

MOPU

18

Mezclas bituminosas porosas

Mezclas bituminosas porosas

INDICE

1.	INTRODUCCION	7
2.	CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS POROSAS. VENTAJAS Y LIMITACIONES DE SU EMPLEO	13
2.1	Ventajas y limitaciones del empleo de las mezclas bituminosas porosas.	17
3.	OBRAS REALIZADAS	23
3.1	Procedimiento empleado en su ejecución y puesta en obra	27
4.	ANALISIS Y EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE LAS OBRAS REALIZADAS	29
5.	CRITERIOS PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCION DE CAPAS DE RODADURA POROSA A PARTIR DE LA EXPERIENCIA EXISTENTE	41
5.1	Criterios para el proyecto y dosificación de las mezclas porosas	43
5.2	Espesor de capa y sección estructural	46
6.	CONCLUSIONES	49

ANEJO

I.	Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares para la ejecución de capas de rodaduras drenantes	57
II.	Determinación de la pérdida por desgaste de mezclas bituminosas mediante el empleo de la máquina de Los Angeles (Ensayo Cántabro)	61
III.	Determinación de la permeabilidad in situ en pavimentos drenantes mediante el empleo del permeámetro LCS.	65

1.

INTRODUCCION

INTRODUCCION

El propósito de esta Nota Técnica es hacer llegar, a los ingenieros relacionados con la construcción y conservación de firmes de carreteras, las experiencias y conclusiones que sobre el empleo de mezclas porosas en caliente, en capa de rodadura para tráfico pesado, se han obtenido en nuestro país desde su primera utilización, en febrero de 1980.

Desde esta fecha, el empleo de este tipo de capa de rodadura ha ido en aumento, tanto por la mejora de seguridad y de comodidad que supone para el usuario, como por su buen comportamiento y amplio campo de aplicación. Se emplean como capa de rodadura de firmes de nueva construcción, en renovación superficial, refuerzo de firmes, así como en pavimentación urbana y de pistas de aeropuertos.

El objetivo inicial que se buscó con estas mezclas fue su empleo en climas lluviosos para aumentar la seguridad y comodidad de la circulación de los vehículos con lluvia.

La presencia de agua sobre el pavimento dificulta el contacto del neumático con la superficie del firme, dando lugar a que se produzcan con mayor facilidad ocasiones para el deslizamiento y vuelco de los vehículos que circulan a altas velocidades.

Con objeto de mejorar la adherencia neumático-pavimento con lluvia o en presencia de agua, se desarrolló este tipo de pavimento, consistente en una capa de rodadura porosa, capaz de absorber rápidamente el agua caída sobre el firme, lo que permite mantener la superficie de éste libre de agua, incluso con lluvia (figura 1).

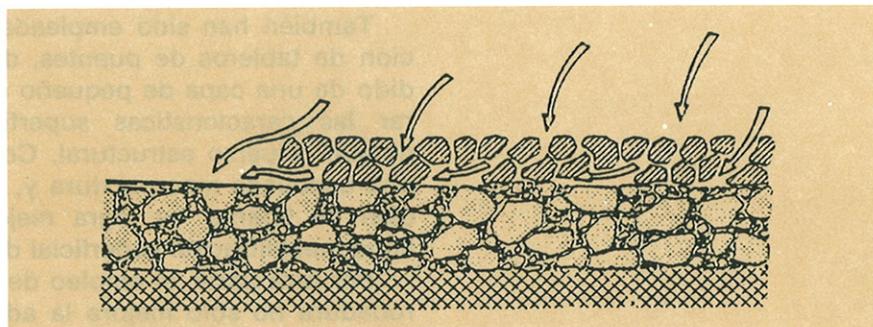


Fig. 1
Mezclas porosas.
Capas de rodadura drenantes.

No obstante, la experiencia ha puesto de manifiesto el interés del empleo de este tipo de aglomerado para mejorar, en todo momento y en cualquier condición climatológica, la adherencia del neumático al pavimento.

Frente a los pavimentos clásicos convencionales, las mezclas porosas presentan una mayor macrotextura, lo que mejora la adherencia del neumático al firme a altas velocidades. Por otra parte, su alta porosidad facilita el contacto del neumático con el pavimento con lluvia o en presencia de agua sobre el firme.

Este aumento de adherencia puede observarse claramente en la figura 2, donde se representan los valores obtenidos para el coeficiente de rozamiento transversal, medidos con el SCRIM a 80 km/h, en dos tramos contiguos, de la misma antigüedad y contruidos con los mismos materiales, uno de ellos pavimentado con una mezcla densa, tipo S-12 y el otro con una mezcla porosa.

INTRODUCCION

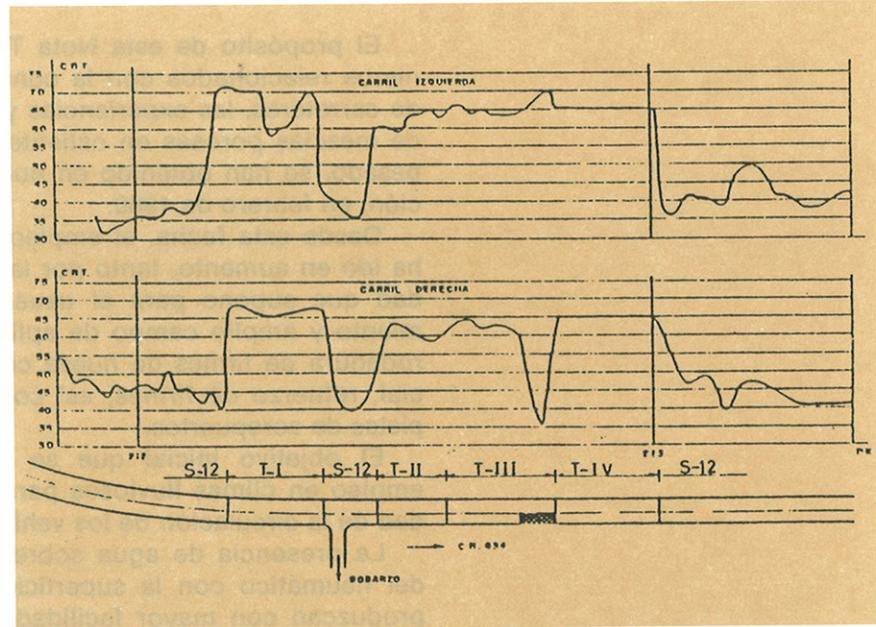


Fig. 2
Valor del coeficiente
de rozamiento transversal
medido con el aparato Scrim
a 80 km/h y 1 mm de agua (X-82).

Esta mejora de adherencia ha permitido utilizar, en la construcción de la capa de rodadura del firme, áridos de insuficiente resistencia al deslizamiento. Caso de Palma de Mallorca, donde se han conseguido con áridos pulimentables, capas de rodadura seguras, frente al problema de deslizamiento que presentaban los aglomerados convencionales fabricados con los mismos tipos de áridos.

También han sido empleadas en la pavimentación y conservación de tableros de puentes, donde suele ser necesario el extendido de una capa de pequeño espesor (2 cm), con el fin de mejorar las características superficiales del pavimento sin buscar ningún refuerzo estructural. Con este tipo de mezcla se consigue una adecuada macrotextura y, si se aumenta ligeramente la dotación de ligante, se logra mejorar la adherencia al tablero y la impermeabilización superficial de éste.

Por otra parte, el empleo de las mezclas porosas como capa de rodadura no sólo mejora la adherencia neumático-pavimento y la macrotextura de éste, sino que, en general, influye favorablemente en las demás características superficiales del firme: disminuye el nivel de ruido de la circulación de los vehículos, elimina la reflexión de la luz, reduce la proyección de agua, etc.

¿Cuál ha sido la razón por la que este tipo de pavimento no ha sido empleado de una forma más profusa? Quizás, esta razón haya que buscarla en la duda sobre la capacidad de estas mezclas, con un alto contenido en huecos, mayor del 16-18%, para poder resistir adecuadamente la acción destructiva del tráfico y de la intemperie. Hoy además de la experiencia internacional que avala el empleo de este tipo de capa de rodadura para tráfico rápido y pesado, tenemos nuestra propia experiencia que viene a corroborar lo injustificado de este temor y apoyar el empleo de este tipo de pavimento para mejorar la comodidad y seguridad del tráfico rodado. Las obras realizadas han mostrado un comportamiento y una duración similar o mejor que los pavimentos convencionales,

INTRODUCCION

presentando además, las capas de mezcla porosa, una capacidad de réfuero tan importante como la de un aglomerado denso.

Se recogen en esta memoria, en primer lugar, las características de este tipo de capa de rodadura y las ventajas de su empleo. En segundo lugar se presentan las diferentes obras de carreteras pavimentadas en nuestro país con mezcla porosa. A continuación se analiza el comportamiento de estos tramos en servicio. Por último se presentan una serie de conclusiones referidas a su proyecto y empleo, deducidas de la observación de los tramos en servicio.

2. CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS POROSAS. VENTAJAS Y LIMITACIONES DE SU EMPLEO

CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS POROSAS. VENTAJAS Y LIMITACIONES DE SU EMPLEO

El empleo de mezclas bituminosas porosas en capa de rodadura fue desarrollado en un principio con el objeto de mejorar la adherencia entre el pavimento y el neumático en presencia de agua. Se buscaban pavimentos que facilitasen la eliminación del agua que se interpone, con el firme mojado, entre el pavimento y el neumático (fig. 3).

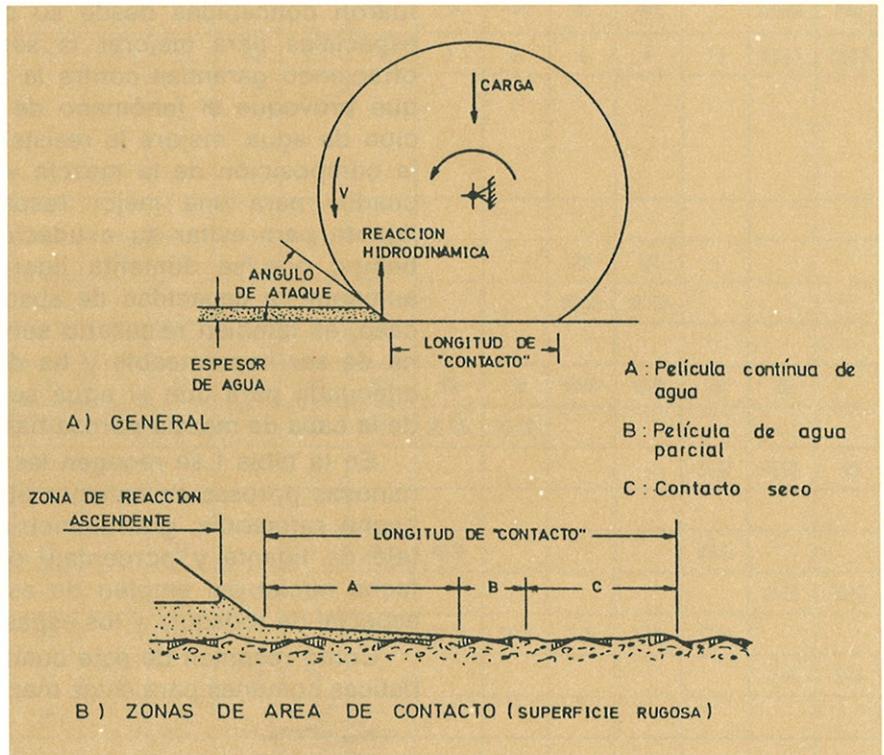


Fig. 3
Zonas de contacto entre el neumático y la superficie del pavimento en presencia de agua.
(Desmont F. Moore)

En los pavimentos impermeables, el agua caída sobre el firme es eliminada de la zona de contacto pavimento-neumático a través de los dibujos de éste. El agua es proyectada y pulverizada al paso de los vehículos. La macrotextura del pavimento favorece el contacto del neumático con el pavimento a la vez que permite la evacuación del agua.

Con la utilización de pavimentos porosos se facilita enormemente la evacuación de este agua a través de los poros de la mezcla, y, además, dada la permeabilidad y capacidad para almacenar agua de estas capas, se consigue mantener la superficie del pavimento libre de agua, incluso bajo precipitaciones de cierta intensidad. De esta manera, se evitan también las molestias producidas por las proyecciones de agua de los vehículos.

Dos son las tendencias observadas en el desarrollo de estas mezclas en los diferentes países. En algunos países como Estados Unidos y Sudáfrica se emplean pequeños espesores (alrededor de 2 cm) y dotaciones de ligante entre el 5 y 7%, mientras que en Europa y Japón los porcentajes de ligante utilizados son más bajos (4-5%) y los espesores de capa más elevados, del orden de 4 centímetros.

CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS POROSAS. VENTAJAS Y LIMITACIONES DE SU EMPLEO

En el caso de Estados Unidos y Sudáfrica se trata normalmente de operaciones de conservación, como unidad alternativa a un tratamiento superficial, con el fin de mejorar la calidad de rodadura de firmes deslizantes o degradados superficialmente. Se utilizan mezclas con exceso de ligante con el fin de sellar el pavimento existente.

En Europa y Japón las capas de mezclas bituminosas porosas fueron concebidas desde su principio como capas de rodadura especiales para mejorar la seguridad y comodidad del usuario, ofreciendo garantías contra la formación de una película de agua que provoque el fenómeno de hidropelaje, disminuya la proyección de agua, mejore la resistencia al deslizamiento, etc. Por ello, la composición de la mezcla y los espesores utilizados son adecuados para una mejor respuesta. Se limita el porcentaje de ligante para evitar su exudación y asegurar la permeabilidad, al tiempo que se aumenta ligeramente el espesor con el fin de aumentar la capacidad de absorción de agua de la capa. En este caso, es también necesario señalar que la superficie de extendido ha de ser impermeable y ha de tener una regularidad superficial adecuada para que el agua sea conducida con facilidad a través de la capa de mezcla porosa hasta los bordes de la calzada.

En la tabla I se recogen las características de las mezclas bituminosas porosas en caliente utilizadas en los países a que hemos hecho referencia: granulometrías, penetración del betún, porcentaje de ligante y porcentaje de huecos en mezcla, así como la fecha inicial del empleo de este tipo de aglomerado como capa especial de rodadura y los espesores normalmente empleados.

Como resumen de este cuadro aparecen las siguientes características comunes para estas mezclas:

a) Composición

- Tamaño máximo: 10-20 mm
- Arido grueso (retenido en el tamiz 2,5 UNE): 75-95%
- Filler: 2-6%
- Betún (Europa y Japón): 3,5-5,5%
- Huecos iniciales en mezcla: 10-30%

b) Materiales

Aridos

Deben poseer unas características similares a las exigidas en construcción de capas de rodadura con mezclas bituminosas en caliente.

- Aridos limpios, duros, procedentes de machaqueo o trituración de piedra de cantera o grava natural.
- Coeficiente de desgaste de Los Angeles <25%.
- C.P.A. >0,45%.
- Índice de lajas <25%.
- Índice de adhesividad árido fino >4.
- Equivalente de arena de la mezcla de áridos >50%.

CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS POROSAS. VENTAJAS Y LIMITACIONES DE SU EMPLEO

TABLA I
COMPOSICION DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS POROSAS

Características	Bélgica		Dina- marca	Estados Unidos		Francia	Holanda	Italia	Japón	Noruega	Reino Unido					Sudáfrica		
	0/16	0/22	0/19 o nada	FHWA	FAA	RN721	SCW	Istrana	Route	Fornebu	0/10			0/19		1953	1976	
											BS	PSA	TRRL	BS	TRRL		Gruesa	Fina
Espesor (cm)	≥4	≥5	4	1.3-2.5	1.9	4	3.2-4.5	2.5	3.4	2.5	2	2	2	4	4	1.9	1.9-2.5	1.9-2.5
% Pasa																		
Tamiz (mm)																		
#																		
25																		
19			100				100	100	100					100	100			
	22	100	98-100											90-100	90-100			
	16	98-100	68-82															
13			45	100	100	100		98	95-100	100	100	100	100	50-80	50-80	100	100	
10			32	95-100	80-100	97		81		90	85-100	90-100	90-100					
	12	70-88	90-65													81-88	75-90	100
	8	40-65	35-95															
6.3			25			50		48			30-60	40-55				33-40		
4.75				30-50	25-70	40		37	23-45	37							25-50	30-50
3.35						27					10-20	22-28	22-28	5-20	5-20	12-14		
2.36				5-15	12-20	22	17-26		15-30	19							5-15	5-19
2			18			20		20										
	2	15-19	16-20															
1.18																8-11		
0.074 % Filler	4-6	4-6	5	2-5	3-9	5	4.6-8	7	2-7	5	2-6	3-5	3-5	2-6	2-6	5-6	2-5	2-5
Betún																		
Porcentaje %	4.5-5.5	4.0-5.0	4.1-4.3	5-6.5	5-2.7	4.6	4.5-4.7	4.2-4.5	3.5-5.5	4-5	4.5-5.5	4.75-5.25	4.4-4.6	3.6-4.8	4-5	4.5-7.5	4.5-6.5	4.5-6.5
Penetración	180/220 80/100	180/220 80/100	100	40-100	60-100	80/100	80/100	60-80	60/80 80/100		200	200	150	200	150	200	60-70	60-70
% Huecos iniciales	10-20	10-20	23	≥ 15	30	22-25		17				20-28	20-29		20-29			
Fecha inicial	1968	1968	1973	1974	1976	1978	2	1976 a 1977	1975	1973	1978	1973	1970	1968	1970	1953	1976	1976

Filler

Por lo menos un 50% del filler total de la mezcla será de aportación. Es importante conseguir un buen mástico que dé cohesión a la mezcla y resista la acción de la intemperie y del agua.

Ligante

Betunes de penetración B-60/70, aunque también se han

CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS POROSAS. VENTAJAS Y LIMITACIONES DE SU EMPLEO

empleado menos viscosos y más raramente B-40/50. También se pueden emplear betunes modificados.

c) Tipo de Mezcla

La mezcla es de tipo abierto, generalmente de granulometría continua. No existe un huso común admitido, como puede observarse en la tabla I, aunque en la práctica las granulometrías empleadas son relativamente similares y se corresponden con las características antes señaladas en cuanto a composición de estas mezclas.

2.1 Ventajas y limitaciones del empleo de las mezclas bituminosas porosas

El comportamiento de las mezclas bituminosas porosas ha puesto de manifiesto una serie de ventajas que aconsejan su empleo en capa de rodadura, entre las que destacan:

1. *Mantiene elevada la resistencia al deslizamiento bajo lluvia y elimina o reduce considerablemente la posibilidad de que se produzca el fenómeno de hidropneumático.*

Uno de los objetivos que se pretendía conseguir, cuando se pensó en utilizar aglomerados porosos en capa de rodadura, era el de eliminar el problema de hidropneumático o aquaplaning. El hidropneumático consiste en la pérdida total del control sobre la dirección del vehículo, al interponerse una película de agua entre los neumáticos y el pavimento. El vehículo pierde la adherencia con el pavimento y el riesgo de vuelco o de trombo es muy elevado, con el consiguiente peligro para los ocupantes del mismo y de los vehículos próximos.

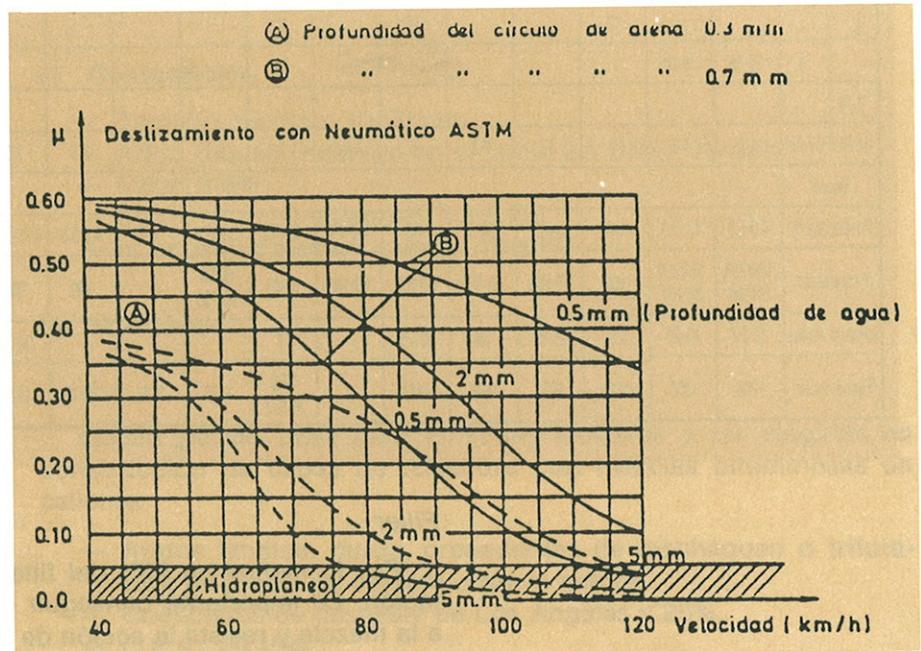


Fig. 4
Variación del coeficiente de deslizamiento con la macrotextura del firme, velocidad y espesor de la película de agua. (S. Huschek)

Cómo se observa en la figura 4, este problema de hidropneumático es más fácil que ocurra cuanto menor sea la macrotextura del pavimento y mayor sea el espesor de la película de agua sobre

CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS POROSAS. VENTAJAS Y LIMITACIONES DE SU EMPLEO

éste*. La mejora notable que las mezclas porosas producen sobre el fenómeno del hidroneo se debe principalmente a estos dos efectos:

- 1º Aumentan la macrotextura del pavimento.
- 2º Mantienen la superficie del pavimento libre de agua.

Aumento de la macrotextura. Las capas de rodadura fabricadas con mezcla bituminosa porosa presentan una superficie lisa, llena de oquedades, que le proporcionan una alta macrorrugosidad (profundidad del círculo de arena no inferior a 1,5 mm). Esto da lugar a que mejore el rozamiento neumático-pavimento en presencia de agua a alta velocidad, sin que por ello aumente el nivel del ruido producido por la rodadura de los vehículos.

Eliminación del agua de la superficie del pavimento. La alta porosidad y permeabilidad de estas mezclas posibilitan que, incluso bajo lluvia, no llegue a formarse una película de agua sobre la superficie del pavimento. El agua de la lluvia es absorbida rápidamente y almacenada por éste y, poco a poco, es evacuada a su través lateralmente hasta el borde de la calzada del arcén. Salvo con lluvias de larga duración o fuertes chubascos, no se forma película de agua que pueda reducir notablemente el contacto entre el neumático y el pavimento.

La capacidad de la mezcla para mantener el pavimento libre de agua depende de su porosidad y espesor, y es también función de la intensidad de la lluvia. De cualquier forma, esta es elevada. Como ejemplo, se necesitan más de 18 minutos de duración de una precipitación de 10 l/h de intensidad media para saturar una capa de mezcla con un 20% de huecos y 3 cm de espesor.

2. *Mantiene también elevada la resistencia al deslizamiento a altas velocidades.*

La pérdida de la resistencia al deslizamiento con la velocidad depende fundamentalmente de la macrotextura que presente la capa de rodadura.

Los resaltos que presenta un pavimento de macrotextura rugosa aumentan la deformación del neumático en su contacto con la superficie del firme, con lo que se consigue un mayor rozamiento. Esto hace que los pavimentos de elevada macrotextura presenten una menor caída de la resistencia al deslizamiento con la velocidad.

En el caso de los pavimentos de mezcla bituminosa porosa, las oquedades que aparecen en la superficie de la mezcla, proporcionan una elevada macrorrugosidad, aumenta la energía de deformación, y, en consecuencia, la resistencia al deslizamiento se mantiene elevada a altas velocidades.

Las mejoras en la adherencia neumático-pavimento logradas con este tipo de pavimento dependen también de la resistencia al puli-

(*) Las condiciones suelen ser más críticas en las pistas de aeropuertos, pero ciertos tramos de carretera con pequeña pendiente longitudinal pueden ser también potencialmente peligrosos.

CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS POROSAS. VENTAJAS Y LIMITACIONES DE SU EMPLEO

mento del árido empleado —microtextura de la mezcla— pero como se puede ver en la figura 5, se pueden conseguir firmes más antideslizantes que los actuales en uso.

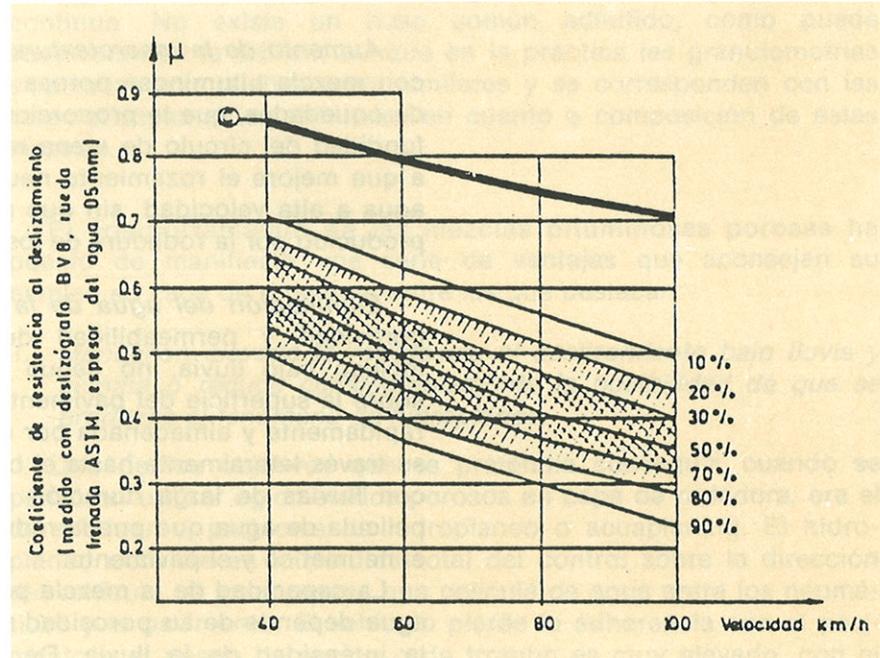


Fig. 5
Comparación de la resistencia al deslizamiento de una mezcla porosa respecto a la distribución de frecuencia medida en 220 pavimentos suizos. (S. Huschek)

3. Reducción del agua proyectada y pulverizada al paso de los vehículos.

Quizás sea éste uno de los efectos más espectaculares y a la vez más prácticos de este tipo de pavimento. Al mantener, incluso con lluvia, la superficie del pavimento libre de agua, ésta no es salpicada, ni proyectada, al paso de los vehículos.

Se consigue así una mejora considerable de la visibilidad con lluvia o pavimento mojado. Las fotografías de las figuras 6 y 7 reflejan la diferencia de visibilidad entre un pavimento convencional (mezcla S-12) y un pavimento de mezcla bituminosa porosa, para las mismas condiciones climatológicas.

4. Mejora de la visibilidad con pavimento mojado.

Con pavimentos mojados y sobre superficie de macrotextura lisa, sin resaltes ni oquedades, se produce con facilidad la reflexión de la luz, dando lugar, durante la noche, al deslumbramiento de los conductores que circulan en dirección contraria. Los pavimentos de textura rugosa, o lisos con oquedades, dispersan la luz y reducen el problema del deslumbramiento.

La menor reflexión de la luz en este tipo de pavimentos hace que se puedan divisar mejor las marcas viales.

CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS POROSAS. VENTAJAS Y LIMITACIONES DE SU EMPLEO



Fig. 6
*Proyección de agua
por el paso de un vehículo
sobre un pavimento convencional.*



Fig. 7
*Eliminación de la proyección
de agua por el paso de un vehículo
sobre un pavimento de mezcla porosa.*

5. Pavimentos de rodadura cómoda y silenciosa.

Las capas de rodadura fabricadas con mezclas bituminosas porosas presentan una superficie lisa, sin resaltos, con oquedades, que le proporcionan una elevada macrotextura, pero que no aumenta, respecto a los pavimentos normales construidos con mezclas densas y semidensas, ni el nivel de ruido, ni la vibración, al circular con el pavimento seco sobre ellas.

Con lluvia, la rodadura es más silenciosa, como mínimo 3 dB (A), respecto a los pavimentos usuales.

CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS POROSAS. VENTAJAS Y LIMITACIONES DE SU EMPLEO

6. *Aumento de la seguridad de circulación con lluvia por la menor tensión a la que está sometido el conductor.*

Bajo lluvia, la combinación de un pavimento libre de agua, la disminución del agua salpicada y pulverizada, y la prácticamente nula probabilidad de la pérdida de adherencia por hidropilaje, da al conductor una mayor sensación de comodidad y seguridad disminuyendo la fatiga de la conducción.

7. *Adecuado comportamiento mecánico.*

La estabilidad en laboratorio de estas mezclas es baja, pero la cohesión de la mezcla y el comportamiento interno de su esqueleto mineral son suficientes para impedir que con los pequeños espesores usuales (2-4 cm) se presenten problemas de deformaciones plásticas en servicio.

La cohesión y trabazón proporcionada por el ligante y la fracción de árido fino es suficiente para mantener la unión del árido en la mezcla e impedir que se produzcan peladuras y pérdidas del árido grueso.

La durabilidad también es buena, no habiéndose observado en los firmes en servicio problemas de degradación debidos a la acción del agua o del envejecimiento del ligante.

Junto a las ventajas señaladas es necesario también indicar los eventuales inconvenientes y limitaciones de las mezclas bituminosas porosas. Se trata, más bien, de dudas respecto a algunos aspectos de su comportamiento. Parte de ellas han sido ya resueltas y otras necesitan un mayor estudio y profundización. Como eventuales limitaciones de estas mezclas aparecen:

1. *Su vida de servicio puede ser más corta que la de una mezcla densa.*

Al tener una mayor porosidad y accesibilidad del agua puede esperarse una menor resistencia al envejecimiento y una posible pérdida de adherencia entre el árido y el betún. No obstante, y como se observa al estudiar el comportamiento de estas mezclas en firmes en servicio, no parece que debido a la mayor porosidad, la acción del agua, o del envejecimiento, afecte de una manera significativa la durabilidad de la mezcla. Hay que tener en cuenta que la película de ligante que envuelve a los áridos tiene en estas mezclas un mayor espesor que en las usuales.

2. *Pérdida de porosidad.*

Debido a la acción conjunta del tráfico y la intemperie se produce una reducción del porcentaje de huecos accesibles y de la capacidad de drenaje de la mezcla. Esta disminución de la porosidad puede suponer una pérdida parcial de las propiedades para las que la mezcla fue proyectada.

Sin embargo, la utilización de áridos con buena forma y alta resistencia al desgaste, así como la succión producida por el paso

CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS POROSAS. VENTAJAS Y LIMITACIONES DE SU EMPLEO

de los neumáticos ayudan a evitar que se produzca la colmatación de los poros, manteniendo sus cualidades iniciales en un alto nivel tras muchos años de servicio. En todo caso, esta colmatación será en general superficial en las zonas del pavimento no pisadas por el tráfico, con lo que el agua podrá ser evacuada por debajo de la costra formada.

3. Menor resistencia a la acción del petróleo y disolventes.

Debido a la mayor accesibilidad que tienen estas mezclas respecto a los aglomerados de tipo denso y semidenso utilizados en capa de rodadura, el problema de los disolventes puede ser más grave. Se trata en todo caso de un problema local y está solamente relacionado con tramos o zonas en que puede producirse el vertido de productos derivados del petróleo (rampas fuertes, ciertas áreas de aeropuertos) y se puede paliar con ligantes resistentes a la fluidificación.

4. Necesidad de apoyarse en un firme estructuralmente adecuado y de buena geometría.

Como toda capa de rodadura necesita apoyarse sobre un firme estructuralmente adecuado y ser extendida sobre una superficie impermeable y relativamente bien acabada que no impida la circulación del agua a su través hacia los arcnos.

En el caso de utilizar este tipo de mezcla sobre un firme ya en servicio se debe comprobar antes de su empleo el estado de la superficie en la que debe apoyarse, y en caso de que ésta presentase irregularidades o no fuese impermeable, será necesario proceder a su regularización con una capa de mezcla cerrada tipo denso o semidenso, o eventualmente a su impermeabilización.

5. Desagüe lateral en arcnos.

La utilización de estas mezclas presenta algunos problemas relacionados con el drenaje superficial del pavimento. La sección transversal del firme debe ser adecuadamente proyectada para que la capa de mezcla bituminosa pueda desaguar lateralmente, sin que los arcnos constituyan una barrera que impida la circulación del agua.

6. Vialidad invernal.

En algunos países de clima riguroso se ha observado un mayor consumo de sales fundentes para mantener la vialidad invernal. La menor eficacia del tratamiento se debe al parecer a que las sales disueltas penetran en el aglomerado, disminuyendo su eficacia. Este inconveniente sólo afecta a carreteras en las que se emplean sales con frecuencia, caso que es afortunadamente raro en España. Por otra parte, se obtienen resultados aceptables modificando la práctica usual en vialidad invernal.

3.

OBRAS REALIZADAS

OBRAS REALIZADAS

La utilización de las mezclas bituminosas porosas en capa de rodadura, con objeto de mejorar la seguridad y comodidad de la circulación de vehículos, ha ido en aumento en nuestro país a partir del año 1980, en que se construyeron los primeros tramos experimentales. Las realizaciones van desde carreteras comarcales hasta autopistas. Han sido empleadas en pavimentación, tanto de travesías como en vías urbanas e interurbanas, con independencia del clima y del tipo de tráfico. En todos los casos han tenido un resultado satisfactorio, llegando a veces a resolver problemas de seguridad y regularidad superficial que las técnicas y los procedimientos habituales son incapaces de resolver de manera adecuada.

Tal es el caso, por ejemplo, de Palma de Mallorca, donde los áridos existentes en la isla, de bajo coeficiente de resistencia al pulimento acelerado, resultan inadecuados cuando son empleados en aglomerados densos y semidensos, tipo S y D del PG-3/75. Sin embargo, cuando estos áridos son empleados en mezclas porosas, los firmes con ellas pavimentados no presentan problemas de deslizamiento y su respuesta es totalmente satisfactoria. Del buen comportamiento de este tipo de pavimento da fe el hecho de la profusión de su empleo en la isla y de su utilización en la construcción de la autopista que une Palma con su aeropuerto.

También, en el caso, por ejemplo, de la autopista Bilbao-Behovia, el empleo de este tipo de pavimento viene motivado no sólo para mejorar las condiciones de circulación con lluvia, sino, además, con el objeto de conseguir un pavimento de rodadura silenciosa dotado de una alta macrotextura. Esta macrotextura no es posible alcanzarla con los aglomerados densos y semidensos, y, por otra parte, los tratamientos superficiales especiales resultan más ruidosos y de rodadura menos confortable.

Otra situación, donde su empleo puede venir también a resolver y a suplir las carencias que presentan las técnicas convencionales, es en la conservación y mejora de la regularidad superficial de las obras de fábrica, puentes y viaductos. Normalmente se suele acudir al empleo de morteros y lechadas especiales, que no ofrecen la macrotextura necesaria, o a los tratamientos superficiales especiales. El uso de este tipo de mezcla en espesores de 2 cm, aumentando ligeramente la dotación de ligante, permite conseguir una adecuada macrotextura y regularidad superficial, a la vez que se consigue, gracias a su riqueza en ligante, una buena adherencia al tablero y la impermeabilización superficial de éste. Este procedimiento ha sido empleado en la conservación y mejora del pavimento de varios tableros de puente en la autopista Bilbao-Behovia.

En las tablas 2, 3 y 4 se recogen las realizaciones más significativas que se han llevado a cabo en nuestro país en el transcurso de estos años, indicando en cada caso la situación y características de los tramos realizados, así como la granulometría, tipo y dosificación del ligante empleado.

Es interesante fijarse en los porcentajes de árido fino empleado, por su influencia sobre la permeabilidad y resistencia a la colmatación de las mezclas fabricadas. Se han usado porcentajes comprendidos entre un 12 y un 23%, que corresponden a mezclas altamente permeables y otras que ya no lo son tanto, y que se

OBRAS REALIZADAS

TABLA 2
CARACTERISTICAS DE LOS TRAMOS CONSTRUIDOS Y MEZCLAS EMPLEADAS

N-634 Tramos Experimentales					Palma de Mallorca		Orense	Pamplona
	T-I	T-II	T-III	T-IV	C-719	Centro Urbano	OR-210	N-121
Longitud Km.	0.15	0.15	0.15	0.15	1.100	0.1	0.22	0.4
Situación P.K.	212,3	210,10	212,65	212,8	21	Palma	16	4
Espesor Capa cm.	4	4	4	4	3	3		4
GRANULOMETRIA % QUE PASA TAMICES UNE	20	100	100	100	100	100	100	100
	12.5	100	100	100	100	100	100	100
	10	90	91	90	83	89	89	87
	5	43	40	39	34	35	35	25
	2.5	14	20	18	18	18	18	16
	0.63	8	8	8	8	8	8	10
	0.32					6	6	
	0.08	5	5	6	5	4.4	4.4	3.5
Tipo de ligante ...	B 60/70	B 60/70	Betún + Elastomero	Betún + Elastomero	B 60/70	B 60/70	Betún + Elastomero	B 60/70
% ligante s/a	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.6
Fechas de construcción	19-II-80	28-IV-80	29-IV-80	28-IV-80	19-X-81	1982	XII-80	IV-82

TABLA 3
CARACTERISTICAS DE LOS TRAMOS CONSTRUIDOS Y MEZCLAS EMPLEADAS

SANTANDER CN-634 TRAMO SOLARES-BERANGA										
	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7	T-8	T-9	T-10
Longitud km	1	1	6	2	2	0.15	0.15	0.400	0.150	0.15
P.K. N-634	201	201	200	194	191	189	189	188.9	188.5	188.35
Espesor Capa cm .	4	4	3	3	3	4	3	3	2	2
GRANULOMETRIA % QUE PASA TAMICES UNE	20	100	100	—	—	—	100	—	—	—
	12,5	80	78	100	100	100	82	100	100	100
	10	60	56	84	77	84	67	81	82	83
	5	33	28	36	35	36	30	27	32	34
	2,5	14	12	17	13	17	19	16	14	16
	0,63	7	5	8	6	8	8	8	6	7
	0,32	6	4	7	5	7	7	6	5	6
	0,08	4	3	5	4	5	4	4	3,5	4
Tipo ligante	B60/70	B60/70	B60/70	B60/70	B60/70	B60/70	B60/70	betún + elastómero	B60/70	B60/70
% ligante s/a	4,5	4,1	4,3	4,1	4,3	5,1	4,7	4,8	4,3	5,3
Fechas de construcción	13-XI-81	19-XI-81	12-I-82	18-I-82	18-I-82	2-II-83	3-II-82	4-II-82	4-II-82	4-II-82

* Tramo de 6 m en el que los tres últimos km se ha pavimentado 0,5 m de arcén con m.b.p.

OBRAS REALIZADAS

TABLA 4
CARACTERISTICAS DE LOS TRAMOS CONSTRUIDOS Y MEZCLAS EMPLEADAS

	N-V	Autopista Bilbao-Behovia				A-6	N-I		N-VI	Palma Mall.
	Variante Navalcarnero	Calzada izquierda	Calzada derecha	Tablero puente	Arcenes	Calzada derecha	Villafria-Miranda		Begonte	Autopista PM-19
Longitud km	4	4.1	6.6	0.1		1	2.9	1.8	1.2	
Situación P.K.	29-33	39.9-44.0	40.2-46.8	73		43-44	249.5-250.2 304.2-306.4	250.2-251.5 306.4-306.9	532-533.2	
Espesor capa centímetros	3	4	4	2-3	3		4	4	4	4
GRANULOMETRIA % QUE PASA TAMICES UNE	20	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	12.5	99	99	99	99	98	100	79	100	100
	10	92	85	85	85	82	91	62	87	89
	5	39	35	35	35	24	55	38	25	37
	2.5	22	13	13	13	12	23	16	16	16
	0.63	10	7	7	7		9	9	10	8
	0.32	7					5	6		6
	0.080	4	3.5	3.5	3.5	4	3	3	4	4
Tipo de ligante	B 60/70	Betún+Elastómero		Bet.+Elas.	B-60/70	Bet.+Elast.	B-60/70	B-60/70	Bet.+Elas.	B-60/70
% Ligante (s/a)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.3	4.4	4.5	4.5	4.5	4.5
Fecha construc.	X-83	IV-86	IV-86	IV-86	IV-86	VII-86	IX-86	IX-86	85	V-86

sitúan en la parte superior del huso de las granulometrías empleadas con este tipo de mezcla.

También es importante analizar los porcentajes de filler y dosificaciones y tipos de ligantes empleados. A pesar de que se trata de mezclas con pocos finos, es conveniente que el porcentaje de filler en la mezcla sea alto, 3-5%, y de buena calidad. Normalmente el filler utilizado ha sido de aportación en un 50%.

El ligante empleado ha sido o un betún de penetración B60/70, o un betún de penetración mejorado por la incorporación de un elastómero, buscando en este último caso una mejora de la cohesión y características de la mezcla. Por el momento ambos tipos de ligante han sido empleados indistintamente.

Las dosificaciones de ligante usadas están comprendidas entre un 4 y un 5%. Únicamente, en un tramo corto se ha empleado un mayor porcentaje de ligante, 5,3%. En este caso, la mezcla se extendió en un espesor muy pequeño, 2 cm, conforme a la técnica empleada en EEUU, tratándose más de una capa de las características de un tratamiento superficial, en que se va buscando además la impermeabilización y sellado de la capa existente, que de una capa de rodadura drenante.

También se ha construido un tramo de 2 cm de espesor de capa, en el que se empleó la misma granulometría que en el caso anterior, pero con un menor porcentaje de ligante, 4,3%.

OBRAS REALIZADAS

3.1 Procedimiento empleado en su ejecución y puesta en obra

La fabricación y puesta en obra de estas mezclas bituminosas no presentan problemas especiales frente a los aglomerados convencionales empleados en capa de rodadura (mezclas tipo denso y semidenso).

Son más fáciles de extender y compactar. El acabado que se consigue con ellas es excelente. Si se ha presentado algún problema en cuanto a su extendido y compactación ha sido debido más a defectos de ejecución que al comportamiento y manejabilidad de la mezcla.

El tiempo de demora en el extendido y la temperatura de la mezcla son dos factores muy importantes a tener en cuenta en la ejecución. Cuando transcurre un tiempo considerable entre la fabricación y el extendido (>2 h), se produce un escurrimiento del ligante que va a parar al fondo de la caja del camión. Este escurrimiento del ligante, junto con el enfriamiento que se produce al retrasarse su extendido, hace que la mezcla no adquiera la cohesión y trabazón adecuada, siendo rápidamente levantada y disgregada por el tráfico.

También se observa que cuando la extensión de la mezcla no es uniforme y se producen coqueas, éstas aparecen, aunque menos profundas, después de la compactación. Para evitar que aparezcan estos fallos, se han de rellenar a mano las oquedades dejadas por la extendedora. De esta manera, la superficie queda perfectamente acabada después de que pase el rodillo compactador.

La compactación de la mezcla se realiza con 3 a 5 pasadas de un rodillo liso de 7 a 10 toneladas. Posteriormente, se puede pasar un rodillo neumático cuyo efecto en la compactación no es muy importante, ya que ni siquiera llega a marcar cuando entra a compactar, y cuya finalidad no es tanta la compactación sino la de eliminar la pegajosidad superficial inicial.

4.

ANALISIS Y EVALUACION
DEL COMPORTAMIENTO
DE LAS OBRAS REALIZADAS

ANÁLISIS Y EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE LAS OBRAS REALIZADAS

El análisis y evaluación del comportamiento de los tramos de carretera pavimentados con mezcla bituminosa porosa avalan por completo el empleo de estas mezclas con el fin de mejorar la seguridad y comodidad del tráfico rodado. En todos los casos la respuesta ha sido satisfactoria e, incluso, espectacular, por el efecto que ha tenido para mejorar la visibilidad y seguridad con lluvia o para conseguir pavimentos seguros y antideslizantes.

Se ha estudiado principalmente el comportamiento de los primeros tramos construidos en nuestro país en la carretera N-634, el año 1980. Del resto de las obras no se tienen datos tan abundantes, aunque las medidas efectuadas confirman los resultados y conclusiones obtenidos en este estudio.

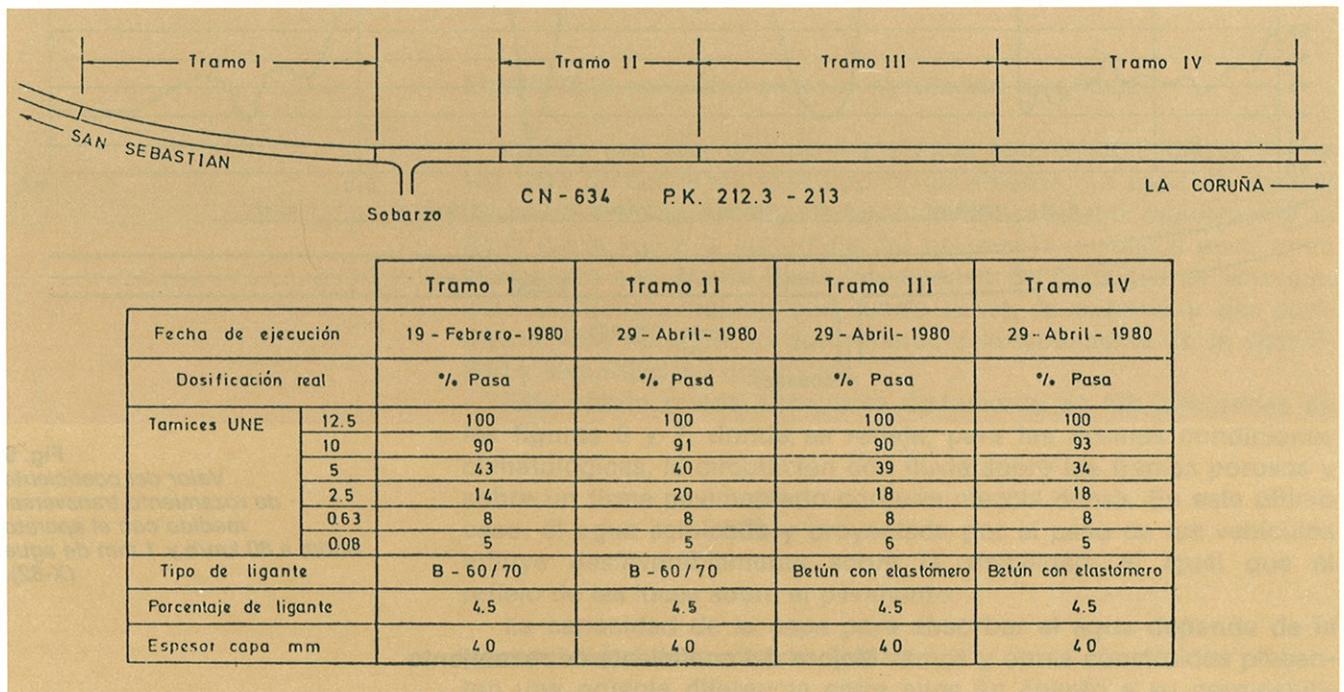


Fig. 8
Situación y características
de los tramos de ensayo.

Del comportamiento de estos tramos, cuyas características y situación se recogen en la figura 8, es interesante destacar las siguientes facetas:

- La alta resistencia al deslizamiento proporcionada por estas mezclas.
- El efecto de la porosidad sobre la circulación con lluvia.
- La evolución de la permeabilidad con el tiempo.
- Su durabilidad y resistencia para soportar adecuadamente la acción del tráfico y de la intemperie.
- Su capacidad de refuerzo.

ANALISIS Y EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE LAS OBRAS REALIZADAS

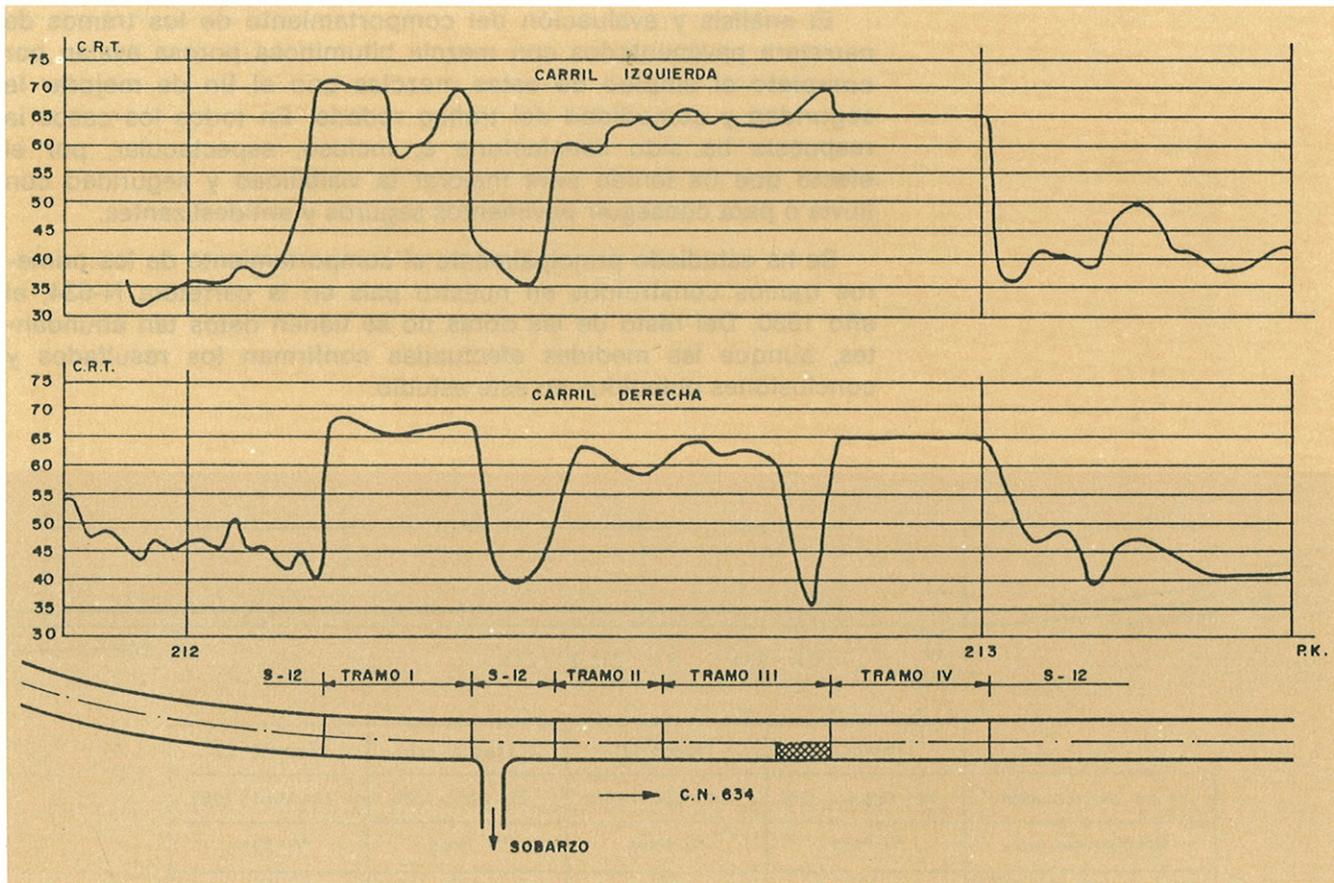


Fig. 9
Valor del coeficiente
de rozamiento transversal
medido con el aparato
Scrim a 80 km/h y 1 mm de agua
(X-82).

Mejora del coeficiente de rozamiento

La medida del coeficiente de rozamiento transversal con el SCRIM ha puesto de manifiesto la mejora que supone su empleo frente a las mezclas convencionales empleadas en capa de rodadura, mezclas tipo D y S del PG-3/75.

En la figura 9 se representan gráficamente los valores obtenidos en la medida del coeficiente transversal en los cuatro tramos experimentales y en los tramos contiguos, de la misma antigüedad, pavimentados con una mezcla tipo S-12. El árido empleado con ambos tipos de mezclas es el mismo: árido grueso, ofita y árido fino, caliza.

En dicha figura se observa que, mientras en los tramos pavimentados con mezcla porosa el coeficiente de rozamiento transversal es superior a 60 en todos los casos, en los tramos en que se ha empleado mezcla tipo S-12 este valor es inferior a 55 y a 40 en algún subtramo.

El valor medio del coeficiente de rozamiento transversal,

ANALISIS Y EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE LAS OBRAS REALIZADAS

medido a 50 km/h y con 1 mm de agua, del tramo de carretera situado entre los puntos kilométricos P.K. 212,300 y P.K. 213,000, que comprende los tramos experimentales y una pequeña zona pavimentada con mezcla tipo S-12 y otra pequeña zona bacheada, es de 59, mientras que el coeficiente medio en el resto de la carretera es de 49.

En la mejora de la resistencia al deslizamiento proporcionada por las mezclas porosas influye, además de su porosidad, la elevada macrotextura de estas mezclas. La macrotextura media de estos tramos, medida con el ensayo de la mancha de arena, está comprendida entre 1,2 y 1,5 mm.

También presentan estos tramos un elevado coeficiente de resistencia al deslizamiento longitudinal, comprendido entre 0,55 y 0,64 a los cuatro años de servicio, medido con el péndulo de fricción RRL.

Efecto de la porosidad sobre la circulación con lluvia

Quizás sea éste uno de los efectos más espectaculares y a la vez más prácticos de este tipo de pavimento. La capa de mezcla bituminosa actúa como una esponja que absorbe rápidamente el agua caída sobre la superficie del pavimento y poco a poco la va evacuando a su través hasta los arcones. Se consigue de esta manera mantener, incluso con fuerte lluvia, la superficie del pavimento libre de agua, lo que repercute notablemente en la visibilidad y seguridad del conductor.

Este efecto puede apreciarse claramente en las fotografías de las figuras 6 y 7, donde se refleja, para las mismas condiciones climatológicas, la circulación con lluvia sobre los tramos porosos y sobre un firme pavimentado con una mezcla densa. En este último caso, el agua salpicada y proyectada por el paso de los vehículos influye desfavorablemente sobre la visibilidad, al igual que el reflejo de las luces sobre el pavimento.

La capacidad de la capa para absorber el agua depende de la permeabilidad de la mezcla. Los tramos y obras construidos presentan una notable diferencia entre ellos en cuanto a su permeabilidad. Con objeto de poder valorar y medir estas diferencias se ha desarrollado en el Laboratorio de Caminos y Aeropuertos de la Escuela de Caminos de Santander un permeámetro especial, permeámetro LCS, que permite valorar in situ la permeabilidad de la capa a partir del tiempo que tarda en infiltrarse en el pavimento una determinada cantidad de agua, (fig. 10).

Las medidas realizadas muestran que en unos casos se han conseguido unas mezclas altamente permeables y en otros casos esta permeabilidad es algo baja. En la tabla 5 se recogen los valores obtenidos en la medida de la permeabilidad inicial de diferentes tramos, junto con las características de la granulometría y dosificación de las mezclas empleadas.

Se observa, en las mezclas correspondientes a las primeras cuatro columnas, de similares porcentajes de filler y de ligante y con el mismo tamaño máximo de árido, la enorme influencia que tiene el porcentaje de árido fino sobre la permeabilidad alcanzada. Su

ANALISIS Y EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE LAS OBRAS REALIZADAS

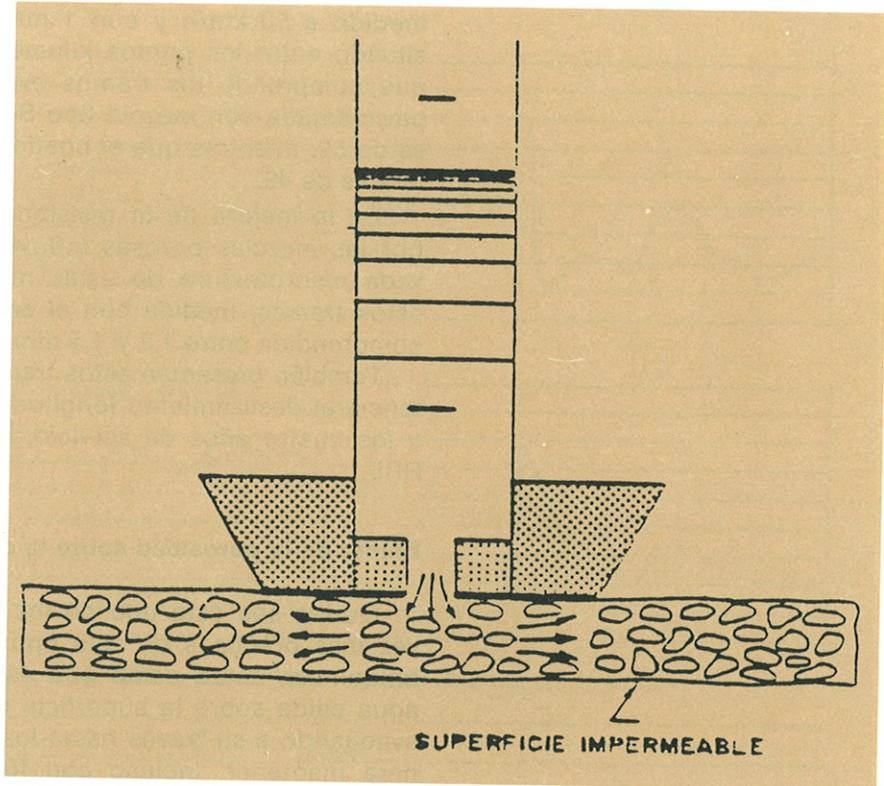


Fig. 10
Esquema del proceso de medida.
Permeámetro L.C.S.

TABLA 5
MEDIDA DE LA PERMEABILIDAD IN SITU. PERMEAMETRO L.C.S.

Referencia de la mezcla	Autopista Bilbao-Behovia	T-8	T-3	Autopista Variante de Navacarnero	T-7	T-2	T-1	T-6
Situación	A	N-634	N-634	N-V	N-634	N-634	N-634	N-634
P.K.	44-45	188.9	200	29-33	189.05	201	200	189.2
GRANULOMETRIA % QUE PASA TAMICES UNE	20					100	100	100
	12.5	100	100	100	100	78	80	82
	5	35	32	36	89	27	33	30
	2.5	13	14	17	22	16	14	19
	0.080	3.5	3.5	5	4	4	3	4
Tipo de ligante	B+E	B+E	B 60/70	B 60/70	B 60/70	B 60/70	B 60/70	B 60/70
% ligante (s/a)	4.5	4.8	4.3	4.5	4.7	4.1	4.5	5.1
Permeabilidades (s)	22	35	58	100	80	65	110	120
Coef. permeabilidad estimado K (cm/s×10 ⁻²)	32	17	9	4	6	7	4	3
Tiempo transcurrido desde la construcción	1 mes	4 meses	4 meses	6 meses	4 meses	4 meses	4 meses	4 meses

ANALISIS Y EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE LAS OBRAS REALIZADAS

variación entre un 13 y 22% supone reducir la permeabilidad en un 88%.

Las cuatro primeras columnas corresponden a mezclas del mismo tipo, la mezcla de la quinta columna es diferente. En el primer caso se trata de mezclas de granulometría continua, compuesta por un árido fino, una gravilla 3-6 y un árido grueso 5-12,5.

La mezcla del tramo T-7 está compuesto por una arena 0-5 y un árido grueso 5-12,5. Esto hace que sus curvas granulométricas presenten dos quiebros característicos, unas en el tamiz 2,5 UNE y las otras en el tamiz 5 UNE (fig. 11). Estos son los dos tipos de

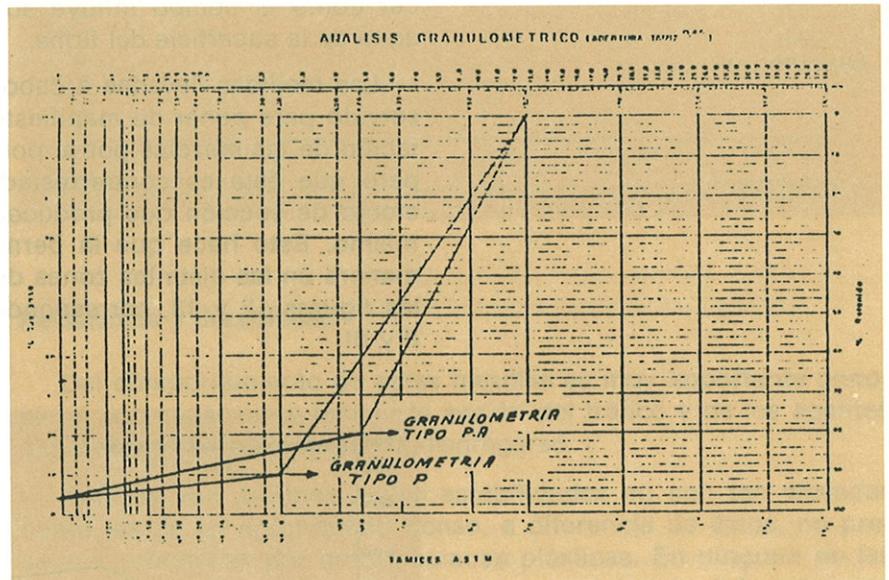


Fig. 11
Granulometrías tipo empleadas.

curvas granulométricas que fundamentalmente se han empleado en nuestro país en la construcción de los tramos de mezclas porosas.

Respecto a las otras tres mezclas empleadas, con un mayor tamaño de árido grueso, cabe hacer el mismo comentario. Las mezclas T-2 y T-1, fabricadas con un árido fino, gravilla 3-6 y árido grueso 5-20, presentan menor permeabilidad cuanto mayor es el porcentaje de árido fino empleado. La mezcla T-6, fabricada con una arena caliza y un árido grueso ofítico, 5-20, es la que menor permeabilidad presenta de todas las fabricadas.

Si se comparan entre sí mezclas fabricadas con granulometrías del mismo tipo, con el mismo porcentaje de árido fino, pero distinto tamaño máximo, se observará una disminución notable de la porosidad al aumentar el tamaño máximo. Consecuencia lógica del menor porcentaje de huecos en áridos que presentan las granulometrías de igual porcentaje de árido fino y mayor tamaño de árido grueso.

Como resultado también del análisis de la respuesta de las obras realizadas y de la medida de la permeabilidad in situ con el permeámetro, se han fijado unos valores a partir de los cuales puede calificarse la permeabilidad de la capa de deficiente. Así, para tiempos medidos con el permeámetro LCS superiores a 200

ANALISIS Y EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE LAS OBRAS REALIZADAS

segundos, la permeabilidad de la mezcla se supone escasa o deficiente.

Por otro lado, la permeabilidad del tramo se calificaría de apreciable para valores del tiempo, medido con el permeámetro LCS, inferiores a 100 segundos.

Evolución de la permeabilidad

Un dato importante para la evaluación del comportamiento de estas mezclas es la evolución de su permeabilidad. Es decir, conocer como el tiempo influye sobre su capacidad para eliminar el agua de la superficie del firme.

Las medidas llevadas a cabo en los tramos experimentales han servido para poner de manifiesto que existe un proceso de colmatación de las mezclas por el polvo y suciedad caída sobre el firme, pero que éste es contrarrestado en la zona de rodadura por el efecto de succión que producen los neumáticos al rodar sobre el mismo. Esto hace que la permeabilidad evolucione de diferente manera en las distintas zonas del carril, como puede apreciarse en las figuras 12 y 13, correspondientes a los tramos experimentales II y III.

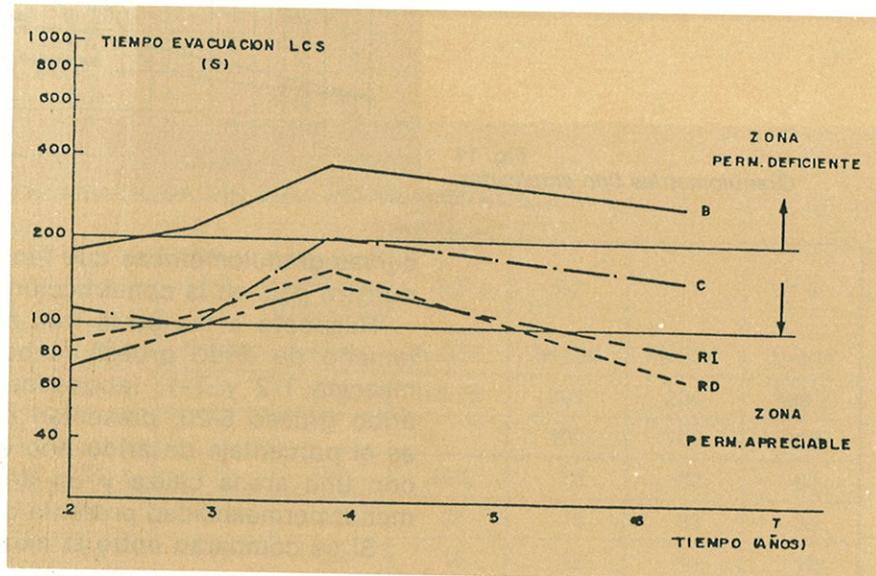


Fig. 12
Evolución de la permeabilidad en
las diferentes zonas del carril (tramo II).

Se observa que en la zona de rodadura la permeabilidad de la mezcla se mantiene, mientras que la zona centro y el borde del carril se han ido poco a poco colmatando. Es decir, que en la zona de rodadura de los vehículos, que es la que más nos interesa, la mezcla sigue manteniendo su permeabilidad con el transcurso del tiempo.

Por otra parte, la colmatación es fundamentalmente superficial, y no impide que el agua se vaya evacuando por el interior de la capa hasta los arcenes.

ANÁLISIS Y EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE LAS OBRAS REALIZADAS

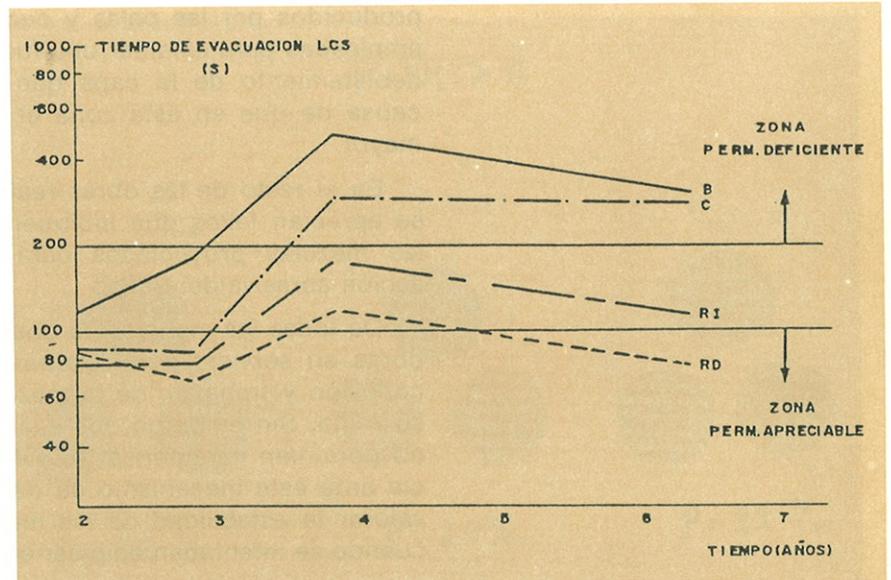


Fig. 13
Evolución de la permeabilidad en las diferentes zonas del carril (tramo III).

Resistencia y durabilidad

Del comportamiento de estas mezclas es muy importante conocer si son capaces de resistir la acción del tráfico y de los agentes atmosféricos sin deformarse ni disgregarse.

Aunque son mezclas cuyas estabilidades no son tan elevadas como las de un aglomerado denso, a diferencia de éstos, no presentan problemas por deformaciones plásticas. En ninguna de las obras realizadas se aprecia que se hayan producido deformaciones plásticas en la zona de rodada de los vehículos. La experiencia extranjera también viene a confirmar este hecho.

Las obras y tramos realizados han servido también para poner de manifiesto la capacidad de estas mezclas para resistir adecuadamente los esfuerzos tangenciales del tráfico y la acción de los agentes atmosféricos.

El aumento del porcentaje de huecos en la mezcla supone disminuir su cohesión y resistencia mecánica. Por otra parte, se facilita el proceso de envejecimiento producido por la acción del agua y de los agentes atmosféricos. No obstante, con un correcto y adecuado proyecto y dosificación de estas mezclas se consigue dotarlas de la cohesión necesaria para resistir convenientemente las solicitaciones tangenciales del tráfico.

Así se ha puesto de manifiesto en los tramos experimentales contruidos en la N-634 que, tras siete años de servicio, presentan un deterioro superficial por abrasión, peladuras, baches, zonas disgregadas, etc., similar e incluso menor que los tramos contiguos, de la misma antigüedad, pavimentados con mezclas densas. Sólo en el tramo I aparece una zona con un mayor porcentaje de peladuras y disgregaciones, consecución de los surcos y arañazos

ANALISIS Y EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE LAS OBRAS REALIZADAS

producidos por las palas y cuchillas de las máquinas quitanieves empleadas para eliminar una fuerte nevada en el invierno del 82. El debilitamiento de la capa que suponen estos surcos ha sido la causa de que en esta zona el deterioro y fallo de la mezcla sea mayor.

En el resto de las obras realizadas más recientemente tampoco se aprecian fallos que indiquen una insuficiencia de cohesión de las mezclas proyectadas para poder resistir adecuadamente la acción abrasiva del tráfico.

De todas las maneras, la observación del comportamiento de las obras en servicio pone claramente de manifiesto que la falta de cohesión y trabazón de la mezcla puede ser la causa principal de su ruina. Sin embargo, los ensayos mecánicos existentes en 1980 no permitían caracterizar ni valorar el comportamiento de la mezcla ante este mecanismo de deterioro. Eran ensayos destinados a valorar la estabilidad de las mezclas, que resultaban inadecuados cuando se intentaban emplear en medir otra propiedad distinta.

Por esta razón se desarrolló en el Laboratorio de Caminos y Aeropuertos de la Escuela de Caminos de Santander el «Ensayo Cántabro de Pérdida por Desgaste», destinado a medir la resistencia de la mezcla ante este mecanismo de deterioro. El ensayo consiste en introducir, sin bolas, una probeta en la máquina de Los Angeles y determinar su pérdida en peso tras 300 revoluciones. Durante el ensayo la probeta de mezcla introducida se va desgastando y este desgaste es tanto mayor cuanto menor es la cohesión de la mezcla, fotografías de las figuras 14 y 15. En estas fotografías aparecen las probetas antes y después del ensayo y se observa claramente el efecto del contenido de árido fino y del betún sobre la resistencia de la mezcla.

El ensayo desarrollado es de una gran precisión y exactitud y su utilidad no se reduce a la dosificación de mezclas porosas, sino que puede ser empleado en el proyecto de cualquier otro tipo de aglomerado donde la función del ligante sea fundamentalmente la

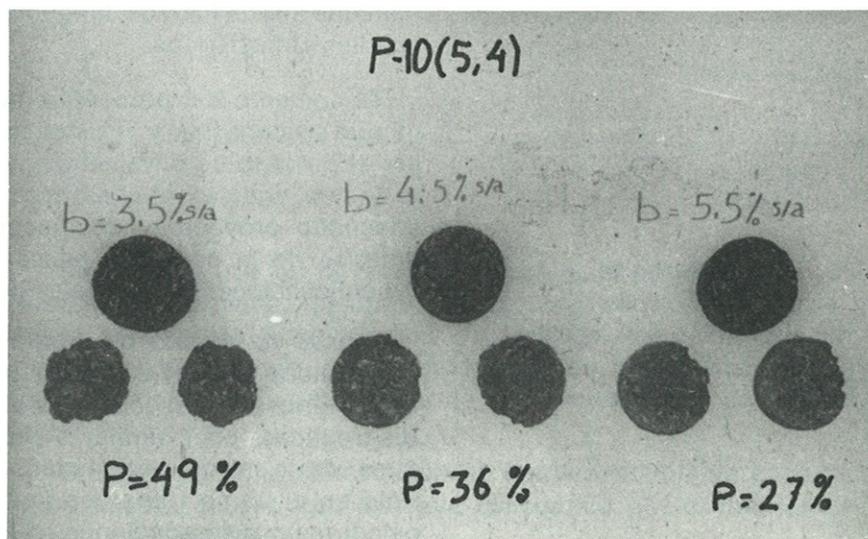


Fig. 14
Ensayo de pérdida por desgaste.
Influencia del contenido de ligante.
Mezcla P-10 (5,4).

ANALISIS Y EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE LAS OBRAS REALIZADAS

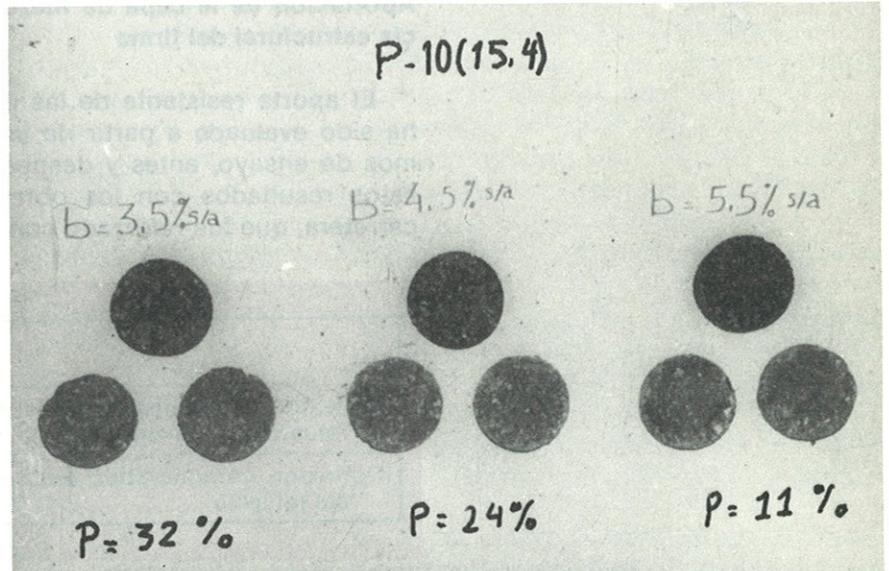


Fig. 15
Ensayo de pérdida por desgaste.
Influencia del contenido de ligante.
Mezcla P-10 (15,4).

de proporcionar una adecuada cohesión a la mezcla. Caso, por ejemplo, de las mezclas abiertas, tanto en frío como en caliente.

En la actualidad se trabaja en intentar relacionar los valores de pérdida por desgaste obtenidos en el laboratorio con el comportamiento de la mezcla. El ensayo fue desarrollado con posterioridad a la construcción de los tramos de ensayo, y de las mezclas empleadas en otras realizaciones, de las que se conoce su desgaste, todavía es pronto para sacar conclusiones.

Las mezclas utilizadas en las que se determinó su resistencia a la abrasión, tienen una pérdida por desgaste comprendida entre el 12 y el 35%, tabla 6. Para las mezclas empleadas en los tramos I y II de la carretera N-634 se han estimado, a partir de sus composiciones, unas pérdidas del 17 al 23%, respectivamente. Aunque todavía no se tienen datos suficientes para establecer los valores máximos de pérdida por desgaste que puedan ser aceptables con estas mezclas, parece aconsejable que éstas no sean superiores al 30 o 35%.

TABLA 6
**PERDIDA POR DESGASTE Y HUECOS DE LAS MEZCLAS PROYECTADAS.
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE DOSIFICACION EN LABORATORIO
(TEMPERATURA DE ENSAYO 18°C)**

	N-634 tramo Solares-Beranga								Autopista Bilbao-Behovia	
	P-12 (15,4) B-60/70		P-12 (10,4) B-60/70		P-10 (15,4) B-60/70		P-10 (10,4) B-60/70		P-10 (10,4) Bet.+Elast.	
	% ligante	Huecos (%)	Desgaste (%)	Huecos (%)						
3,5	19	30	21	35	21	33	24	40	24	30
4,5	16	16	19	26	19	24	22	34	22	20
5,5	14	14	18	18	17	14	20	22	20	15

ANALISIS Y EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE LAS OBRAS REALIZADAS

Aportación de la capa de mezcla bituminosa porosa a la resistencia estructural del firme

El aporte resistente de las capas de mezcla bituminosa porosa ha sido evaluado a partir de la medida de la deflexión en los tramos de ensayo, antes y después de su construcción, comparando estos resultados con los obtenidos en otro tramo de la misma carretera, que fue reforzado con una mezcla semidensa.

	Tramo mezcla porosa	Tramo mezcla semidensa
Deflexión característica antes del refuerzo (1/100 mm)	82	93
Deflexión característica después del refuerzo	45	52

Aunque estos resultados no son suficientes para sacar una conclusión definitiva sobre la capacidad de refuerzo de las mezclas bituminosas porosas en caliente utilizadas en capa de rodadura, sí ponen de manifiesto que tienen una capacidad de refuerzo importante, similar a la de una mezcla semidensa. A esta conclusión han llegado también los investigadores belgas e ingleses.

5.

CRITERIOS PARA EL PROYECTO Y
CONSTRUCCION DE CAPAS
DE RODADURA POROSA

CRITERIOS PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCION DE CAPAS DE RODADURA POROSA

5.1 Criterios para el proyecto y dosificación de las mezclas porosas

El proyecto de las mezclas porosas se plantea como un compromiso entre la permeabilidad y la resistencia a la disgregación.

Contenidos elevados de betún, de filler y de árido fino producen mezclas de una gran cohesión y de una gran resistencia a la disgregación, pero de una permeabilidad débil, hasta el punto que ellas cesan de ser verdaderamente mezclas porosas. Por el contrario, reducir el porcentaje de estos componentes en la mezcla puede reducir notablemente su resistencia mecánica.

En el laboratorio se ha estudiado la influencia que la granulometría de la mezcla y su contenido en ligante tienen sobre su permeabilidad y resistencia a la disgregación. Se han estudiado dos tipos de granulometrías, unas formadas por un árido fino, un arrocillo 3-6 y un árido grueso, que se caracterizan por tener sus curvas granulométricas un quiebro en el tamaño 2,5 UNE, y un segundo tipo de curvas granulométricas constituidas por una arena y un árido grueso, y caracterizadas por un quiebro en el tamiz 5 UNE.

De la primera familia de curvas granulométricas se han ensayado 12 granulometrías, que se diferencian por el tamaño máximo del árido empleado, por el porcentaje de árido fino o por el porcentaje de filler. Los resultados obtenidos han sido recogidos en la tabla 7. Se designan de la forma P-a(b,c), siendo:

- a = máximo tamaño del árido empleado, en mm.
- b = porcentaje de árido fino (% pasa tamiz 2,5 UNE).
- c = porcentaje de filler.

**TABLA 7
CARACTERIZACION DE LAS MEZCLAS TIPO P EN LABORATORIO**

Ligante % Granul.	Huecos (%)			K (cm/s × 10 ⁻²)			Pérdidas por desgaste (%)		
	3,5	4,5	5,5	3,5	4,5	5,5	3,5	4,5	5,5
P-10 (10,2)	24	22	19	18	15	10	58	36	34
P-10 (10,4)	23	21	19	19	14	8	46	33	34
P-10 (10,6)	22	20	18	18	10	6	41	28	21
P-10 (15,2)	21	19	17	7	4	0,3	53	34	28
P-10 (15,4)	20	17	14	7	2	0,2	40	26	19
P-10 (15,6)	18	16	13	4	1	0,3	32	22	15
P-12 (10,2)	20	18	16	9	7	*	56	41	31
P-12 (10,4)	20	18	16	9	7	*	43	29	20
P-12 (10,6)	20	17	15	5	4	*	37	28	26
P-12 (15,6)	20	18	15	4	2	0,2	54	32	30
P-12 (15,4)	19	16	12	3	1	0,1	40	23	16
P-12 (15,6)	17	15	12	2	*	*	28	18	12

Ligante B-60/70. Temperatura ensayo de Desgaste 18°C.

* No determinado >>>0,1.

CRITERIOS PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCION DE CAPAS DE RODADURA POROSA

De la segunda familia de curvas únicamente se han ensayado 8 granulometrías, todas con un tamaño máximo de árido de 10 mm. Se ha variado el porcentaje de árido fino y de filler. Los resultados obtenidos se recogen en la tabla 8, y al igual que en el caso anterior se designan de la forma PA-X(Y,Z), siendo:

- X = máximo tamaño del árido empleado, en mm.
- Y = porcentaje de arena, (% pasa tamiz 5 UNE).
- Z = porcentaje de filler.

TABLA 8
CARACTERIZACION DE LAS MEZCLAS TIPO PA EN LABORATORIO

Ligante % Granul.	Huecos (%)			K (cm/s × 10 ⁻²)			Pérdidas por desgaste (%)		
	3,5	4,5	5,5	3,5	4,5	5,5	3,5	4,5	5,5
PA-10 (15,3) ...	25	23	21	27	19	7	54	44	34
PA-10 (15,5) ...	24	22	20	20	8	3	42	35	28
PA-10 (20,3) ...	22	20	18	11	8	2	42	29	21
PA-10 (28,5) ...	22	20	18	17	6	2	35	26	19
PA-10 (28,3) ...	20	18	15	9	4	1	39	26	15
PA-10 (28,5) ...	20	17	15	9	4	*	33	19	12
PA-10 (35,3) ...	18	16	14	4	*	*	33	21	17
PA-10 (35,5) ...	17	14	11	2	*	*	25	15	10

Ligante B-60/70. Temperatura ensayo de Desgaste 18°C.
* No determinado >>>0,1.

Del resultado de estos ensayos y del comportamiento de las mezclas en los tramos se deducen las siguientes conclusiones referidas a las granulometrías y materiales a emplear en la fabricación de estas mezclas.

Granulometrías

El comportamiento de estas mezclas sugiere la necesidad de conseguir una permeabilidad mínima de 1×10^{-2} cm/s y una pérdida por desgaste inferior al 35%.

Con cualquiera de las granulometrías tipo P ensayadas, esas limitaciones pueden ser fácilmente cumplidas dentro de los porcentajes habituales de ligante usados con estas mezclas, comprendidas entre un 4 y un 5%, sobre áridos.

Por ello, para las mezclas tipo P se recomienda un porcentaje de árido fino 0/3 comprendido entre el 10 y el 18%. El límite inferior para asegurar una cohesión mínima y el superior por razones de permeabilidad.

Con las mezclas tipo PA, un porcentaje de arena del 35%

CRITERIOS PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCION DE CAPAS DE RODADURA POROSA

resulta excesivo, con vistas a conseguir una permeabilidad mínima de la mezcla. Por ello, por las mismas razones, el porcentaje de arena 0/5 a utilizar estaría comprendido entre un 15 y un 30%.

En todos los casos se debe emplear un porcentaje mínimo de filler por su favorable efecto sobre la cohesión de las mezclas. Este mínimo cabe fijarlo en un 3% y el superior en un 6%.

Una vez fijados los porcentajes de árido fino y de filler o de arena y de filler, quedan completamente definidos los husos granulométricos de estas mezclas, (tabla 9).

TABLA 9
HUSOS GRANULOMETRICOS MEZCLAS POROSAS

Tamices UNE mm	Cernido Ponderal Acumulado (%)			
	Mezclas P		Mezcla PA	
	P-10	P-12	PA-10	PA-12
20	100	100	100	100
12,5	100	75-100	100	70-100
10	80-90	60-80	70-90	50-80
5	40-50	32-46	15-30	18-30
2,5	10-18	10-18	10-22	10-22
0,63	6-12	6-12	6-13	6,13
0,080	3-6	3-6	3-6	3-6

Materiales

El material granular a emplear en la fabricación de mezclas porosas deberá cumplir las exigencias habituales del PG-3 y de la Instrucción de Carreteras para mezclas bituminosas. No se requiere ninguna propiedad especial.

El filler, dada su especial importancia sobre la cohesión de la mezcla, será de buena calidad. No podrán utilizarse arenas o áridos finos con filleres de malas características, salvo que éstos sean eliminados. Normalmente, será de aportación en un 50% de su peso o prácticamente en su totalidad.

El ligante a emplear será en general un betún de penetración B60/70 o incluso B80/100 en áreas frías. El uso de betunes más duros repercute desfavorablemente sobre la resistencia al desgaste de la mezcla.

Se puede recurrir a ligantes especiales si se desea mejorar las características de la mezcla. El empleo de ligantes especiales, normalmente betunes de penetración a los que se ha incorporado un elastómero, permite conseguir mezclas muy permeables dotadas de una alta resistencia a la disgregación.

En nuestro país los ligantes normalmente empleados han sido betunes de penetración B60/70 y betunes mejorados por la incorporación de un elastómero.

CRITERIOS PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCION DE CAPAS DE RODADURA POROSA

Dosificación

Partiendo de los resultados de laboratorio y del comportamiento de los tramos en servicio, se ha llegado a establecer los siguientes criterios de proyecto como valores más convenientes a obtener en estas mezclas:

- El coeficiente de permeabilidad inicial no debería, en ningún caso, ser inferior a $1 \times 10^{-2} \text{cm/s}$, siendo deseable que no sea inferior a $5 \times 10^{-2} \text{cm/s}$.
- Los huecos en mezcla no deberían ser nunca inferiores al 16% y preferiblemente no serán inferiores al 18%.
- La pérdida por desgaste será, dependiendo de la temperatura de ensayo:
 - inferior al 35% y, en general, inferior al 30%, si el ensayo se realiza a $18 \pm 1^\circ\text{C}$.
 - inferior al 25% y, en general, inferior al 20%, si el ensayo se realiza a $25 \pm 1^\circ\text{C}$.

Respecto a los criterios dados en la Nota Técnica de 1982, se han modificado los criterios referidos a permeabilidad y huecos, habiéndose aumentado la permeabilidad y porcentaje de huecos exigidos a la mezcla.

5.2 Espesor de capa y sección estructural

El aglomerado poroso al mismo tiempo que absorbe el agua, actúa de embalse regulador de la lluvia caída sobre el firme. Esta penetra en el interior de la capa y poco a poco es evacuada lateralmente.

La capacidad de la capa para almacenar agua depende de su porosidad y espesor. Normalmente, suelen emplearse espesores de 3-4 cm. Con ellos suele conseguirse el suficiente volumen de huecos que impiden normalmente la saturación de las capas, salvo que se trate de fuertes aguaceros, con intensidad de lluvia alta y larga duración, que no es el caso más frecuente.

No obstante, aunque se produzca su saturación, la capa de mezcla porosa sigue cumpliendo su función de facilitar el contacto del neumático con el pavimento. La película de agua existente sobre el firme puede ser eliminada tanto superficialmente, a través de los dibujos del neumático, como ser evacuada a través de la capa de mezcla porosa impulsada e infiltrada al paso de los vehículos.

El espesor de capa a emplear depende también del tamaño máximo del árido utilizado en la mezcla. Con mezclas tipo P-12 y PA-12 deben extenderse capas de 4 cm. Con las mezclas tipo P-10 y PA-10 pueden emplearse capas de 3 o 4 cm.

También es necesario que la capa sobre la que se apoya sea impermeable y tenga una superficie regular que facilite que el agua sea evacuada lateralmente. No debe existir ningún obstáculo, bien sea arcenes, aceras, bordillos, muros, etc, que impida que el agua salga de la mezcla. En el caso de un bordillo o de un muro junto a la calzada, deberá dejarse una franja de 8-10 cm sin pavimentar donde se recoja el agua. Cuando en el lateral de la calzada

CRITERIOS PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCION DE CAPAS DE RODADURA POROSA

exista un arcén, la mezcla porosa debe llegar hasta él y acabar en un pequeño escalón de 2-3 cm que no resulta peligroso.

En cuanto a la sección estructural a emplear cuando se utiliza como capa de rodadura una mezcla porosa, ésta no tiene por qué ser diferente a la empleada con una mezcla densa o semidensa. Su capacidad de refuerzo ha sido puesta de manifiesto en la construcción de los tramos de ensayo, donde se han obtenido reducciones similares de la deflexión empleando 4 cm de una capa semidensa que con 4 cm de aglomerado poroso.

De este hecho aislado no se puede deducir que la capacidad de refuerzo de estas capas sea igual que la de un aglomerado denso, pero otros datos pueden venir a reforzar este supuesto.

En primer lugar, el módulo de rigidez de estas mezclas (figura 16), determinado en un ensayo dinámico de flexotracción, no difiere mucho del de una mezcla densa a la temperatura de 15-20°C. Dentro de este rango de temperaturas se encuentra con mayor frecuencia la superficie del pavimento, en primavera y otoño, cuando los problemas de fallo por fatiga son más importantes.

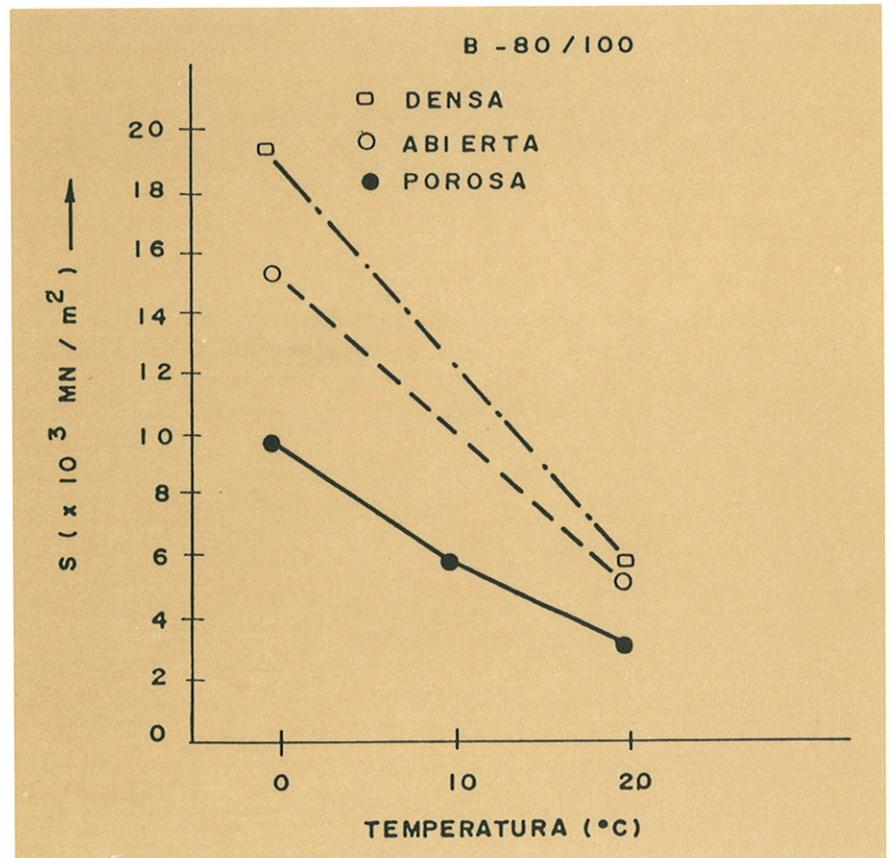


Fig. 16
Variación del módulo de rigidez
con la temperatura y la
compacidad de la mezcla
(Van Der Plas)

Respecto al fallo por deformación excesiva de la explanada, las condiciones más críticas se presentan en verano, al descender el módulo de rigidez de las capas de mezcla bituminosa. Para temperaturas altas el módulo de rigidez de las mezclas porosas es igual

CRITERIOS PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCION DE CAPAS DE RODADURA POROSA

o superior al de las mezclas densas, por su fuerte esqueleto mineral.

Por todo ello se propone emplear con las mezclas bituminosas porosas las mismas secciones estructurales y los mismos espesores totales de mezcla bituminosa que con una mezcla densa o semidensa. Opinión que no es muy distante de la dada por técnicos de otros países, con experiencia más dilatada que la nuestra sobre el empleo de mezclas porosas caso, de Bélgica, Holanda e Inglaterra.

6.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

El análisis del comportamiento de las obras en servicio ha servido para demostrar de una forma rotunda y clara las excelencias de las mezclas porosas como capa de rodadura:

- 1º Por sus características especiales para mejorar la seguridad y comodidad de la circulación con lluvia.
- 2º Por su elevada macrotextura que favorece la adherencia neumático-pavimento a altas velocidades.
- 3º Por su rodadura silenciosa.
- 4º Por su adecuado comportamiento mecánico.
- 5º Por su capacidad de refuerzo.

Por otra parte, las obras realizadas han servido también para poner de manifiesto que estas capas mantienen durante su vida de servicio las características iniciales de permeabilidad en un alto grado. El proceso natural de colmatación, que la suciedad y el polvo produce, se ve contrarrestado por el efecto que las fuerzas de succión de los neumáticos tienen para aspirar y limpiar esta suciedad de las oquedades de la mezcla.

Se deduce también de la observación de las obras realizadas y de la caracterización de estas mezclas en laboratorio, que su proyecto debe plantearse como un compromiso entre su permeabilidad y la resistencia a la disgregación. El Ensayo Cántabro de Pérdida por Desgaste se presenta como un procedimiento válido y aconsejable para valorar esta resistencia a la disgregación, siendo conveniente su empleo en la dosificación de estas mezclas.

BIBLIOGRAFIA

1. Kramer, C.; Pérez Jiménez, F.: «Experiencia española sobre mezclas bituminosas porosas». *International Workshop on Porous Asphalt*. Brunisse Holanda, septiembre, 1981.
2. Pérez Jiménez, F.; Kraemer, C.; Lacleta, A.: «Enrobes drainants. Etude de leurs caracteristiques en laboratoire et construction des premiers troncons d'essai espagnols». *Eurobitume Symposium*, Cannes, 1981.
3. Kraemer, C.; Pérez Jiménez, F.: «Evaluación del comportamiento de las mezclas bituminosas porosas en capa de rodadura». *Jornadas sobre el empleo de mezclas bituminosas porosas en capa de rodadura*. Santander, 1981.
4. Kraemer, C.; Pérez Jiménez, F.: «Estudio de la dosificación, características y comportamiento de las mezclas bituminosas porosas para capas de rodadura drenantes». (*Memoria I, II y III*). Universidad de Santander. Santander, 1980.
5. Pérez Jiménez, F.; Kraemer, C.; Lacleta, A.: *Mezclas bituminosas porosas*. Nota técnica. M.O.P.U., Dirección General de Carreteras. Madrid, 1982.
6. Pérez Jiménez, F.; Calzada, M. A.; Luceño, A.: *Ensayo de pérdida por desgaste (ensayo, Cántabro) para la caracterización, dosificación y control de mezclas bituminosas abiertas*. Comisión técnica RILEM 56-MHN. Belgrado, 1983.
7. Pérez Jiménez, J.; Calzada, M. A.; Luceño, A.: *Análisis de la precisión y repetitividad del ensayo Cántabro de pérdida por desgaste*. Santander, 1984.
8. Calzada, M. A.: «Desarrollo y Normalización del ensayo de pérdida por desgaste aplicado a la caracterización, dosificación y control de mezclas bituminosas de granulometría abierta». *Tesis Doctoral*. Santander, 1984.
9. Pérez Jiménez, F.; Calzada, M. A.; Lázaro, L.: *Ensayo Cántabro de pérdida por desgaste*. Santander, 1984.
10. Pérez Jiménez, F.; Calzada, M. A.: *Mezclas bituminosas porosas. Estudios en Laboratorio de sus características permeables y resistencia a la abrasión*. Santander, 1984.
11. Pérez Jiménez, F.: «Mezclas bituminosas porosas». *Variante de Navalcarnero (N-V)*. Santander, 1983.
12. Pérez Jiménez, F.; Calzada, M. A.: «Mezclas bituminosas porosas. *Construcción tramo Solares-Beranga (N-634)*». Santander, 1984.
13. Pérez Jiménez, F.; Calzada, M. A.: «Mezclas bituminosas porosas. *Evaluación y análisis de los tramos experimentales en la carretera N-634*». E.T.S.I.C.C.P. Santander, 1985.
14. «International symposium on porous asphalt». Amsterdam, 1976. *Study Centre for Road Construction*. Arnhem, 1976.
15. «International workshop on porous asphalt». Briumisse, 1981. *Study Centre for Road Construction*. Arnhem, 1981.
16. «Open-graded friction courses for highways». NCHRP Synthesis 49. *Transportation Research Board*. Washington, 1978.

ANEJOS

PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TECNICAS PARTICULARES PARA LA EJECUCION DE CAPAS DE RODADURA DRENANTES

1. Mezcla bituminosa drenante en caliente

La mezcla bituminosa drenante cumplirá el Artículo 542 del PG3/75 con las especificaciones adicionales siguientes:

1.1 Materiales

1.1.1 Ligantes bituminosos

Se emplearán betunes de penetración B 60/70 y B 80/100. Podrán utilizarse betunes asfálticos mejorados mediante la adición de actividades, caucho, asfalto natural o cualquier otro producto sancionado por la experiencia. En tales casos, el Pliego de P.T.P. deberá establecer las especificaciones que tendrán que cumplir dichas adiciones y los productos resultantes.

1.1.2 Aridos

Los áridos procederán del machaqueo y trituración de piedra de cantera con las siguientes características:

- Coeficiente de desgaste de Los Angeles inferior a veinte (20).
- Coeficiente de pulido acelerado mayor de cuarenta y cinco centésimas (0,45).
- Índice de lajas menor de veinticinco (25).

Los tamaños de árido a emplear serán los siguientes: 5/12; 2,5/5; 0/2,5 o bien 5/12; 0/5.

El filler a emplear será, en su totalidad, de aportación.

1.2 Tipo y composición de la mezcla

El huso granulométrico de la mezcla será de uno de los siguientes:

Tamices UNE mm	Cernido Ponderal Acumulado (%)			
	Mezclas P		Mezcla PA	
	P-10	P-12	PA-10	PA-12
20	100	100	100	100
12,5	100	75-100	100	70-100
10	80-90	60-80	70-90	50-80
5	40-50	32-46	15-30	18-30
2,5	10-18	10-18	10-22	10-22
0,63	6-12	6-12	6-13	6-13
0,080	3-6	3-6	3-6	3-6

El porcentaje de ligante sobre árido estará comprendido entre el 4 y 5%

PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TECNICAS PARTICULARES PARA LA EJECUCION DE CAPAS DE RODADURA DRENANTES

1.3 Equipo necesario para la ejecución de las obras

1.3.1 Instalación de fabricación

La mezcla bituminosa se fabricará por medio de instalaciones de tipo continuo o discontinuo.

1.3.2 Extendedora

La extendedora deberá ser capaz de extender en perfectas condiciones de ejecución, capas de cuatro metros y medio (4,5 m) de anchura de una sola vez.

1.3.3 Equipo de compactación

La compactación de la mezcla se realizará con un equipo compuesto por un rodillo liso tipo tándem de ocho a diez toneladas (8/10t) de peso muerto y un compactador de neumáticos a continuación. La presión de inflado de los neumáticos del compactador será de siete kilogramos por centímetro cuadrado (7 kg/cm²).

1.4 Ejecución de las obras

1.4.1 Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

En Laboratorio se fijará la granulometría de la mezcla, dentro del huso especificado, el porcentaje de huecos en mezcla, el porcentaje de ligante y la temperatura a emplear en la fabricación de la misma.

El contenido de ligante se dosificará de acuerdo con los siguientes criterios:

- Los huecos en mezclas no deberán ser nunca inferiores al 16% y preferiblemente no serán inferiores al 18%.
- El coeficiente de permeabilidad no deberá, en ningún caso, ser inferior a 1×10^{-2} cm/s, siendo deseable que no sea inferior a 5×10^{-2} cm/s.
- La pérdida por desgaste será, dependiendo de la temperatura de ensayo:
 - Inferior al 35% y, en general, inferior al 30%, si el ensayo se realiza a $18 \pm 1^\circ\text{C}$.
 - Inferior al 25% y, en general, inferior al 20%, si el ensayo se realiza a $25 \pm 1^\circ\text{C}$.

La porosidad y permeabilidad se determinará en laboratorio sobre probetas Marshall, compactadas con cincuenta (50) golpes por cara. La porosidad se calculará geoméricamente, midiendo con un calibre las dimensiones de la probeta.

La temperatura de fabricación de la mezcla deberá corresponder, en un principio, a una viscosidad del ligante comprendida entre setecientos (700) y novecientos (900) centistokes.

Se realizará también en laboratorio un ensayo de escurrimiento para comprobar que éste no se produce a la temperatura de envuelta fijada.

Las tolerancias admisibles respecto a la fórmula de trabajo serán las especificadas en el PG3/75, con excepción de la indicada

PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TECNICAS PARTICULARES PARA LA EJECUCION DE CAPAS DE RODADURA DRENANTES

para los tamices comprendidos entre 5 UNE y 16 UNE, ambos inclusive, en que será del dos por ciento, en más o menos, ($\pm 2\%$) del peso de los áridos.

En probetas Marshall fabricadas en planta, compactadas con cincuenta (50) golpes por cara, la tolerancia admisible respecto al porcentaje de huecos en mezcla, fijado en laboratorio, será del dos por ciento en más o menos ($\pm 2\%$).

1.4.2 Fabricación de la mezcla

En el momento de comenzar la obra deberán estar acopiados, en la planta, la totalidad de los áridos a utilizar.

Al comienzo de la producción de la mezcla se comprobará, mediante la realización de diferentes amasadas en blanco, que su granulometría se ajusta a la propuesta. Este control se realizará asimismo todas las mañanas al comenzar la producción de la planta y por cada quinientas toneladas (500 t) producidas, en el caso de que la producción diaria sobrepasara dicha cifra.

Asimismo para el control de fabricación se tomarán diariamente al menos tres (3) muestras diferentes, de las que se determinará su granulometría y porcentaje de ligante, no admitiéndose variaciones superiores a las indicadas en el apartado anterior.

La temperatura de fabricación de la mezcla será fijada por el Director de la obra, en base a los límites establecidos en laboratorio.

1.4.3 Transporte de la mezcla

De acuerdo con los ensayos de laboratorio, el Director fijará para la mezcla su temperatura mínima de extendido y el tiempo máximo que puede transcurrir entre su fabricación y extendido.

1.4.4 Extensión de la mezcla y compactación

La extensión de la mezcla se realizará de una sola vez en todo el semiancho de la calzada, incluyendo el sobreancho en caso de que lo tenga.

Entre carriles se establecerán juntas longitudinales a tope.

No se procederá a la extensión de mezcla con lluvia o cuando la temperatura ambiente sea inferior a ocho grados centígrados (8°C).

La compactación de la mezcla se realizará con un rodillo liso colocado en cabeza, inmediatamente detrás de la extendedora, dando el número suficiente de pasadas para que al llegar el rodillo de neumáticos no se produzcan huellas en la mezcla.

Las velocidades de la extendedora y del rodillo liso deberán estar sincronizadas para que, en todo momento, este rodillo de compactación esté en cabeza.

Si por evitar el enfriamiento de la mezcla o aumentar el rendimiento de su extendido fuese necesario aumentar la velocidad de la extendedora, podrá hacerse ampliando el número de rodillos lisos a dos (2), si fuese preciso, para que éstos siempre se mantengan en cabeza.

PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TECNICAS PARTICULARES PARA LA EJECUCION DE CAPAS DE RODADURA DRENANTES

El Director de la obra fijará, mediante la realización de un tramo de pruebas, si fuera necesario, el número de pasadas que deberán aplicar cada uno de los elementos del tren de compactación. En principio se recomiendan cuatro (4) pasadas para el rodillo liso de cabeza y tres (3) para el de neumáticos.

2. Riego de adherencia

Cumplirá el artículo 531 del PG3/75.

El ligante será emulsión bituminosa catiónica tipo ECR 1, con una dotación de betún residual de medio kilo por metro cuadrado (0,5 kg/m²).

II. DETERMINACION DE LA PERDIDA
POR DESGASTE DE MEZCLAS BITUMINOSAS
MEDIANTE EL EMPLEO DE LA
MAQUINA DE LOS ANGELES
(ENSAYO CANTABRO)

DETERMINACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL EMPLEO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES (ENSAYO CANTABRO)

(Propuesta de norma de ensayo NLT-325/86 del Centro de Estudios de Carreteras)

1. Objeto

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación del valor de la pérdida por desgaste de mezclas bituminosas empleando la máquina de Los Angeles. El procedimiento puede emplearse tanto en el proyecto de mezclas en laboratorio como para el control en obra de las mismas.

1.2 El procedimiento se aplica a mezclas bituminosas de granulometría abierta, cuyo tamaño máximo sea inferior a 25 mm.

1.3 Este ensayo permite valorar indirectamente la cohesión, trabazón y resistencia a la disgregación de la mezcla ante los efectos abrasivos y de succión del tráfico.

2. Aparatos y material necesarios

2.1 Conjunto de compactación. Extractor, maza de compactación, base de compactación y soporte del molde empleados en la norma NLT-159-86 referente a la «Resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall».

2.2 Máquina de Los Angeles. La máquina para el ensayo de desgaste de Los Angeles tendrá las características indicadas en la norma NLT-149/72 «Resistencia al desgaste de los áridos por medio de la máquina de Los Angeles».

2.3 Termómetros. Para medir las temperaturas de los áridos, ligante y mezcla bituminosa, se emplearán termómetros metálicos con escala hasta 200°C y sensibilidad de 3°C. Para medir la temperatura a la que se realiza el ensayo se utilizará un termómetro con escala 0 a 40°C y sensibilidad de 0,5°C.

2.4 Balanzas. Una balanza de 2 kg de capacidad y 0,1 g de sensibilidad para pesar las probetas y otra de 5 kg de capacidad y 1 g de sensibilidad para preparación de mezclas.

2.5 Material general. Bandejas, cazos, espátulas, guantes de amianto, lápices grasos, cogedores curvos, discos de papel de filtro, etc.

3. Procedimiento

3.1 Preparación de las probetas

3.1.1 Número de probetas. Se prepara un mínimo de cuatro probetas para cada contenido de ligante.

3.1.2 Preparación de los áridos. Las distintas fracciones de áridos que componen la mezcla se secan en estufa hasta peso constante a una temperatura de 105 a 110°C.

3.1.3 Temperaturas de mezcla y compactación. Para la mezcla y compactación de las probetas, el betún empleado se calentará a una temperatura tal que su viscosidad permita una

DETERMINACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL EMPLEO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES (ENSAYO CANTABRO)

- buena envuelta de los áridos sin que se produzca el escurrimiento del ligante.
- 3.1.4 Preparación de mezclas. Se pesan sucesivamente en un cazo tarado las cantidades de cada fracción del árido necesarias para la fabricación de cada probeta, de tal modo que la cantidad total de áridos sea de 1.000 g. El resto del proceso de preparación coincide con el indicado en la norma NLT-159/86, para la fabricación de probetas Marshall.
 - 3.1.5 Compactación de las mezclas. La energía de compactación será de 50 golpes por cara, empleando la máquina y procedimiento de compactación descritos en la norma NLT-159/86.
 - 3.1.6 Densidad y huecos. La densidad relativa de las probetas se pueden determinar tan pronto como se hayan enfriado a temperatura ambiente. El procedimiento para determinar la densidad y contenido de huecos estará basado en procedimientos geométricos.

3.2 Ejecución del ensayo

- 3.2.1 Se pesa la probeta con una aproximación de 0,1 g (P_1). Antes de ensayar las probetas, éstas se mantendrán a la temperatura de ensayo, al menos durante 6 horas.
- 3.2.2 Una vez transcurrido el tiempo en que la probeta debe permanecer a la temperatura de ensayo, se introduce ésta en la máquina de Los Angeles, sin carga abrasiva (bolas), y se hace girar el cilindro a una velocidad comprendida entre 188 a 208 rad/s. El número de vueltas a dar debe ser de 300.
- 3.2.3 La temperatura de ensayo podrá ser $18 \pm 1^\circ\text{C}$ o $25 \pm 10^\circ\text{C}$. Debiendo estar las probetas a dicha temperatura más de seis (6) horas antes de ensayarlas.
- 3.2.4 Después de las 300 vueltas, se saca la probeta y se pesa con una aproximación de 0,1 g (P_2).

4. Resultados

4.1 El resultado del ensayo está dado por la expresión:

$$P = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

donde P = valor de la pérdida por desgaste.

P_1 = peso inicial de la probeta.

P_2 = peso final de la probeta.

4.2 Junto con los valores del ensayo se indicará la temperatura de éste.

III. DETERMINACION DE LA PERMEABILIDAD IN SITU DE PAVIMENTOS DRENANTES MEDIANTE EL EMPLEO DEL PERMEAMETRO LCS

DETERMINACION DE LA PERMEABILIDAD IN SITU DE PAVIMENTOS DRENANTES MEDIANTE EL EMPLEO DEL PERMEAMETRO LCS

1. Objeto

Este ensayo tiene como objeto valorar la permeabilidad de pavimentos drenantes.

2. Aparatos y material necesario

— Permeámetro LCS.

Se empleará el aparato representado en la figura 1, desarrollado y diseñado por el Laboratorio de Caminos y Aeropuertos de la E.T.S. de Ingenieros de Caminos y Puertos de Santander, constituido por:

- Placa circular de acero rígida, de 165 mm de diámetro y 10 mm de espesor, con un orificio central.
- Tubo circular de diámetro interior 30 mm y 45 mm de altura, embutido 10 mm en la placa circular.
- Tubo cilíndrico transparente de 94 mm de diámetro interior, con dos señales de medida y 500 mm de altura, unido a la base. Las señales de medida estarán situadas a 100 y 350 mm, respectivamente, de la base de la placa circular de acero.
- Anillo circular de caucho celular estanco de 16 mm de espesor, que se adapte a las irregularidades del pavimento, cuya deformación bajo la carga de la pesa tórica esté comprendida entre $8 \pm 0,5\%$ a los 30 segundos de carga y alcanzando una deformación constante de $12 \pm 5\%$ a los 5 minutos.
 - Pesa tórica de $20 \pm 0,2$ kg de peso, cuyo orificio y base permita un perfecto apoyo sobre la placa circular.
 - Una reserva de agua de al menos 20 litros por el ensayo.
 - Un cronómetro, con una precisión de 0,5 segundos.

3. Procedimiento de ensayo

Situar el permeámetro sobre el lugar elegido para la medida. Colocar sobre él la pesa. Verter el agua en el permeámetro hasta conseguir llenarlo de 10 a 15 cm por encima de la marca superior de medida.

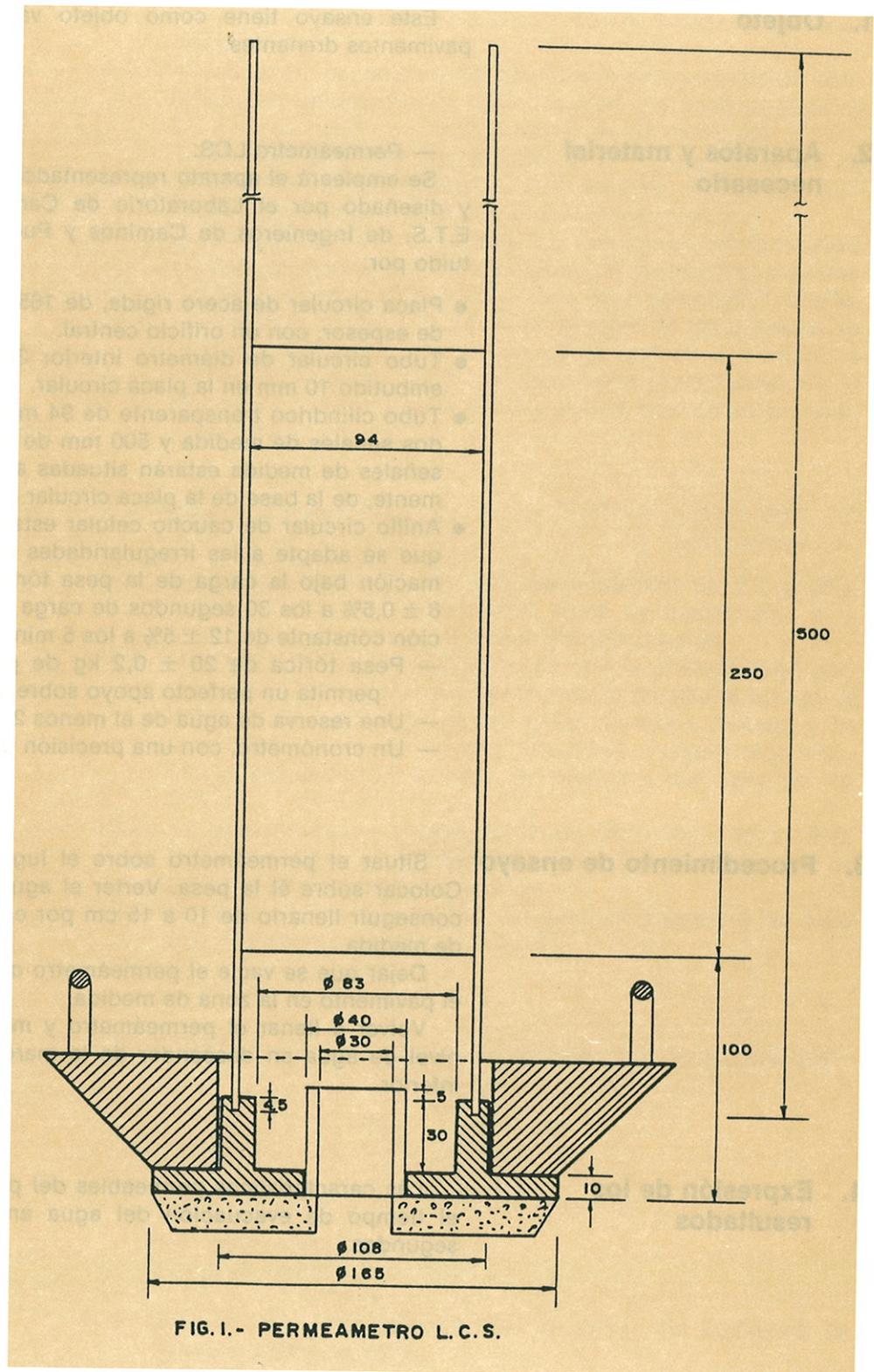
Dejar que se vacíe el permeámetro con el fin de mojar y saturar el pavimento en la zona de medida.

Volver a llenar el permeámetro y medir el tiempo que tarda el nivel de agua en descender de la marca superior de medida a la inferior.

4. Expresión de los resultados

Las características permeables del pavimento vendrán dadas por el tiempo de evacuación del agua antes medido, expresado en segundos.

DETERMINACION DE LA PERMEABILIDAD IN SITU DE PAVIMENTOS DRENANTES MEDIANTE EL EMPLEO DEL PERMEAMETRO LCS



DETERMINACION DE LA PERMEABILIDAD IN SITU DE PAVIMENTOS DRENANTES MEDIANTE EL EMPLEO DEL PERMEAMETRO LCS

Correlaciones:

- Coeficiente de permeabilidad-tiempo de evacuación.
- Porcentaje de huecos-tiempo de evacuación.

En laboratorio, para mezclas abiertas de las siguientes características:

Tamaño máximo:	10-12 mm
% pasa a 2,5 UNE:	10-15 mm
% pasa a 0,08 UNE:	2-6 mm
% Betún s/a:	3,5-5,5 mm

y para espesores de capa comprendidos entre 2 y 6 cm, se han establecido las siguientes correlaciones:

a) Coeficiente de permeabilidad-tiempo de evacuación

$$\ln K = 7.624 - 1.348 \ln T$$

donde:

K = coeficiente de permeabilidad, en $\text{cm/s} \cdot 10^{-2}$.

T = tiempo de evacuación con permeámetro LCS en segundos.

b) Porcentaje de huecos-tiempo de evacuación

$$\ln H = 4.071 - 0.305 \ln T$$

donde:

H = % de huecos en mezcla.

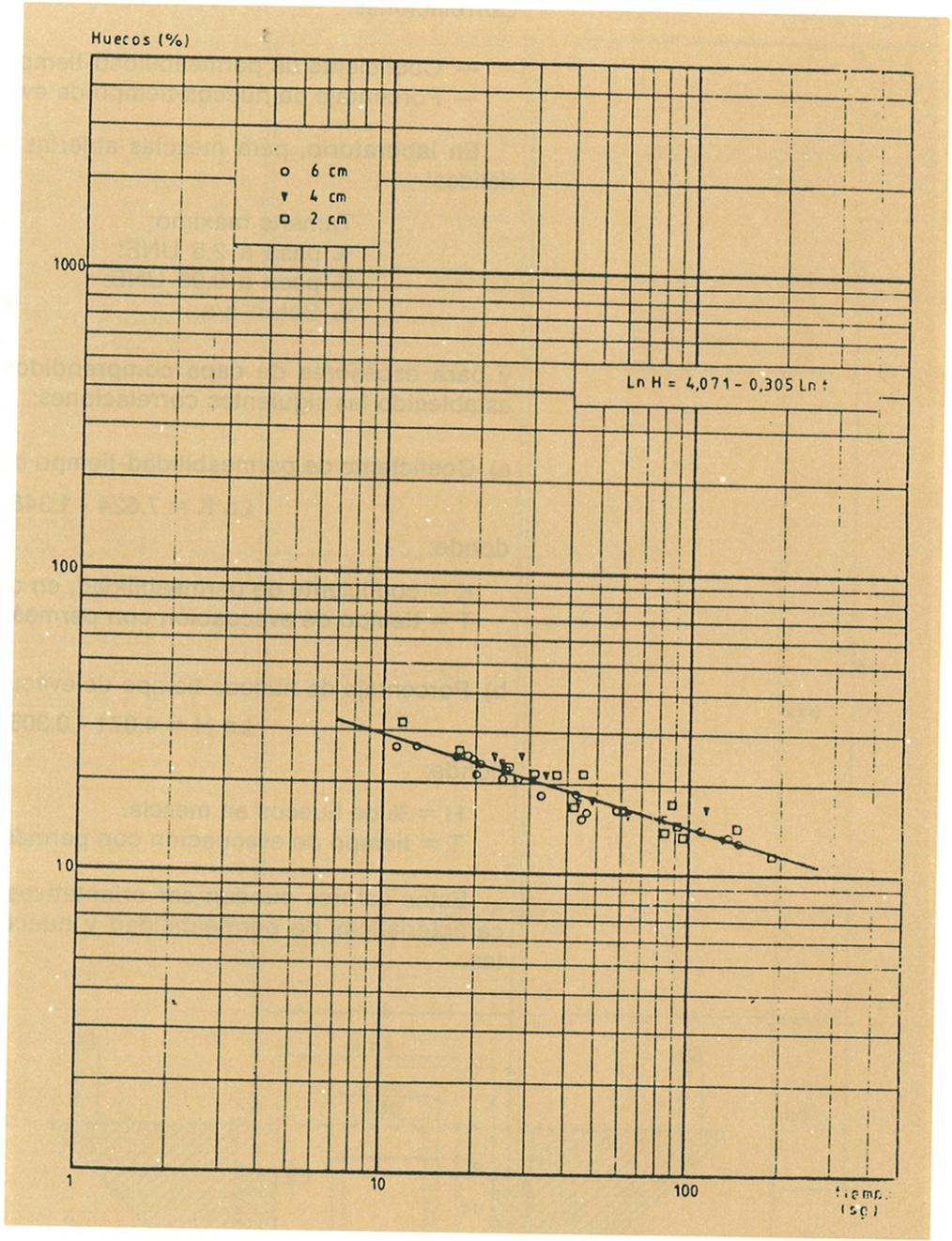
T = tiempo de evacuación con permeámetro LCS en segundos.

Estos valores pueden ser orientativos para la estimación de las características de permeabilidad y huecos de aglomerados drenantes.

Se adjuntan los gráficos

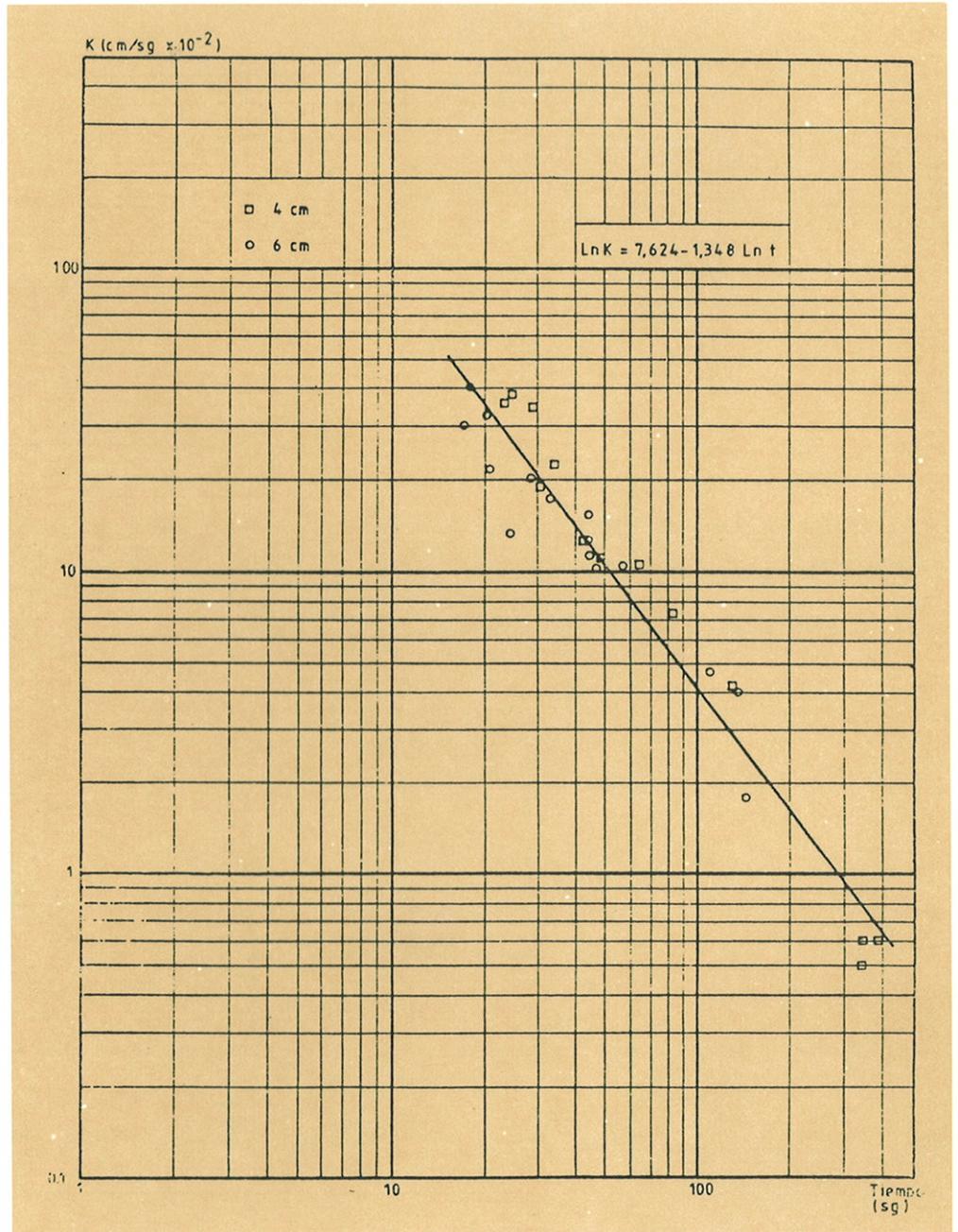
- Coeficiente de permeabilidad-tiempo de evacuación permeámetro LCS.
- Porcentaje de huecos-tiempo de evacuación permeámetro LCS

DETERMINACION DE LA PERMEABILIDAD IN SITU DE PAVIMENTOS DRENANTES MEDIANTE EL EMPLEO DEL PERMEAMETRO LCS



*Correlación porcentaje de huecos.
Tiempo de evacuación permeámetro LCS.*

DETERMINACION DE LA
 PERMEABILIDAD IN SITU
 DE PAVIMENTOS DRENANTES MEDIANTE
 EL EMPLEO DEL PERMEAMETRO LCS



Correlación coeficiente de permeabilidad.
 Tiempo de evacuación permeámetro LCS.

