

La experiencia tuvo por objeto encontrar un coeficiente de correlación entre las deflexiones medidas en tiempo húmedo y tiempo seco para aplicarlo al cálculo de la deflexión caracte-

rística que se utiliza en refuerzo de firmes. Hubiera sido conveniente continuar las mediciones algunos años más hasta completar un ciclo hiperanual con años húmedos y secos, pero no se hizo, y las mediciones realizadas entre 1974 y 1977 corresponden a un ciclo seco.

Simultáneamente se realizaron mediciones parecidas en otros puntos de la península con

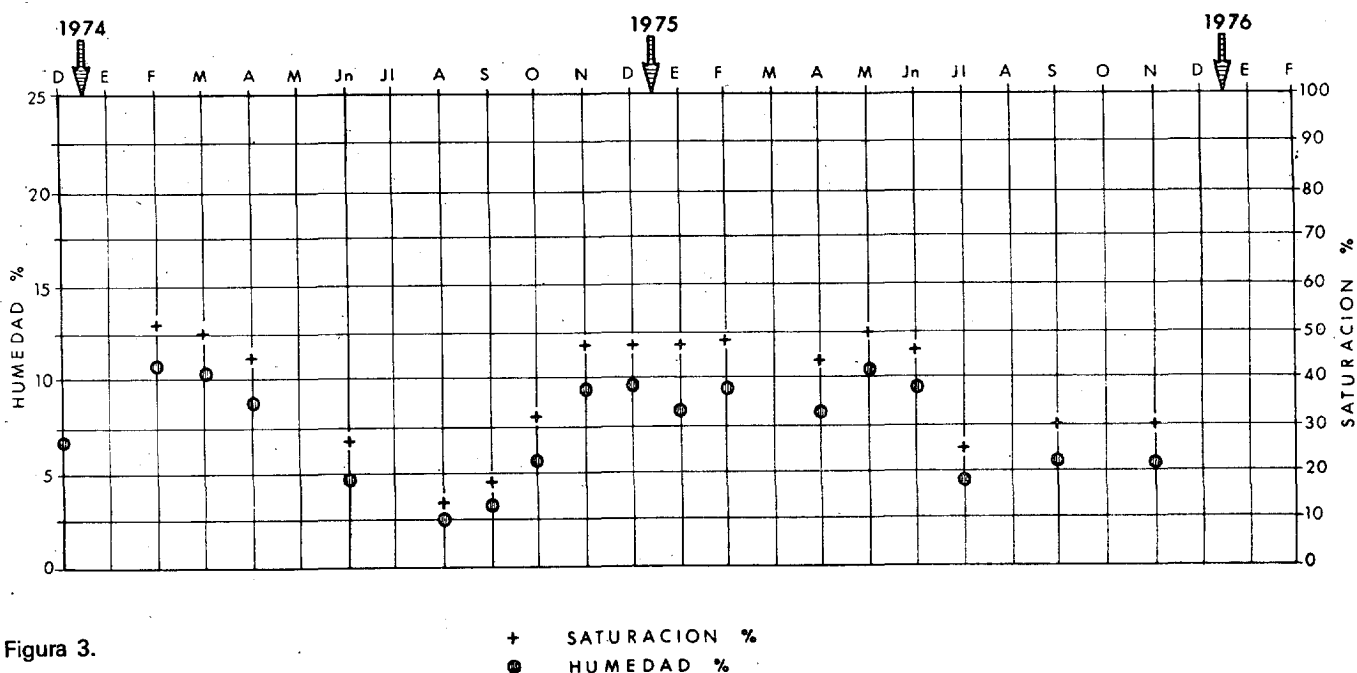


Figura 3.

+ SATURACION %
• HUMEDAD %

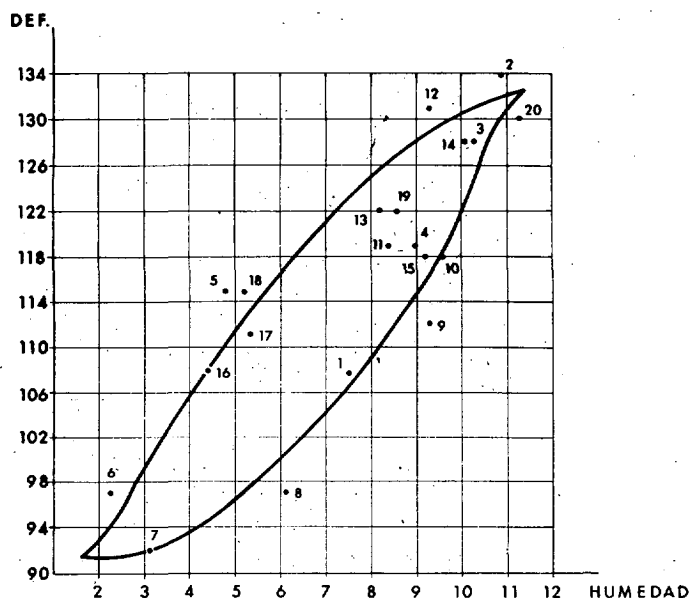


Figura 4.

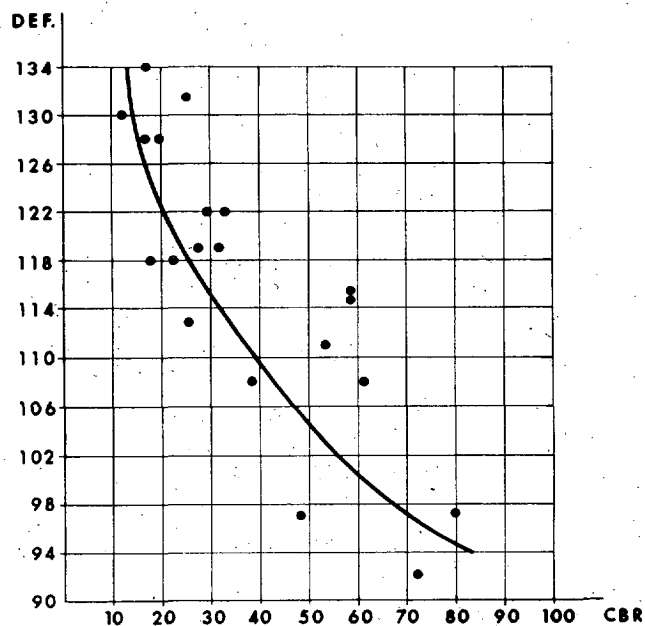


Figura 5.

2.4. Prescripciones relativas a la capacidad de hinchamiento

Las existentes en el PG-3 suponen la prohibición de utilizar suelos hinchables en la explanada.

En el cuerpo del terraplén se puede ser algo más tolerante y, a veces, incluso se han construido terraplenes con suelos hinchables, pero se requiere un cuidadoso estudio de laboratorio para averiguar cuales son la densidad y humedad de compactación más convenientes a fin de que los cambios de volumen con el agua sean mínimos.

2.5. Prescripciones relativas a la resistencia al pulimento

Son de aplicación a los áridos a emplear en capa de rodadura y con ellas se trata de impedir la utilización de áridos fácilmente pulimentables. Los límites se establecen por medio del C.P.A. (Coeficiente de Pulimento Acelerado) que se determina con el péndulo inglés del T.R.R.L. El método de ensayo ha sufrido cambios recientemente, entre otros los neumáticos han sido sustituidos por ruedas macizas. La Dirección General de Carreteras dispone ya de los nuevos aparatos en sus Laboratorios Regionales y se está revisando la Norma correspondiente.

Sólo media docena de países, entre ellos el nuestro, utilizan normas relativas a la resistencia al pulimento de los áridos.

En el Pliego español se especifican valores del C.P.A. > 0,40 o 0,45 dependiendo del nivel de tráfico. En comparación con los valores de otros países son los más bajos de todos.

El valor más alto corresponde a Holanda en donde se exige un C.P.A. > 0,65 en aquellos puntos donde existe alto riesgo de accidente.

En España, sin embargo, no existen en los documentos oficiales prescripciones relativas a la resistencia al deslizamiento para la recepción de las capas de rodadura en aglomerado, lo que sí sucede en países como Alemania, Dinamarca, Italia, Japón, Suiza u Holanda, en donde se prescriben valores mínimos para el coeficiente de rozamiento longitudinal o transversal y de

diferente clima y otras en la isla de Tenerife.

No obstante la penuria de medios empleados y lo incompleto de la experiencia, se acabó adoptando unos coeficientes correctores de las medidas efectuadas en tiempo seco, con valores comprendidos entre 1,15 y 1,60 a elegir en función del tipo de explanada y de las condiciones de drenaje, que se incluyeron en la Instrucción 6.3-I.C para el Proyecto de Refuerzos.

terminaciones con el péndulo T.R.R.L., así como de capacidad superficial de desagüe.

2.6. Prescripciones relativas a la terminación de la rodadura en el hormigón vibrado

Con la misma finalidad que en el caso anterior, disponer de una rodadura segura en tiempo lluvioso, se normalizan acabados tales como la incrustación de gravilla, el decapado del mortero o el ranurado en cualquiera de sus formas. Nuestro Pliego recoge este último tipo de tratamiento, fijando dimensiones y separación de ranuras y controlando el cumplimiento de los límites fijados por medio del ensayo de la mancha de arena.

En cuanto a los áridos a utilizar en hormigón, en nuestro Pliego General de Prescripciones para Obras de Carreteras, PG-3, para garantizar un porcentaje mínimo de partículas duras, se fija el valor del residuo insoluble de la arena fina en un 30 por 100.

La dureza de estas partículas asegura un desgaste diferencial con la pasta de cemento y la autorregeneración de la microrrugosidad del pavimento.

Por el contrario, y a diferencia de lo que ocurre en los aglomerados bituminosos, el papel de la dureza de estos áridos en la rugosidad de los pavimentos de hormigón no es importante. En experiencias realizadas en el T.R.R.L inglés se ha encontrado que entre los valores de los C.P.A. de dos hormigones fabricados con áridos cuyos C.P.A. eran 0,35 y 0,72, había solamente una diferencia de 0,05.

Sí es importante la dureza de los áridos gruesos en el hormigón cuando se utilizan técnicas que los dejan descubiertos en superficie, como la incrustación de gravillas en la masa del hormigón fresco o los tratamientos químicos de decapado del mortero superficial, utilizados principalmente en Bélgica.

2.7. Prescripciones relativas a la adhesividad

Una vez más es el agua el agente desencadenante de un fenómeno no deseable como es la falta de adhesividad, aunque sea necesario

para que nos preocupe que se den ciertas condiciones de incompatibilidad entre los áridos y el ligante.

Aquí también los Pliegos de Prescripciones imponen limitaciones a los valores de determinados ensayos con los que se intenta reproducir el comportamiento de las mezclas áridos-ligantes en presencia del agua. Como el fenómeno es muy difícil de reproducir en ensayo, existe un gran número de ellos, siendo el Rieder-Weber y el de Inmersión-Compresión los más utilizados en nuestra normativa.

Vamos a comentar brevemente la experiencia que se está llevando a cabo en el laboratorio de la Cátedra de Caminos de la Escuela de Santander, bajo el patrocinio de la Dirección General de Carreteras, sobre la validez del ensayo Cántabro de Pérdida por Desgaste en la valoración de la adhesividad árido-ligante. En los ensayos se han utilizado un betún B-60/70 y dos áridos de distintas naturaleza, uno calizo y otro ofítico. Las características del betún se dan en la Tabla II y la de los áridos en las Tablas III y IV.

Con cada tipo de árido se fabricaron 16 probetas, 8 por cada porcentaje de betún empleado: 4 y 5 por 100. Las probetas se fabricaron

TABLA II

CARACTERISTICAS DEL LIGANTE

CARACTERISTICAS	UNIDAD	NORMA DE ENSAYO NLT	VALOR
PENETRACION (a 25° C, 100 g y 5s)	0,1 mm.	124/72	61
P.PREBLANDECIMIENTO (ANILLO y BOLA)	° C	125/72	50,3
INDICE DE PENETRACION	—	181/72	0,6
DUCTILIDAD (a 25° C y 5 cm/min)	cm	126/72	100
PERDIDA POR CALENTAMIENTO (a 163° C y 5 h)	%	128/72	
PENETRACION DEL RESIDUO	%	124/72	
PUNTO DE FRAGILIDAD FRAAS	° C	182/72	
DENSIDAD RELATIVA (a 25° C)	g/cm ³	122/72	1,035
CONTENIDO EN AGUA	%	123/72	

EFFECTOS DEL AGUA SOBRE LOS PAVIMENTOS DE CARRETERAS

TABLA III

CARACTERISTICAS DE ARIDO OFITICO

CARACTERISTICAS	NORMA	UNIDAD	VALOR
DESGATE DE LOS ANGELES	149/72	%	11
COEFICIENTE DE FRIABILIDAD	351/74	%	10,5
COEFICIENTE DE PULIMENTO	174/72	—	0,49
ADHESIVIDAD	166/	%	99
PESO ESPECIFICO	153/76	g/cm ³	2,935
ABSORCION DE AGUA	153/76	%	0,5
INDICE DE LAJAS	354/74	%	30
INDICE DE AGUAS	354/74	%	—

TABLA IV

CARACTERISTICAS DE ARIDO CALIZO

CARACTERISTICAS	NORMA	UNIDAD	VALOR
DESGATE DE LOS ANGELES	149/72	%	24
COEFICIENTE DE FRIABILIDAD	351/74	%	
COEFICIENTE DE PULIMENTO	174/72	—	
ADHESIVIDAD	166/	%	99
PESO ESPECIFICO	153/76	g/cm ³	99
ABSORCION DE AGUA	153/76	%	2,680
INDICE DE LAJAS	354/74	%	
INDICE DE AGUAS	354/74	%	

TABLA V

PERDIDAS POR DESGASTE EN SECO Y TRAS INMERSION A 100,200 Y 300 REVOLUCIONES 4 % DE BETUN B-60/70

	PERDIDAS POR DESGASTE (%)					
	EN SECO			TRAS INMERSION		
ARIDO	100	200	300	100	200	300
CALIZA	17	35	47	24	66	81
OFITA	24	56	84	75	100	100

a 135° C de temperatura y compactada en la compactadora Marshall, aplicando 50 golpes por cara.

TABLA VI

PERDIDAS POR DESGASTE EN SECO Y TRAS INMERSION A 100,200 Y 300 REVOLUCIONES 5 % DE BETUN B-60/70

	PERDIDAS POR DESGASTE (%)					
	EN SECO			TRAS INMERSION		
ARIDO	100	200	300	100	200	300
CALIZA	10	24	37	16	48	65
OFITA	15	45	66	70	100	100

TABLA VII

PORCENTAJE DE HUECOS EN MEZCLA

% BETUN	HUECOS EN MEZCLA (%)	
	CALIZA	OFITA
4	22,2	26,7
5	21	25,5

TABLA VIII

PERDIDAS POR DESGASTE EN SECO Y TRAS INMERSION A 100,200 Y 300 REVOLUCIONES 4 % DE BETUN B-60/70

	PERDIDAS POR DESGASTE (%)					
	EN SECO			TRAS INMERSION		
ARIDO	100	200	300	100	200	300
CALIZA (20 golpes)	22	55	74	45	94	100
OFITA	24	56	84	75	100	100

De las 8 probetas fabricadas para cada tipo de árido y porcentaje de ligante, 4 eran ensayadas directamente a 100, 200 y 300 revoluciones. El resto eran ensayadas después de haberlas tenido sumergidas 4 días en agua a 35° C y un día secando al aire a 18° C.

Los resultados obtenidos se dan en las Tablas V y VI. En la Tabla VII se dan los huecos de las mezclas ensayadas. En las Figuras 6 y 7 se ha representado, para cada porcentaje de ligante, la influencia que el tipo de árido tiene sobre la pérdida por desgaste en seco y tras inmersión.

Los resultados obtenidos muestran mayores pérdidas por desgaste, tanto en seco como tras inmersión, del árido ofítico.

EFFECTOS DEL AGUA SOBRE LOS PAVIMENTOS DE CARRETERAS

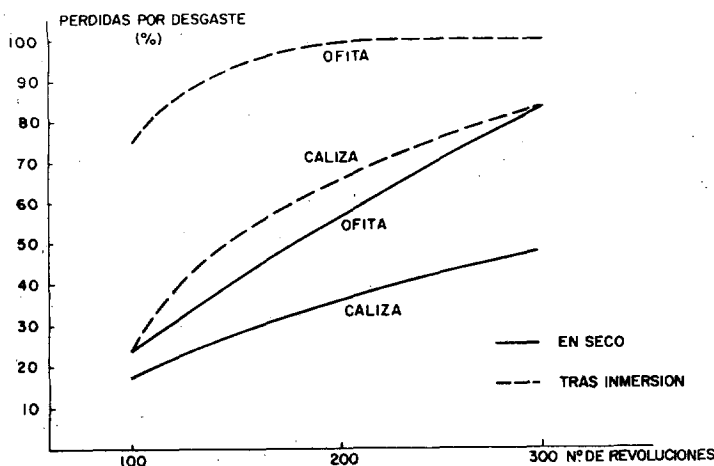


Fig. 6. — Efecto del tipo de árido sobre las pérdidas por desgaste en seco y tras inmersión. 4 por 100 de betún B-60/70.

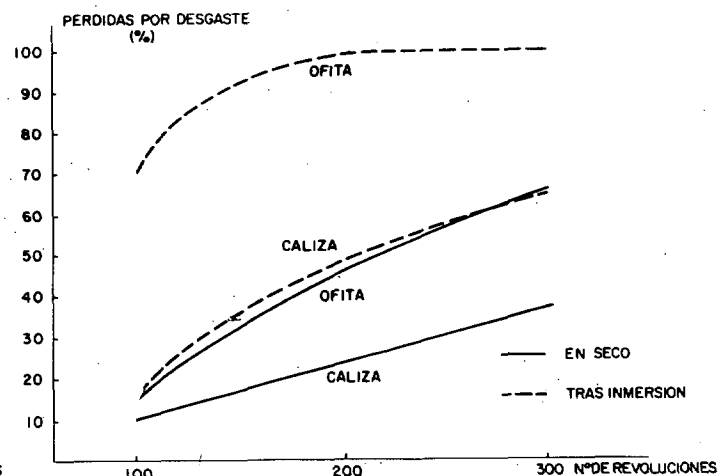


Fig. 7. — Efecto del tipo de árido sobre las pérdidas por desgaste en seco y tras inmersión. 5 por 100 de betún B-60/70.

Esta mejor respuesta del árido calizo en el ensayo de desgaste podría deberse a las mayores densidades obtenidas en su compactación. Entre las probetas de árido calizo y ofítico se aprecia una diferencia del 4,5 por 100 de hue-

cos en mezcla, tanto para el 4 como para el 5 por 100 de ligante empleado.

Esta diferencia de compactación no es debida a una mayor degradación del árido calizo durante su compactación, como puede apre-

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ABERTURA TAMIZ $0,45$)

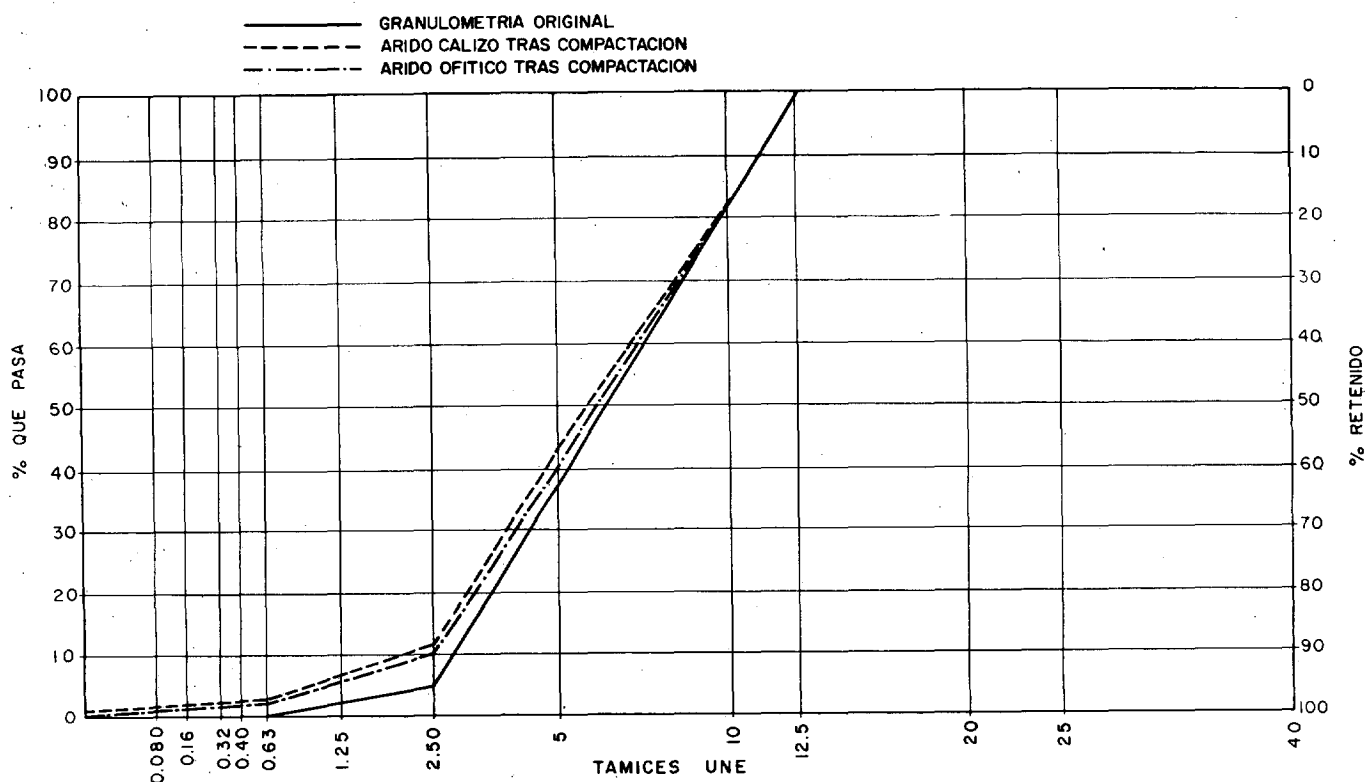


Fig. 8. — Degradación del esqueleto mineral en la compactación.

TABLA IX

PERDIDAS POR DESGASTE EN SECO Y TRAS INMERSION A 100,200 Y 300 REVOLUCIONES 5 % DE BETUN B-60/70

	PERDIDAS POR DESGASTE (%)					
	EN SECO			TRAS INMERSION		
ARIDO	100	200	300	100	200	300
CALIZA (20 golpes)	15	36	50	26	70	90
OFITA	15	45	66	70	100	100

TABLA X

PORCENTAJE DE HUECOS EN MEZCLA

% BETUN	HUECOS EN MEZCLA (%)	
	CALIZA (20 golpes)	OFITA
4	27,4	26,7
5	25,5	25,5

TABLA XI

PERDIDAS POR DESGASTE EN SECO Y TRAS INMERSION A 100,200 Y 300 REVOLUCIONES 4 % DE BETUN B-60/70

	PERDIDAS POR DESGASTE (%)					
	EN SECO			TRAS INMERSION		
ARIDO	100	200	300	100	200	300
OFITA	24	56	84	75	100	100
OFITA+ACTIVANTE				70	100	100

ciarse en la Figura 8, donde se representan los granulométricos recuperados de las probetas fabricadas, sino a una mayor facilidad de compactación del árido calizo.

Con objeto de que en los resultados obtenidos no influyera la diferencia de compactación, se compactaron las probetas de árido calizo con 20 golpes por cara. De este modo se alcanza un porcentaje de huecos similares para ambas mezclas. Tabla X.

Para el mismo porcentaje de huecos en mezcla, las pérdidas por desgaste, tanto en seco como tras inmersión, son también inferiores con el árido calizo. En seco, a 100 vueltas las pér-

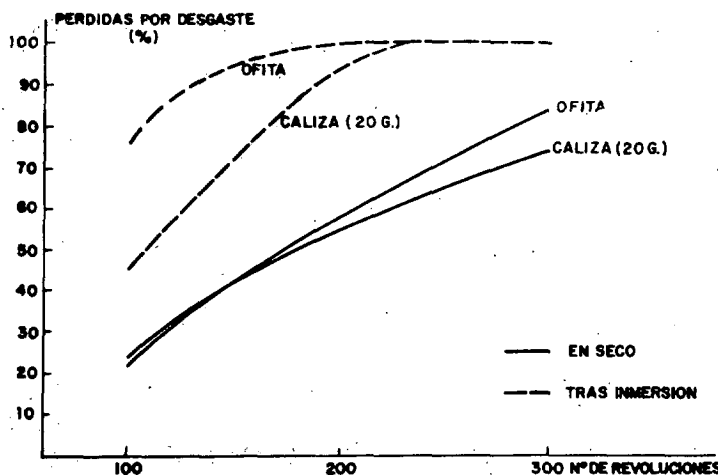


Fig. 9.— Efecto del tipo de árido sobre las pérdidas por desgaste en seco y tras inmersión. 4 por 100 de betún B-60/70.

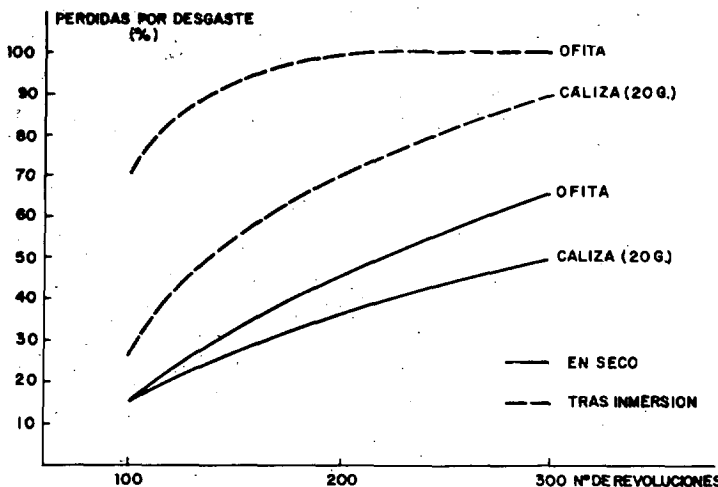


Fig. 10.— Efecto del tipo de árido sobre las pérdidas por desgaste en seco y tras inmersión. 5 por 100 de betún B-60/70.

didias de ambos áridos son similares. Tablas VIII y IX y Figuras 9 y 10, pero a 300 vueltas la diferencia es de 10 y 16 puntos para el 4y 5 por 100 de ligante, respectivamente.

Si se comparan los resultados después de la inmersión se observa que las diferencias a igualdad de huecos, aunque menores que las anteriores siguen siendo significativas, lo que muestra claramente la diferente adhesividad del ligante frente a estos dos tipos de áridos.

Sin embargo, esta diferencia no se había puesto de manifiesto cuando, tanto con el árido calizo como con el ofítico, se realizó el ensayo de adhesividad según el procedimiento de

TABLA XII

PERDIDAS POR DESGASTE EN SECO Y TRAS INMERSION A 100,200 Y 300 REVOLUCIONES 5 % DE BETUN B-60/70

	PERDIDAS POR DESGASTE (%)					
	EN SECO			TRAS INMERSION		
ARIDO	100	200	300	100	200	300
OFITA	15	45	66	70	100	100
OFITA+ACTIVANTE				36	83	100

TABLA XIII

PORCENTAJE DE HUECOS EN MEZCLA

% BETUN	HUECOS EN MEZCLA (%)	
	CALIZA	OFITA+ACTIVANTE
4	26,7	26,4
5	25,5	24,8

la norma NLT-166/63 «Método para la determinación del efecto del agua sobre las películas bituminosas que recubren los áridos».

Para mostrar más claramente que la mayor pérdida por desgaste era debida a la menor adhesividad del ligante frente a la ofita, se añadió un activante, en una proporción muy pequeña, 0,3 por 100 en peso del ligante, al betún. Los resultados obtenidos. Tablas XI y XIII y figuras 11 y 12, muestran claramente el efecto beneficioso del activante.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la bondad de este ensayo para valorar la adhesividad árido-ligante y el efecto de los activantes. Hay que continuar las experiencias y estudiar con mayor profundidad la influencia que las condiciones de ensayo tales como:

- Temperatura del agua.
- Período de inmersión.
- Temperatura del ensayo.
- Número de revoluciones, etc.

Tienen sobre los resultados obtenidos con éstos y otros materiales. Se trata, en definitiva, de poder establecer unos criterios en cuanto a la buena o mala adhesividad de las mezclas, ba-

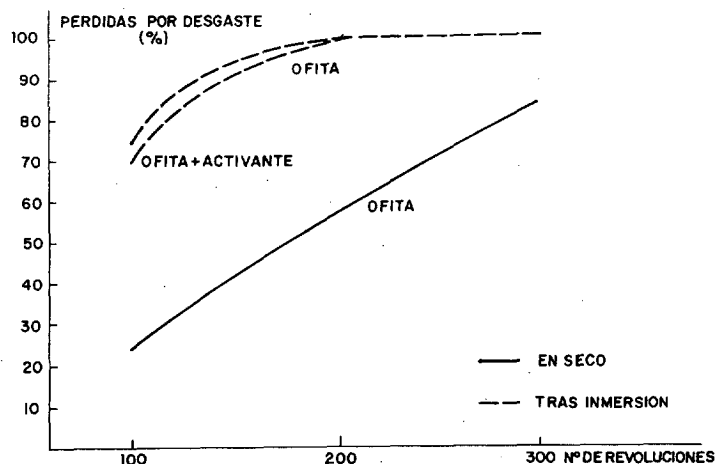


Fig. 11.— Efecto del activante sobre la pérdida por desgaste tras inmersión. 4 por 100 de betún B-60/70.

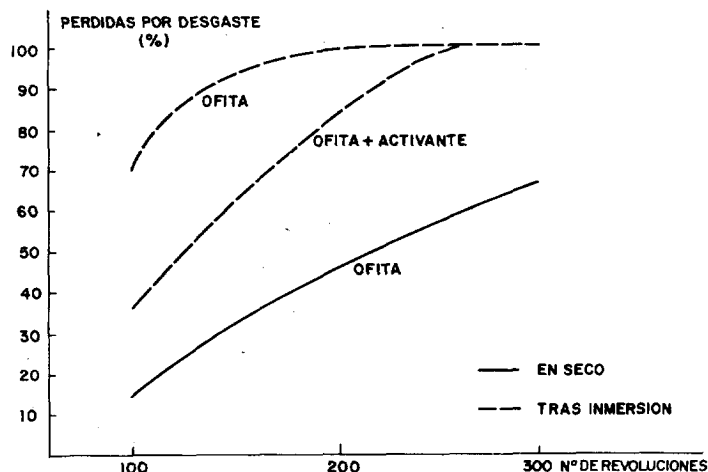


Fig. 12.— Efecto del activante sobre la pérdida por desgaste tras inmersión. 5 por 100 de betún B-60/70.

sados en las diferencias de las pérdidas por desgaste en seco y tras inmersión.

En este momento se continúa con los ensayos.

2.8. Prescripciones relativas a los firmes de hormigón vibrado.

En las juntas de los pavimentos de hormigón, el paso de un eje cargado de una losa a otra provoca la carga instantánea en la segunda al mismo tiempo que se recupera la primera. La existencia de agua y de «finos libres» es causa de que los finos situados bajo la segunda losa sean succionados hacia la primera produciendo

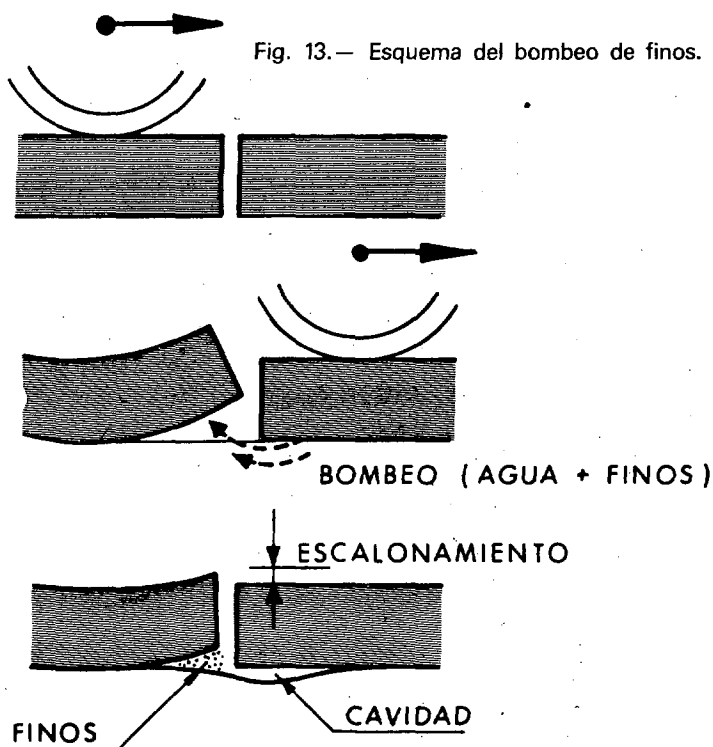


Fig. 13.— Esquema del bombeo de finos.

dose descalce de la segunda y escalonado de la junta. Si el fenómeno progresa la segunda losa acaba partiéndose. Figura 13.

Este mecanismo es, sin duda, el que produce mayores daños en los firmes de hormigón, ya que al producirse una modificación de las condiciones de apoyo sobre la base y una falta de sustentación uniforme de la losa, dejan de darse las hipótesis de Westergard que son las que se utilizan para el cálculo y se produce la ruptura de la losa.

Para que se produzca el fenómeno de succión o bombeo es necesaria la conjunción de estos cuatro elementos desfavorables:

- Existencia de agua libre entre base y pavimento.
- Existencia en esa misma zona de materiales capaces de ser movilizados por el agua.
- Posibilidad de movimiento entre bordes de losas.
- Existencia de tráfico pesado.

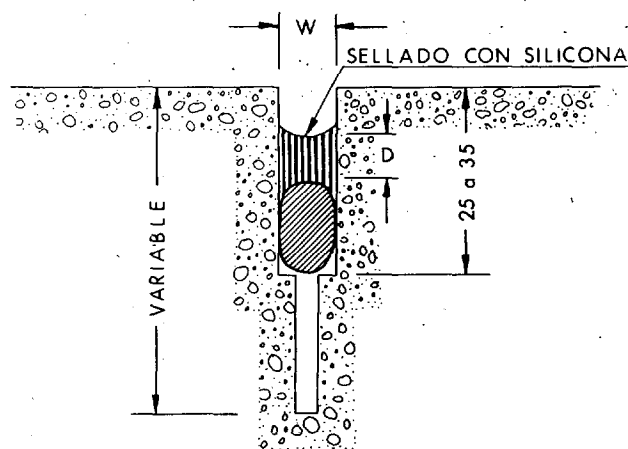
Las medidas contra la presencia de agua consisten en primer lugar en el sellado de las juntas. Pero hay que tener en cuenta que si bien es más o menos posible hacer estancas las jun-

tas entre losas, es casi imposible hacer perfectamente estanca la junta entre la losa de la calzada y el arcén pavimentado. Figuras 14 y 15. Esta es la causa principal de la presencia de agua abajo las losas, pues es por esa abertura por donde se infiltra una parte del agua de escorrentía. Es necesario además, construir un drenaje lateral eficaz. El de la figura 16 es un tipo de drenaje que está de moda y que puede limpiarse periódicamente por medio de agua a presión.

Los «finos libres» pueden provenir o bien del arcén pavimentado cuando la zona adyacente a la losa de hormigón no está bien compactada o no está tratada, o bien de la superficie de la base si es erosionable o de mala calidad.

El concepto de erosionabilidad es difícil de establecer porque un mismo material será erosionable o no según el grado de agresividad que se manifieste en los agentes causantes de la erosión. En principio los materiales cuanto más cementados están menos erosionables son, y así se han ido utilizando sucesivamente como base de las losas de hormigón, primeramente las capas de materiales sueltos, luego el

SELLADO DE JUNTAS



TIPO	W (MIN)	D (MIN)	R
TRANSV.	10	7	9-12
LONG.	7	7	9-12
ARCEN	7	7	9-12

Figura 14.

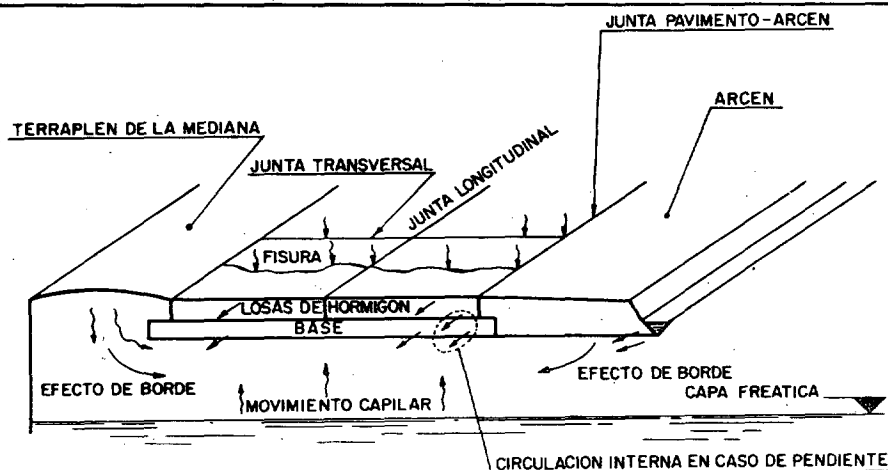


Fig. 15.— Vías de aportación de aguas en un pavimento de hormigón.

suelo-cemento, más tarde la grava-cemento y en este momento está de moda el hormigón magro.

Para medir la erosionabilidad los franceses han puesto a punto un ensayo que llaman de cepillado rotativo, utilizando la máquina de la figura 17.

El procedimiento consiste en someter la probeta a dos ciclos de cepillado de 30 segundos de duración y en averiguar el peso del material arrancado en cada ciclo.

A continuación se averigua la granulometría del material arrancado en cada uno de los ciclos, y si no se observan diferencias apreciables se suman los pesos de ambos y se obtiene el Índice de erosionabilidad del material mediante la fórmula:

$$E = \frac{\text{Peso total (mg)}}{26}$$

En caso de que se observen diferencias significativas, se prescinde del primer ciclo y se calcula:

$$E = \frac{\text{Peso ciclo 2 (mg)}}{13}$$

El ensayo de cepillado rotativo facilita la adopción de un índice de erosionabilidad deducido de la comparación entre el resultado del material en estudio y un material de referencia que consiste en un material granular estabilizado con el 3,5 por 100 de cemento.

En el gráfico de la figura 18 están represen-

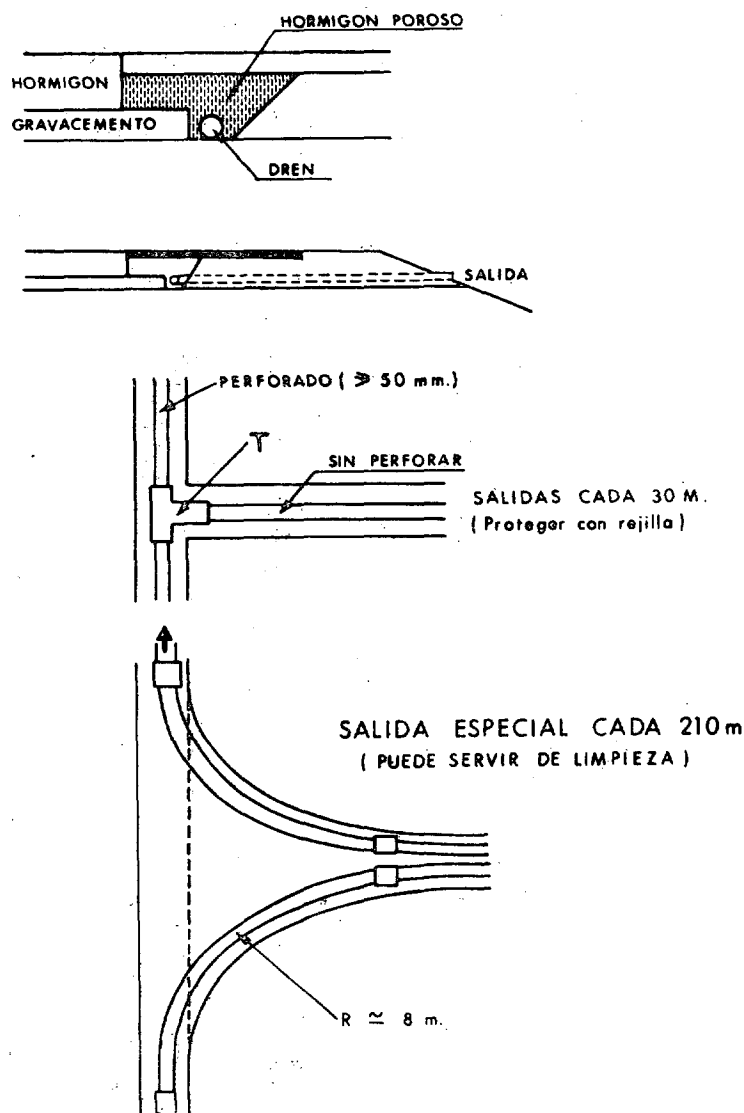


Fig. 16.— Soluciones con Dren en el borde.

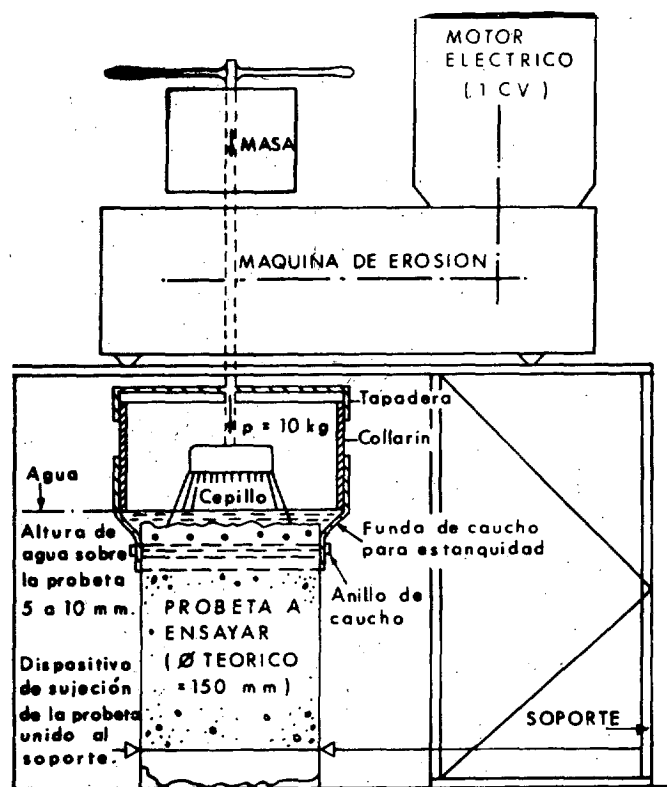
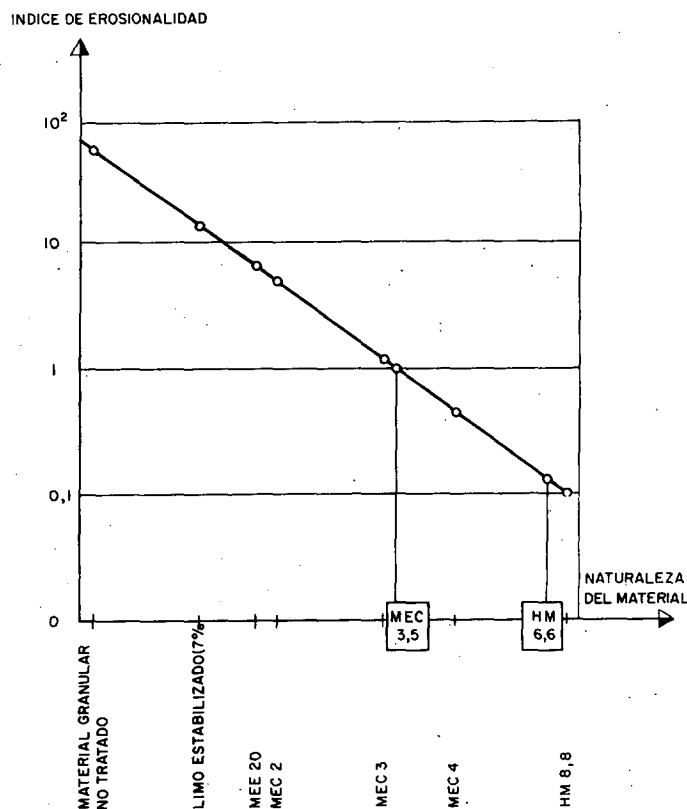


Fig. 17.— Esquema de máquina de erosión de probetas de materiales granulares tratados con cementos.



MEE 20: MATERIAL ESTABILIZADO CON 20% DE ESCORIA GRANULADA
 MEC 2-3-3,5-4: MATERIAL ESTABILIZADO CON 2-3-3,5 Y 4% DE CEMENTO
 HM 6,6-8,8: HORMIGÓN MAGRO CON 6,6 Y 8,8% DE CEMENTO

Figura 18.

tados los materiales empleados normalmente en bases de pavimentos de hormigón; en forma comparativa de acuerdo con el criterio de erosionalidad.

En el mismo se ve que:

- Un material tratado con 3,5 por 100 de cemento es 10 veces más erosionable que un hormigón magro con el 7 por 100 de cemento.
- El 3,5 % de cemento constituye un valor crítico por debajo del cual la erosionalidad se incrementa rápidamente.

Veamos ahora la relación entre la «erosionalidad de la base» y el «estado del pavimento». Para ello, cada uno de estos parámetros se caracteriza por tres componentes a los que se aplica un sistema de puntuación:

- El «estado del pavimento» se caracteriza por el coeficiente de degradación, el escalonado de las losas y el movimiento de las mismas.
- La «erosionalidad de la base» se carac-

teriza por una nota correspondiente a la muestra tomada, y por los resultados de los ensayos de cepillado rotativo y de mesa vibrante.

Por ejemplo, el resultado del ensayo de cepillado rotativo, índice de erosionalidad I_r se valora de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} & I_r < 0,25 \text{ nota } 1 \\ 0,25 < I_r & < 0,4 \text{ nota } 2 \\ & I_r > 0,4 \text{ nota } 3 \end{aligned}$$

La suma de las notas constituyen las notas globales del «estado del pavimento» y de la «erosionalidad de la base» cuya comparación puede verse en la tabla XIV y en la figura 19 correspondientes a una reciente experiencia francesa. La dependencia entre ambos parámetros es manifiesta. Todos estos resultados explican la tendencia que se observa a escala

TABLA XIV

NOTACIONES GLOBALES DEL ESTADO DEL PAVIMENTO Y DE LA EROSIONABILIDAD DE LA BASE

Sección	Carretera	Base	Nota Global de Erosionabilidad	Nota Global del estado del pavimento
1	A 13	GC	5,8	6
2	A 1	GC	5,8	8
3	A 1	BM	3	3
4	A 1	BM	5,3	3
5	A 1	GC	10,9	7
6	A 4	GL	3,3	3
7	A 4	GL	3,3	4
9	F 6	BM	4,5	3
10	A 6	GC	8,8	9
12	C 26	GC	4,3	4
13	C 26	GC	6,3	8
14	A 25	GL	6,3	7
15	A 25	GL	6,4	9
16	A 25	GL	6,7	6
17	A 25	GL	6,7	9
18	A 6	GC	10,3	6
19	A 6	GC	8,8	6
20	A 6	GL	4	4
21	A 6	GL	6,6	9
22	A 6	GL	—	4

GC: GRAVA CEMENTO
GL: GRAVA ESCORIA
BM: HORMIGON MAGRO

TABLA XV

N.º MAXIMO VEH. PESADOS/CARRIL SIN PASADORES

EROSIONABILIDAD	8-12	5-8	3-5
DIAS DE LLUVIA AL AÑO	GC 3,5 %	GC / %	Horm. Pob. a
>150	150	300	750
50-150	300	750	2.000
<50	750	2.000	2.000

(RAY-CHRISTORY-POILAE) PURDUE-85

nal publicada por Michel Ray con ocasión del Congreso Mundial de Carreteras de Viena.

La posibilidad de movimiento entre bordes de losas, tercera de la condiciones mencionadas para que se produzca el fenómeno de succión, es determinante; de tal forma, que la utilización de pasadores en las juntas permite elevar significativamente los límites fijados en la tabla XV, como puede verse en la figura 20 procedente de la misma publicación mencionada, que es una representación esquemática cualitativa en tres dimensiones de las relaciones entre los trá-

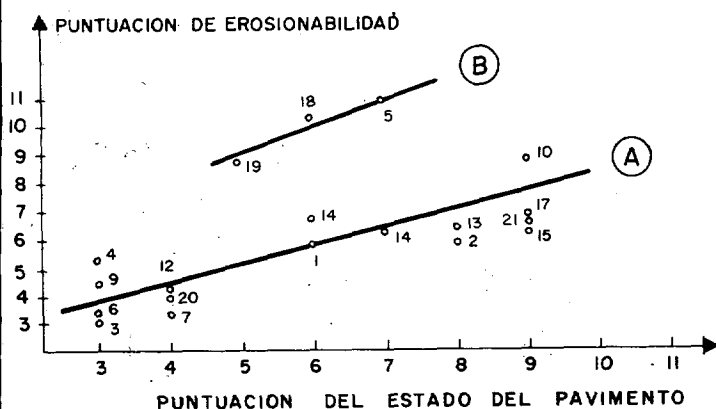


Fig. 19. — Relación entre las puntuaciones de erosionabilidad y estado del pavimento.

mundial a favor de la utilización de bases de hormigón magro.

En la table XV se da el máximo tráfico recomendado en I.M.D de vehículos pesados para firmes de hormigón vibrado sin pasadores en función del clima —días de lluvia al año—, y del material de la base. La tabla es la síntesis de los resultados de una encuesta internacio-

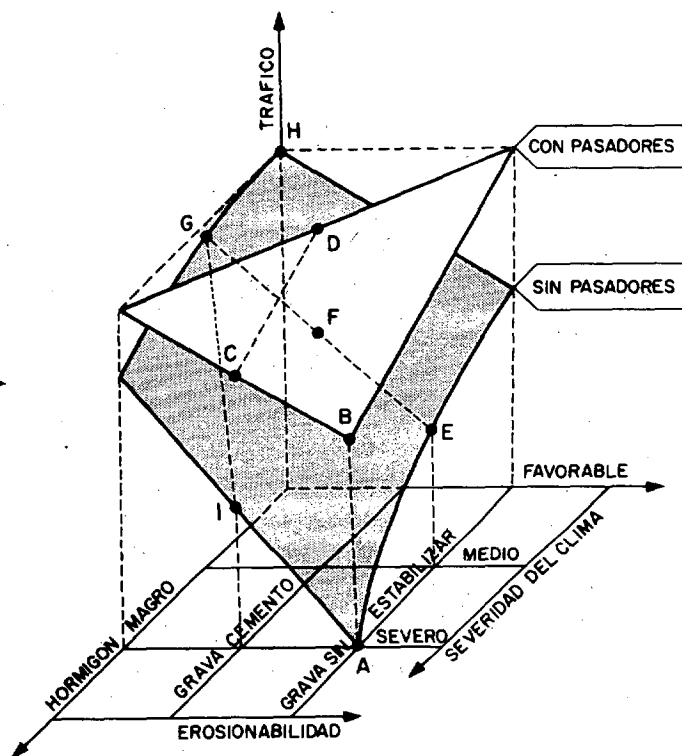


Fig. 20. — Superficies representativas de los tráficos admisibles, con y sin pasadores en función del clima y la erosionabilidad.

TABLA XVI

TENDENCIAS EN LA NORMATIVA ESPAÑOLA

- EXPLANADA (poco plástica).
- BASE — CON T_0/T_1  H. POBRE.
GC (min. 5 %).
- LOSA — ESPESORES MINIMOS (6,2 IC) (+ 2 cm).
- JUNTAS — SIN PASADORES: 3,5 - 4,5 m.
— CON PASADORES: 5 m*.
— > 1.500 veh. pes./carril.*
- SERRADO ($h/4$ y $h/3$).
- SELLADO (O N_0)*.
- DRENAJE*.
- ARCENES DE HORMIGON con T_0/T_1 .

ficos límites, las condiciones climáticas y las características de erosionabilidad de las bases.

En nuestro país, siguiendo la técnica californiana un poco a ciegas — la diferencia entre pesos máximos autorizados por eje aconsejaba ciertas precauciones — se han estado construyendo durante muchos años los pavimentos de hormigón sin pasadores. Nuestros firmes sin pasadores han tenido mucho peor comportamiento que los pocos que hace ya muchos años se construyeron con ellos. Pero ha sido necesario, una vez más, ver primero el ejemplo en otros países para rectificar nuestra normativa.

Hoy, y con motivo de la construcción de las Autovías, disponemos de una Instrucción para el proyecto de Secciones de Firmes de Autovías en donde se prescribe, para los tráficos T_0 y T_1 , la utilización de pasadores y otras medidas adicionales que se recogen en la tabla XVI.

2.9. Prescripciones relativas al efecto del hielo.

2.9.1. La heladicidad de los suelos.

La determinación del grado de heladicidad de los suelos que constituyen la plataforma de las carreteras es de particular importancia en el proyecto de las mismas. En efecto, ciertos suelos sufren transformaciones estructurales durante los periodos de helada y pierden sus propiedades mecánicas durante el deshielo, lo que puede originar degradaciones importantes del pavimento bajo los efectos del tráfico. De

acuerdo con su comportamiento frente a la helada pueden distinguirse dos categorías de suelos:

- Los suelos «no heladizos» que se congelan sin variación importante de su contenido de agua y cuya estructura se modifica poco durante el proceso. Su principal transformación suele ser un ligero hinchamiento debido al aumento de volumen del agua que se transforma en hielo; la importancia de este hinchamiento, es en general limitada, y depende del grado de saturación del suelo en el momento de producirse la congelación. El aumento de volumen no sobrepasa el 10 por 100 del volumen del agua contenida en el suelo.
- Los suelos «heladizos» en los cuales la congelación viene acompañada de cambios de estructura debidos a varios fenómenos: migración del agua de las zonas no heladas a las zonas heladas, formación de lentejones de hielo, importantes variaciones del volumen, eventual consolidación de capas situadas por debajo del frente de hielo, etc. Estas manifestaciones pueden producirse con mayor o menor amplitud según el grado de heladicidad del suelo. El agua procedente del deshielo de los lentejones formados en el suelo, puede ser muy superior al contenido de agua inicial e incluso, en ciertos casos, superar el límite líquido del suelo en cuestión. Esto explica porqué el suelo sobresaturado en el deshielo pierde rápidamente su resistencia mecánica.

2.9.2. Causas que influyen en la heladicidad de los suelos.

El comportamiento especial de los suelos heladizos es el resultado de un mecanismo particularmente complejo que integra fenómenos microscópicos originados por la energía superficial de las partículas, y fenómenos macroscópicos de origen termodinámico con transferencia de calor y de masa. Simplificando, puede decirse que la heladicidad de un suelo depende, por una parte, de parámetros intrínsecos y, por otra, de ciertas condiciones ambientales en el sentido más amplio, que permiten que el fenómeno se manifieste y se desarrolle. Las carac-

terísticas propias del suelo que influyen sobre la heladicidad son:

- La granulometría y la textura. La aspiración del agua hasta el nivel del frente de helada (criosucción) y la formación de lentejones de hielo están estrechamente relacionadas con la superficie específica de los granos y con la dimensión de los poros.
- La permeabilidad, que debe ser suficiente para que el caudal de agua ascendente debido al fenómeno de criosucción no sea frenado o anulado por pérdidas de carga importantes.
- La naturaleza físico-química del suelo y su estado (contenido de agua o grado de saturación, densidad, etc.).

Esta relación no es exhaustiva puesto que los parámetros son muy numerosos y el mecanismo de la congelación de los suelos heladizos muy complejo.

Los factores exteriores son, en primer lugar, la intensidad y la duración de la helada; se ha podido comprobar en particular que una helada poco intensa pero larga tiene peores consecuencias que una helada intensa pero breve, puesto que los fenómenos de criosucción y de formación de lentejones de hielo no pueden producirse a no ser que la velocidad del frente de helada esté por debajo de un cierto valor crítico.

En segundo lugar, las posibilidades de alimentación de agua del frente de helada condicionan igualmente el desarrollo de la heladicidad de un suelo, de forma que una muestra de suelo heladizo con contenido de agua inicial pequeño y perfectamente aislada de toda aportación de agua del exterior se comportará prácticamente como un suelo no heladizo si se le somete a un período de congelación.

2.9.3. Incidencia de la helada en las carreteras españolas.

Las condiciones meteorológicas de nuestro país son tales que los efectos de la helada en las carreteras no son de temer por debajo de los 1.500 metros de altitud. Esto no significa que no hiele por debajo de esas cotas, sino que no lo hace con la suficiente intensidad y dura-

ción como para producir daños apreciables en los pavimentos.

Las carreteras por encima de esa altitud pueden clasificarse en dos grupos muy diferentes:

- Los accesos a las estaciones invernales y pistas forestales, cuya carencia de tráfico pesado, aminora enormemente el problema.
- Unos pocos puertos de montaña, y éstos cada vez menos numerosos por las mejoras en los trazados.

Esta es la razón por la que en nuestro país, ni en las Instrucciones de Proyecto de Firmes, 6.1 y 6.2-I.C, ni en el Pliego General de Prescripciones para Obras de carreteras, el PG-3, se contempla la acción de la helada como solicitud a tener en cuenta.

El método del Índice de la Helada recogido en la Antigua instrucción de Carreteras española, 6.1-I.C del año 63, y el ensayo de hielo-deshielo incluido en unidades del Pliego anterior, el PG-2, como la gravacemiento, se suprimieron en la revisión siguiente.

2.9.4. Las medidas contra el hielo en el Catálogo francés de 1977.

A falta de normativa propia, si queremos ver como se proyecta una carretera a prueba de los efectos de la helada hay que recurrir a la normativa de los países que sufren este problema de forma más generalizada.

El Catálogo francés de Estructuras Tipo de Carreteras de Nueva Construcción, contiene un conjunto de Secciones tipo agrupadas por clase de materiales y clasificadas en función de dos parámetros:

- El tipo de tráfico Ti
- La clase de plataforma PF j.

En la misma forma que en el catálogo español, pero la adopción definitiva de las secciones viene condicionada desde el primer paso por la verificación del comportamiento bajo los efectos de la helada. Todo ello de acuerdo con el esquema de las figuras 21 y 22.

- En relación con la sensibilidad a la helada los suelos se clasifican en los 3 grupos siguientes:
- SGn no heladizos

- SGp poco heladizos
- SGe muy heladizos

Para la clasificación se utilizan los resultados de un determinado ensayo de hinchamiento, y si no se dispone de este ensayo se puede utilizar la tabla del Anejo número 4 del Catálogo, en donde se relacionan los tipos de suelos de la Clasificación Francesa con los tres grupos anteriores.

A continuación se calcula la protección térmica Z aportada por los materiales no heladizos mediante la tabla VI del Catálogo; la helada admisible Q_S de los materiales heladizos mediante la tabla VII del Catálogo; y la helada admisible en la base del pavimento: $Q_B = Q_S + Z$.

El paso siguiente es el cálculo del índice de helada admisible del pavimento I_A , en función de Q_B y con ayuda de un ábaco propio de cada tipo de estructura, que se compara con el índice de helada correspondiente al invierno de referencia I_R .

Si $I_R < I_A$ no hay peligro de helada y se adopta la sección elegida; en caso contrario la estructura es insuficiente y se proponen dos soluciones alternativas:

- a) Se modifica la plataforma aumentando el espesor de los materiales no heladizos, o se disminuye su sensibilidad a la helada con un tratamiento apropiado, por ejemplo, estabilizando con cemento.
- b) Se elige otra sección con mayor espesor.

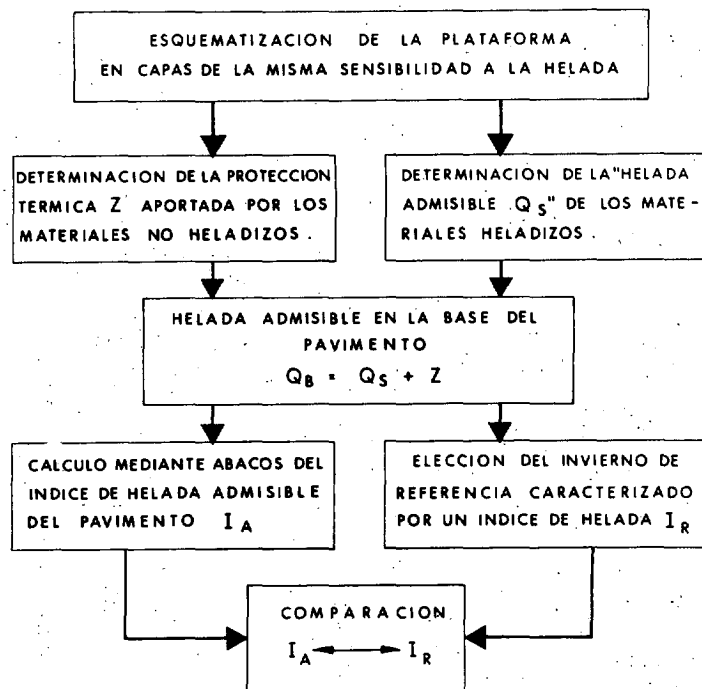


Fig. 21.— Esquema de método de verificación de los suelos a la helada. Catálogo 1977 Francés.

3. VIGILANCIA PERIODICA DE LA TEXTURA SUPERFICIAL

3.1. Adherencia entre neumático y superficie de rodadura.

En la fase de explotación de la carretera, hay un fenómeno directamente relacionado con la presencia de agua y que es la causa de núme-

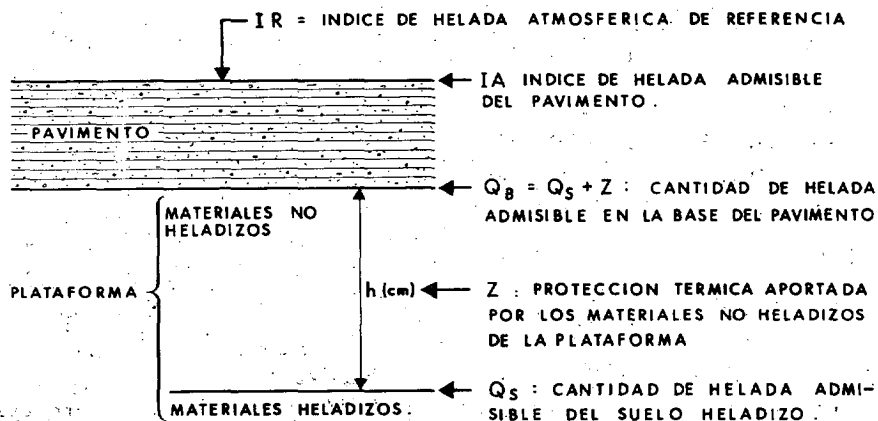


Fig. 22.— Sección del pavimento y plataforma e índices utilizados. Catálogo 1977 Francés.

rosos accidentes. Se trata de la pérdida de adherencia entre neumático y superficie de rodadura cuando esta última está mojada. El fenómeno se produce con la carretera simplemente mojada, aunque se agrava conforme aumenta el espesor de la película de agua, pudiéndose llegar a la situación de «aquaplaning» cuando coinciden un conjunto de circunstancias desfavorables.

Las capas de rodadura nuevas, construidas de acuerdo con las prescripciones mencionadas anteriormente no presentan problema, pero con el tiempo y bajo la acción repetida del paso de los vehículos los áridos de superficie se pulen y pierden su rugosidad, algunos de ellos son arrancados, otros son hundidos en la mezcla y el resultado es un cambio de la textura superficial que se vuelve más lisa y más propicia a que, en presencia de agua, se produzca deslizamiento.

Los factores que influyen en la rapidez con que se vuelve pulida la superficie de rodadura son:

- El volumen de tráfico.
- La velocidad del vehículo.
- La complejidad de las características geométricas.
- La resistencia al pulido de los áridos.

El tiempo necesario, por tanto, para que una superficie se vuelva deslizante es muy variable y puede estar comprendido entre varios meses y varios años según la concurrencia y agresividad de los factores enumerados. En general suele producirse una caída rápida al principio, seguida de una casi estabilización con decrecimiento lento.

En una situación determinada los factores que influyen en la cantidad de rozamiento disponible son:

- El estado de pulimento de la carretera.
- El volumen de agua sobre la carretera.
- El estado de desgaste de los neumáticos.

Y finalmente, los factores que determinan las necesidades de adherencia en un momento dado, son:

- El volumen de tráfico.
- La velocidad del vehículo.

- La complejidad de las características geométricas.
- Las aceleraciones y deceleraciones.
- La distancia de visibilidad.
- Angulo de giro.

Todos estos factores influyen en la existencia o no de la adherencia necesaria para que el conductor pueda realizar con éxito las dos operaciones siguientes:

- Mantener la trayectoria deseada.
- Reducir la velocidad, total o parcialmente, en la menor distancia posible.

De acuerdo con la figura 23, si las necesidades de adherencia son muy grandes y el rozamiento disponible muy pequeño, las posibilidades de evitar el deslizamiento y el accidente son reducidas.

Lo que pone en claro la figura, a la vista del gran número de condiciones que influyen en la conducción de un vehículo, es que no existe una demanda única de adherencia que satisfaga

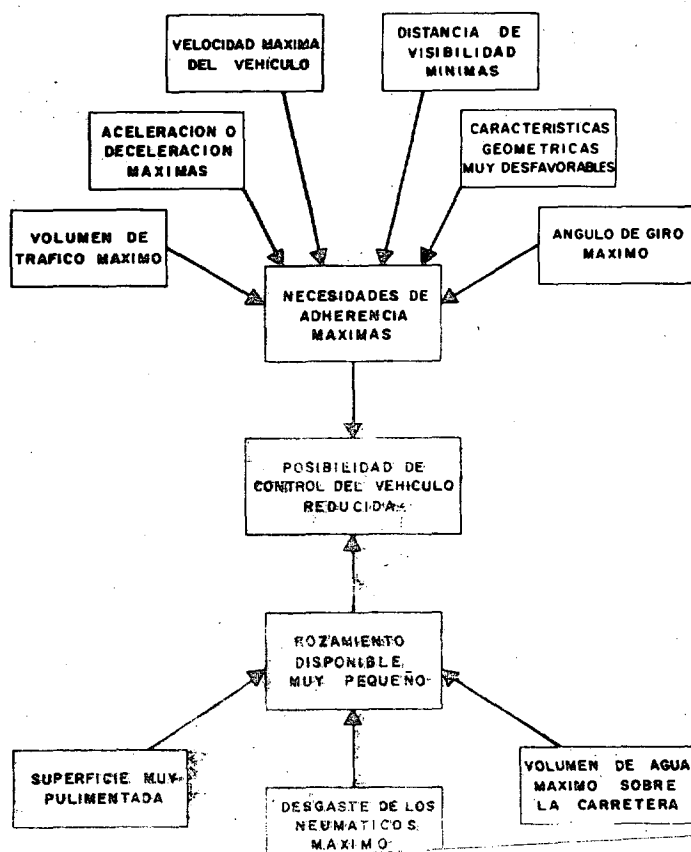


Figura 23.

RELACION ENTRE EL PORCENTAJE DE ACCIDENTES POR DESLIZAMIENTO Y EL CRT (39)

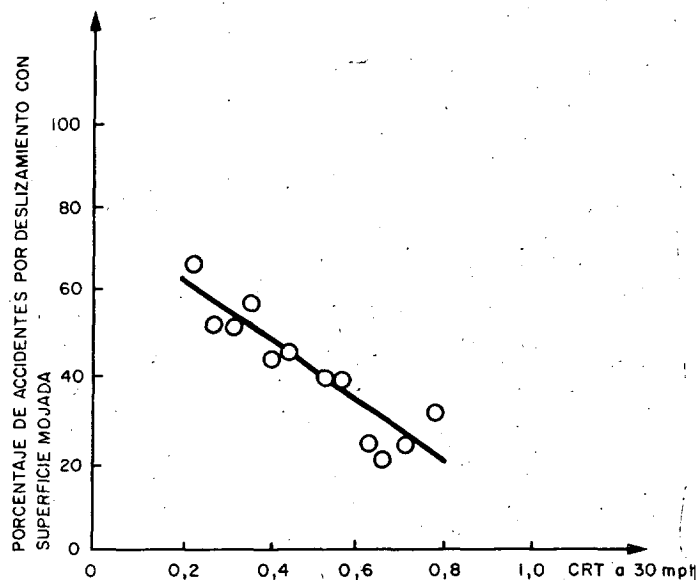


Figura 24.

RELACION ENTRE EL PORCENTAJE DE ACCIDENTES Y LOS COEFICIENTES DE ROZAMIENTO TRANSVERSAL Y LONGITUDINAL EN LAS AUTOPISTAS ALEMANAS(84)

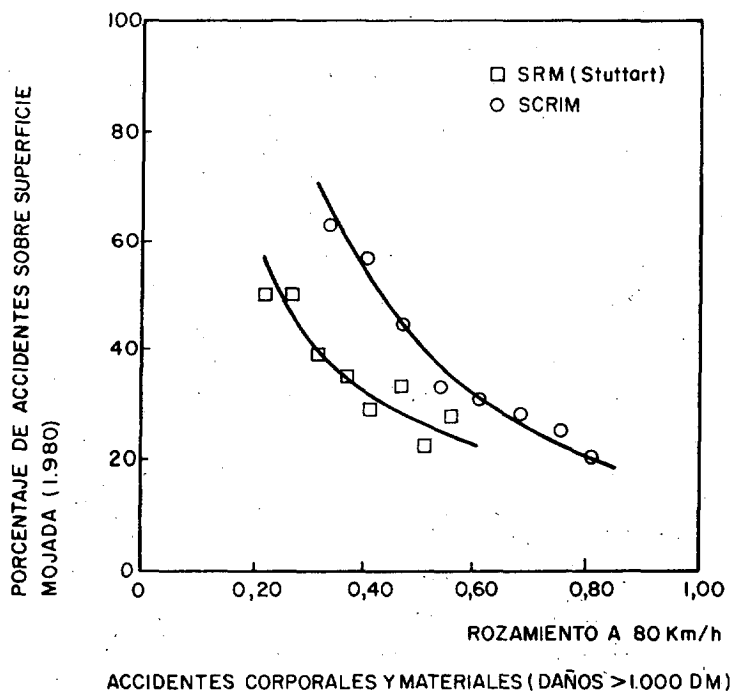
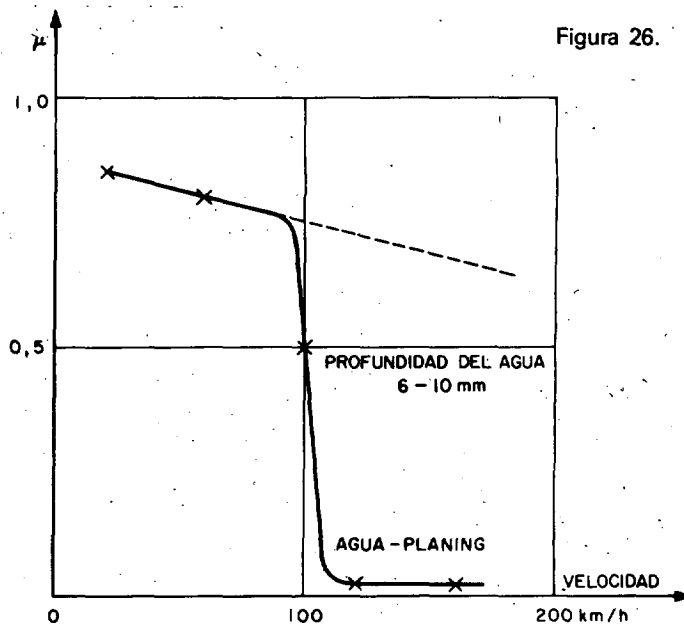


Figura 25.

Figura 26.



ga todas las situaciones de conducción y que, además, una vez que se ha producido el accidente, resulta muy difícil en algunos casos hacer responsable a la falta de adherencia, al menos en exclusiva.

Lo que sí está claro es que, independientemente de otros condicionantes, hay unas necesidades mínimas de rozamiento en la superficie de rodadura a partir de las cuales el número de accidentes por deslizamiento en presencia de agua sufre un fuerte incremento, y que cuanto mayor es el rozamiento disponible menor es el número de accidentes.

En las figuras 24 y 25 puede verse como aumenta el porcentaje de accidentes por deslizamiento sobre superficie mojada cuando disminuye la adherencia disponible.

En cuanto al fenómeno del «aquaplaning» se necesita para que se produzca que se den las dos condiciones siguientes. Figura 26:

- Velocidad superior a 80 Km/h y
- Altura de la película de agua superior a 5 mm.
- Es más preocupante en las pistas de los aeropuertos debido a las altas velocidades de aterrizaje, a la dificultad de evacuación en los aguaceros por la anchura de las pistas e incluso a la anchura de los neumáticos de los aviones, pero en carreteras se da muy raramente.

3.2. Las características adherentes del pavimento.

3.2.1. La textura superficial.

A nuestros efectos cabe distinguir entre:

- Rugosidad de primer orden: la micro-textura.
- Rugosidad de segundo orden: la macro-textura.

El primer orden, a escala de micras, es una característica petrográfica y mineralógica de las rocas, que varía con el clima, la época del año y el tráfico. Dentro de esta característica se incluye la rugosidad de los morteros bituminosos y de cemento, que pueden constituir la mayor parte de la superficie expuesta a la rodadura entre partículas de árido más gruesas. La micro-rugosidad influye en el riesgo de accidentes para todas las velocidades.

La macrotextura es el relieve de la capa de rodadura —las protuberancias visibles a simple vista, por encima de 0,5 mm—. Está relacionada con la capacidad de drenaje entre neumático y superficie, y con la reducción del espesor de la película de agua debido a la existencia de protuberancias o puntos de apoyo sobre los cuales ruedan los neumáticos.

La macrorrugosidad influye en el riesgo de accidentes para velocidades medias y elevadas.

En las figuras 27 y 28, se ve la clasificación convencional de las texturas y la variación de la adherencia en estado mojado con la velocidad de cada tipo de textura.

3.2.2. Medida de la textura.

La microrrugosidad se mide por medio del Coeficiente de Rozamiento μ , definido como la relación entre la fuerza horizontal de rozamiento F_r que se genera entre el neumático y la superficie de rodadura al desplazarse el uno sobre la otra y la fuerza normal N , ejercida sobre la superficie de apoyo.

La macrorrugosidad, como característica relacionada con el drenaje de la superficie del firme, puede medirse por métodos directos —drenómetros—, o por métodos indirectos de medida de la geometría superficial.

En la medida de la microrrugosidad se distingue entre el coeficiente de rozamiento lon-

CLASIFICACION DE LAS TEXTURAS EN SUPERFICIES DE CARRETERAS

SUPERFICIE		CLASES DE TEXTURA	
		MACRO	MICRO
A		GRUESA	RUGOSA
B		GRUESA	PULIDA
C		FINA	RUGOSA
D		FINA	PULIDA

Figura 27.

ADHERENCIA EN ESTADO MOJADO DE LAS SUPERFICIES REPRESENTADAS EN LA FIGURA

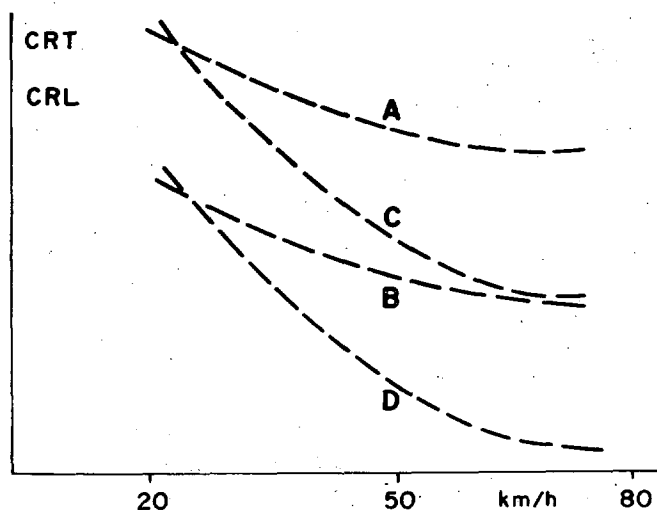


Figura 28.

gitudinal CRL, que se determina con el plano de la rueda paralelo al sentido de la marcha y con un cierto porcentaje de deslizamiento en la rodadura, y el coeficiente de deslizamiento transversal CRT, que se mide con el plano de la rueda formando un cierto ángulo con el sentido de la marcha y con la rueda girando libremente, tal y como se muestra en las figuras 29 y 30.

En ambos tipos de medida los valores varían con las condiciones del ensayo: neumático liso o ranurado, espesor de la película de agua, porcentaje de deslizamiento de la rueda, ángulo

COEFICIENTE DE ROZAMIENTO LONGITUDINAL (CRL,CFL,BFC)

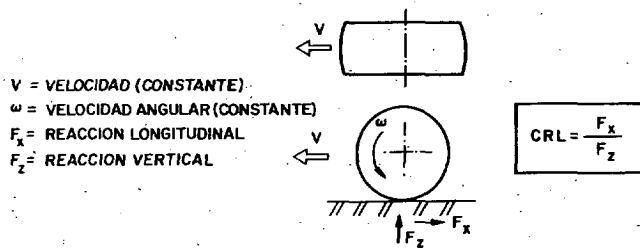


Figura 29.

COEFICIENTE DE ROZAMIENTO TRANSVERSAL (CRT,CFT,SFC)

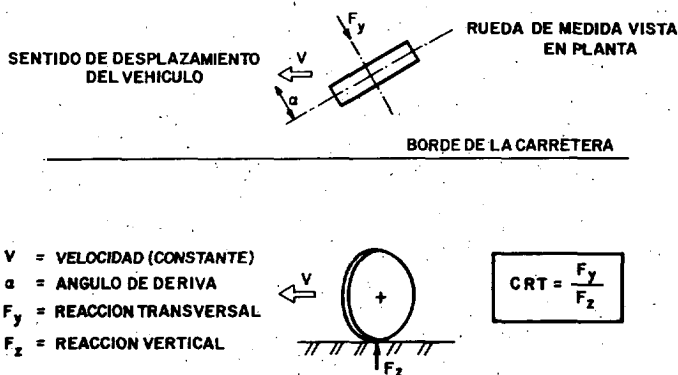


Figura 30.

de inclinación de la rueda y, por supuesto con la velocidad. En la figura 31, puede verse la influencia sobre los coeficientes de rozamiento transversal y longitudinal del espesor de la lámina de agua, del tipo de neumático, liso y ranurado, y de la velocidad. Se representan, también, los resultados del ensayo en seco, que justifican la utilización en tiempo seco de neumáticos lisos en las carreteras de fórmula.

Existen varios modelos de aparatos para las medidas del rozamiento transversal y longitudinal. En nuestro país para la medida del primero se utiliza el equipo inglés SCRIM (Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine) y para la medida del rozamiento longitudinal, la Dirección General de Carreteras dispone del Skidometro BV-6 fabricado en Suecia. El primero se utiliza para ensayos de rutina mientras que el segundo se usa como equipo de investigación.

Los métodos de medida de la macrorrugosi-

dad tienen por objeto conocer la capacidad drenante de la superficie y se dividen en directos e indirectos. Los directos utilizan drenómetros, que miden el tiempo que tarde en drenar una cantidad de agua conocida, con o sin presión, de un recipiente colocado sobre la superficie de la carretera. Se trata de un método puntual. Como equipo de mayor rendimiento existe el Drainoroute francés, que mide la drenabilidad de forma continua a 15 Km/h.

Entre los métodos indirectos el más utilizado es el ensayo de la mancha de arena. Se trata de una medida puntual y resulta lento y molesto para el tráfico, por lo que se están empezando a utilizar equipos de mayor rendimiento que emplean la técnica láser y que desarrollan velocidades de hasta 100 Km/h.

INFLUENCIA DEL ESPESOR DE AGUA SOBRE LOS COEFICIENTES DE ROZAMIENTO TRANSVERSAL Y LONGITUDINAL PARA NEUMATICOS CON BUEN RELIEVE Y LISO. (7)

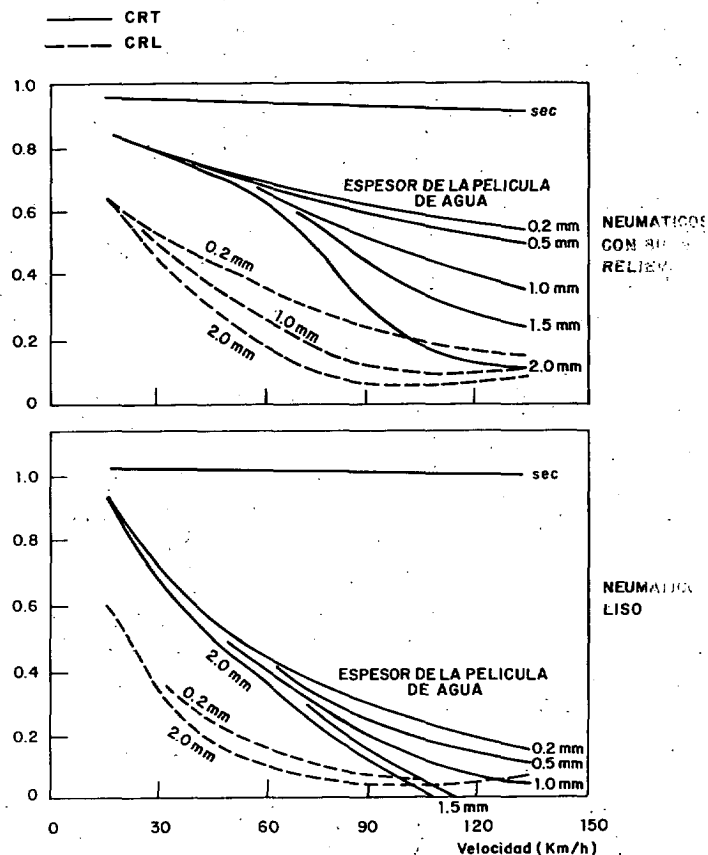


Figura 31.

3.3. Prescripciones sobre textura en el Contrato

Todas las prescripciones relativas a la calidad de los áridos son contractuales en los diferentes países; por el contrario, existe mucha más reserva en lo que concierne a la resistencia al deslizamiento —coeficientes de rozamiento longitudinal y transversal— y a la macrorrugosidad —altura de arena—, en donde los valores preconizados, cuando existen guardan el carácter de recomendaciones, con pocas excepciones.

La explicación está en el temor a las implicaciones de tipo legal. Existe una tendencia generalizada a responsabilizar al ingeniero encargado de la conservación en cuanto se sospecha que un accidente puede deberse al más leve incumplimiento legal, y esto no parece justo, cuando por una parte, no se suele disponer a tiempo de los medios financieros y de personal necesarios para resolver el problema de la adherencia de forma sistemática y satisfactoria y, por otra parte, se corre un grave riesgo de que se adjudiquen responsabilidades ajenas a la textura superficial, dado el elevado número de factores implicados.

En nuestro país, los límites provisionales recomendados para el coeficiente de rozamiento transversal son:

$CRT > 0,50$ Bueno.

$0,40 < CRT < 0,50$ Seguimiento de la evolución.

$CRT < 0,40$ Intervención.

En cuanto al ensayo de la mancha de arena en pavimentos de hormigón, se exige 1 mm. de altura, valor medio de al menos 10 ensayos con ninguno inferior a 0,6 mm. Esta exigencia está recogida en el Pliego.

3.4. Soluciones para corregir los pavimentos deslizantes

En nuestras carreteras la corrección de superficies deslizantes se viene efectuando mediante dos tipos de soluciones distintas: los tratamientos con lechadas antideslizantes y la colocación de nuevas capas de rodadura de mezcla bituminosa con árido resistente al pulimento.

Los tratamientos con lechada, de bajo coste

relativo, pueden resolver el problema en el caso de carreteras con baja intensidad de tráfico pesado, o pueden constituir una solución de emergencia, de duración limitada, en el caso de carreteras con intensidad elevada de tráfico pesado.

La extensión de una nueva capa de mezcla bituminosa es la mejor solución cuando el pavimento, además de ser deslizante, no tiene suficiente capacidad estructural, pero si no se necesita reforzar el firme, es una solución cara.

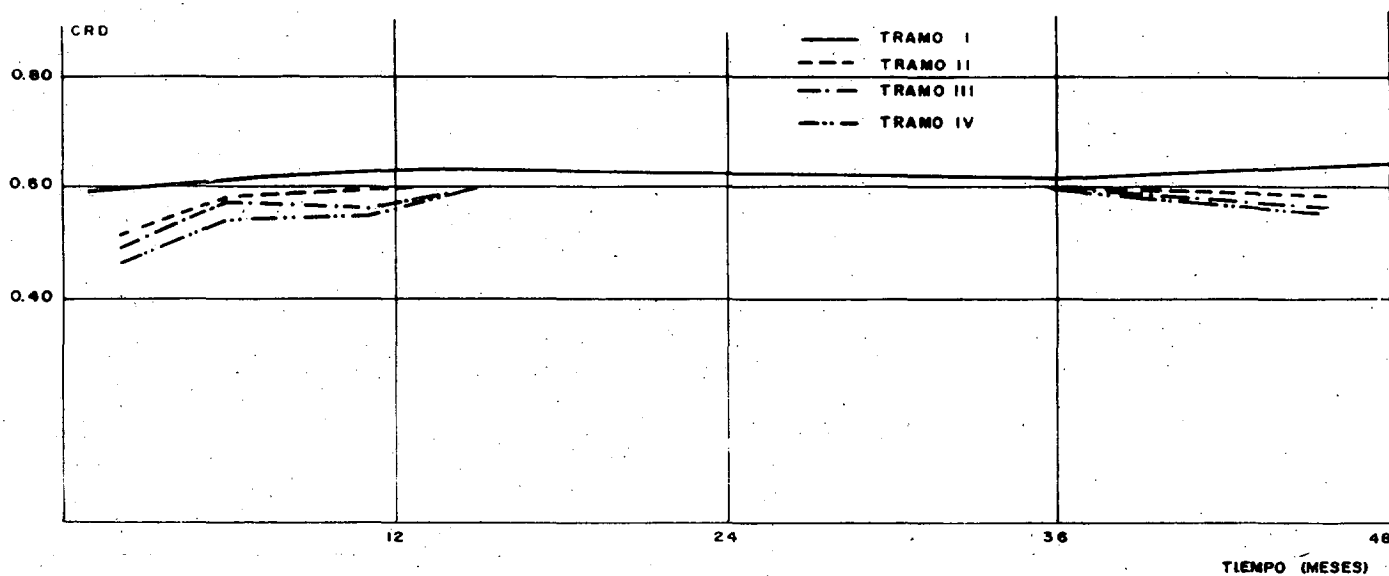
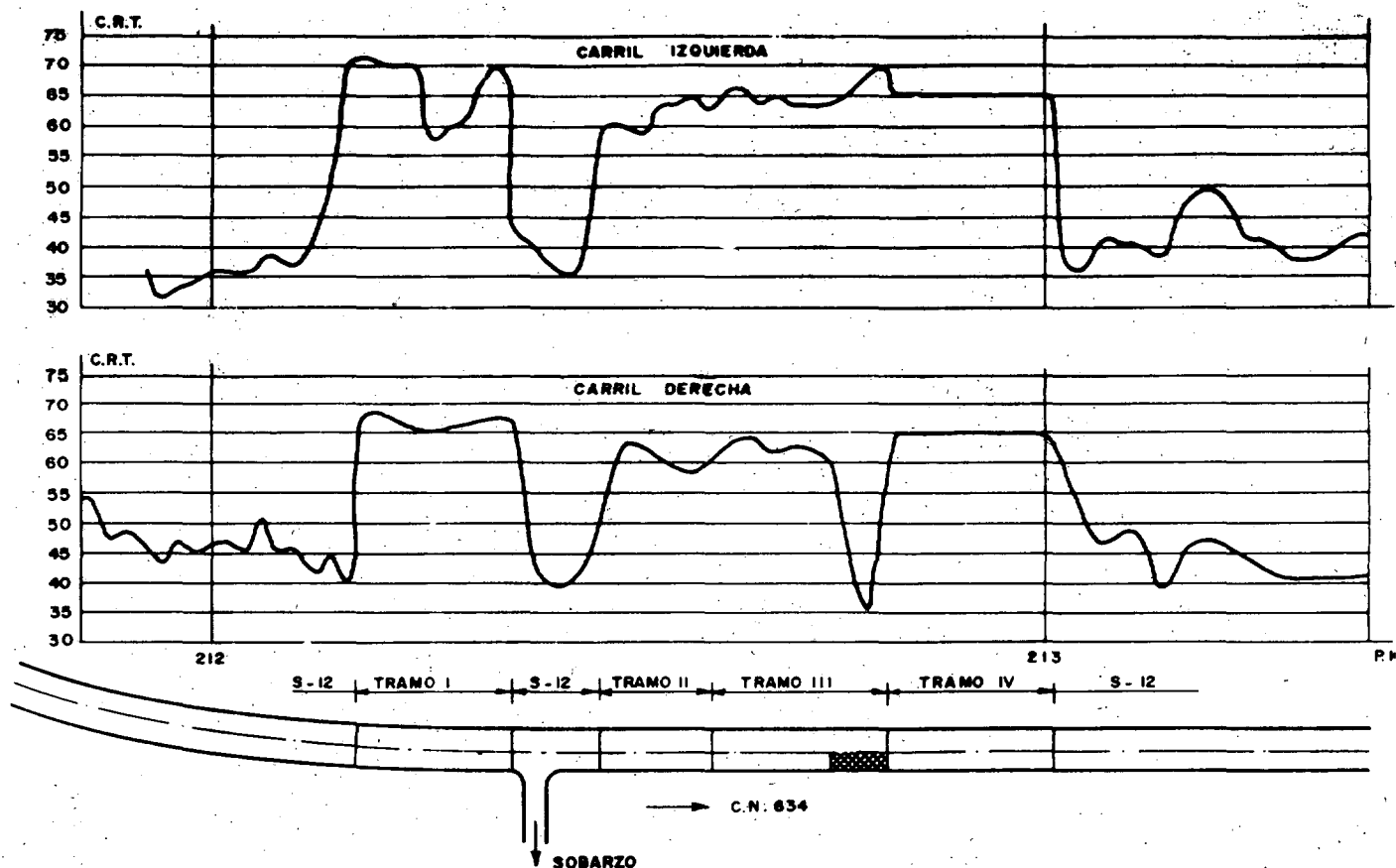
Existe una solución intermedia que viene adoptándose con éxito en algunos países europeos, particularmente en Francia. Consiste en la extensión, sobre la capa de rodadura deslizante, de un tratamiento superficial realizado con áridos muy resistentes al desgaste y al pulimento y ligantes especiales de alta viscosidad que garanticen una buena adherencia a la superficie existente.

Al emplearse formulaciones de áridos con granulometría discontinua se consiguen texturas superficiales que, además de la microrrugosidad exigida a los áridos, tienen una elevada macrorrugosidad que permite la evacuación de las aguas superficiales.

En España se han realizado, por la Dirección General de Carreteras, unos tramos experimentales de este tipo de riegos en zonas de diferentes condiciones climáticas y con distintos tipos de formulaciones, con objeto de estudiar su comportamiento y disponer de experiencia propia para elaborar la normativa correspondiente.

La figura corresponde a la evolución del coeficiente de rozamiento transversal medido con el SCRIM en el tramo construido entre los puntos kilométricos 101 y 105 de la N-II, en la provincia de Guadalajara, y puede observarse el alto coeficiente inicial de rozamiento que se consigue con este tipo de tratamiento y la durabilidad del mismo.

Otra solución que se ofrece prometedora es la construcción, sobre la superficie deslizante, de una capa de 3 ó 4 cm. de aglomerado drenante. Las figuras corresponden a los primeros tramos construidos en Santander y en ellas se aprecia claramente la mejora conseguida en el coeficiente de rozamiento respecto a la super-



ficie existente, así como la buena conservación de esta característica con el tiempo. Los aglomerados drenantes tienen, además, otras dos importantes ventajas:

- La posibilidad de utilizar áridos de peores características que en otros tratamientos antideslizantes.
- La evacuación instantánea del agua de lluvia.

La primera ventaja, la posibilidad de utilización de áridos no aprovechables con otros sistemas de corrección es, en algunas regiones de importancia decisiva. Tal es el caso de Mallorca, con un problema de deslizamiento endémico originado por el empleo de áridos calizos de características bastantes deficientes. El problema se ha resuelto con el empleo de aglomerados drenantes fabricados con el mismo árido que en el aglomerado convencional presentaba serios problemas de pulimento.

La evacuación del agua es el punto de caída, sin recorrido adicional hasta el arcén, garantiza, incluso con fuertes lluvias, que el espesor de la película de agua sea muy pequeño. La proyección de agua por los neumáticos del vehículo que circula delante disminuye de forma espectacular, como se muestra en las diapositivas, que están tomadas con el mismo

régimen de lluvia y con pocos minutos de diferencia, una rodando sobre aglomerado tradicional y la otra sobre aglomerado drenante.

BIBLIOGRAFIA

1. D. G. de Carreteras. Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes. 1975.
2. D. G. de Carreteras. Instrucciones 6. 1, 6. 2, y 6. 3-IC para el proyecto y refuerzo de firmes.
3. D. G. de Carreteras. Notas Técnicas sobre Tratamientos Superficiales de alta calidad realizados en la CN-II. Provincia de Guadalajara. 1977 y 79.
4. D. G. de Carreteras. Instrucción sobre Secciones de Firme en Autovías. 1986.
5. Félix E. Pérez Jiménez y otros. Diversos trabajos relacionados con el Ensayo Cántabro y los aglomerados drenantes.
6. Conclusiones del Comité Técnico de Características Superficiales. XVII Congreso Mundial de Carreteras. Sydney. Australia, 1983.
7. O. C. D. E. Caractéristiques de Surface des revêtements routiers. París, 1984.
8. L. C. P. C. — Setra, Catalogue des structures types de chaussées neuves, 1977.
9. J. P. Christory. Erodabilité des fondations et comportement des chaussées. Bull. liaison L. P. C. 138-1985.
10. Albert Paré. De nouvelles possibilités d'utilisation de granulats calcaires en couches de roulement. Revue General des Routes et des Aerodromes, 514, Nov. 1975.
11. M. Ray, J. P. Christory, J. P. Poilane. Drainage and erodability: international seminar synthesis and new research results related to field performance. Third international Conference on Concrete Pavement Design and Rehabilitation. Purdue University, 1985.

