

# autopista

## *Tarragona-Valencia*

### ESPAÑA

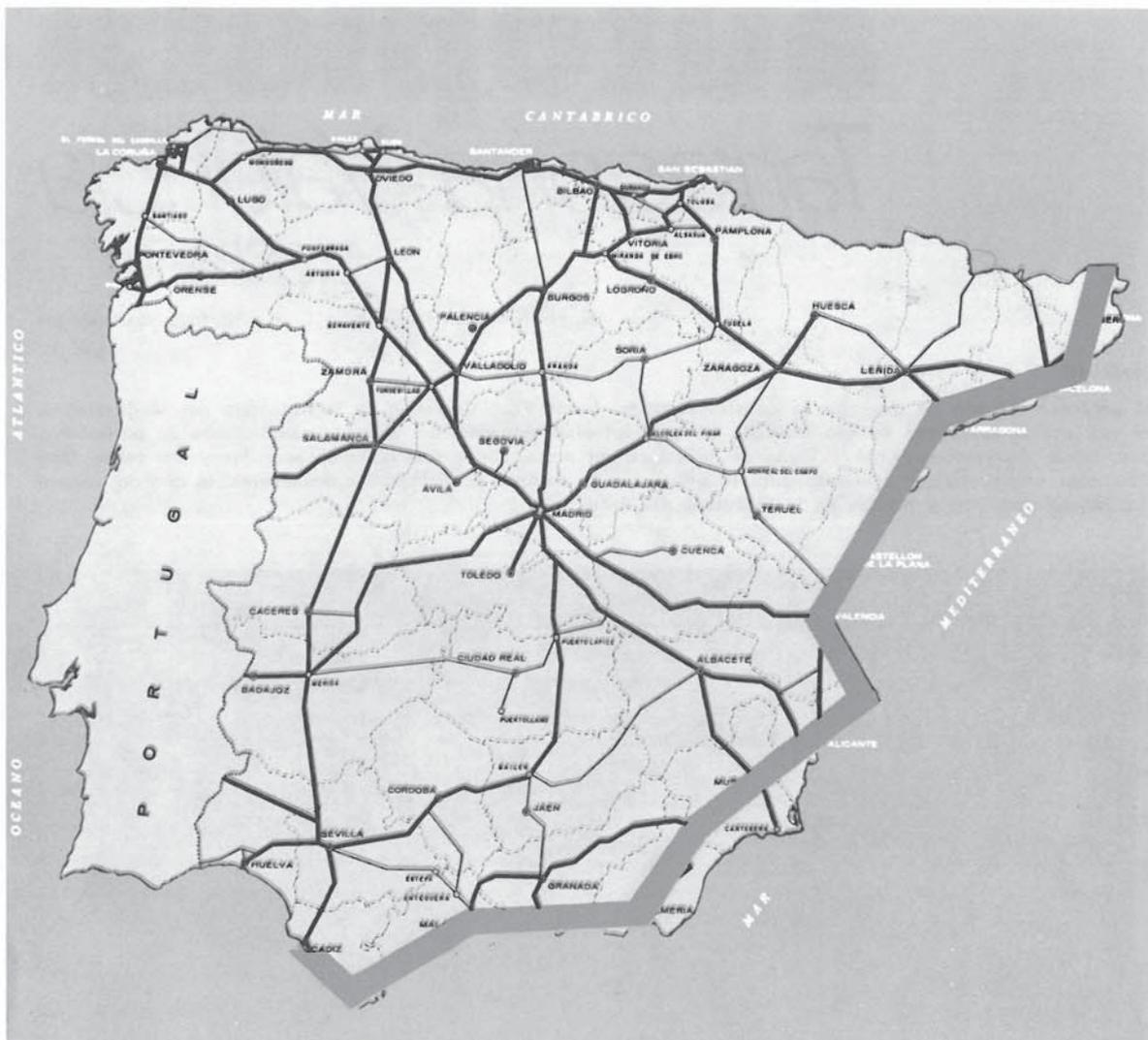
R. FERNÁNDEZ SÁNCHEZ y C. JOFRÉ, Ings. de Caminos

514 - 64

#### **sinopsis**

En el presente artículo se describe la construcción del tramo Puzol-Castellón de la Autopista del Mediterráneo, en el que por segunda vez se han utilizado en una autopista española las técnicas californianas de pavimentos rígidos: bases de grava-cemento y losas de hormigón en masa, con juntas oblicuas serradas y sin sellar. Este sistema está especialmente adecuado para la utilización de equipos de encofrados deslizantes, lo que se traduce en una mayor economía y rapidez en la ejecución del firme.





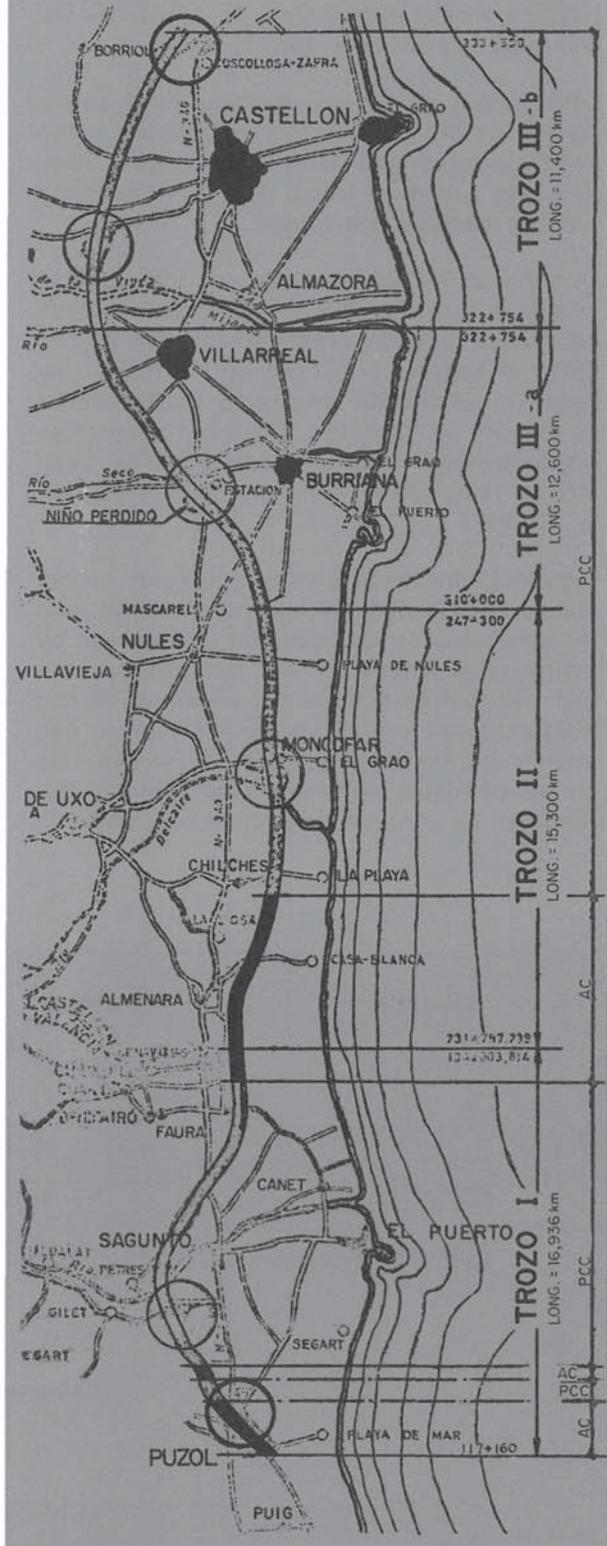
1

Esquema de la Autopista del Mediterráneo.

## INTRODUCCION

Dentro del Plan Nacional de Autopistas, la de mayor longitud (1.200 km) es la denominada autopista A-7, o del Mediterráneo, que enlaza La Junquera con Algeciras y Cádiz. Su trazado coincide sensiblemente con una línea paralela a la costa que atraviesa las provincias de Cádiz, Málaga, Almería, Murcia, Alicante, Valencia, Castellón, Tarragona, Barcelona y Gerona, hallándose en estudio en la actualidad su conexión con la red francesa de autopistas (fig. 1).

Al interés turístico del itinerario viene a unirse su función canalizadora de una parte importantísima de las exportaciones españolas, entre las que destacan las naranjas de la región va-



Planta del tramo Puzol-Castellón.

lenciana, los productos agrícolas de la vega del Segura, y los de la industria pesada de Sagunto y zonas próximas a Valencia.

Todos estos factores originan un tráfico que en la actual red de carreteras se movería en el año 1980, según los estudios realizados, en un nivel de servicio F o de congestión, de lo que se desprende la necesidad de la construcción de la autopista.

La totalidad del itinerario puede dividirse, en relación con su programación, en tres partes: La Junquera-Alicante, Alicante-Lorca y Lorca-Algeciras. La primera de ellas se subdivide a su vez en cinco concesiones ya otorgadas: Barcelona-La Junquera, Mongat-Mataró y Barcelona-Tarragona, adjudicadas a Autopistas Concesionaria Española, S. A.; y Tarragona-Valencia y Valencia-Alicante, concedidas a Autopistas del Mare Nostrum, S. A.

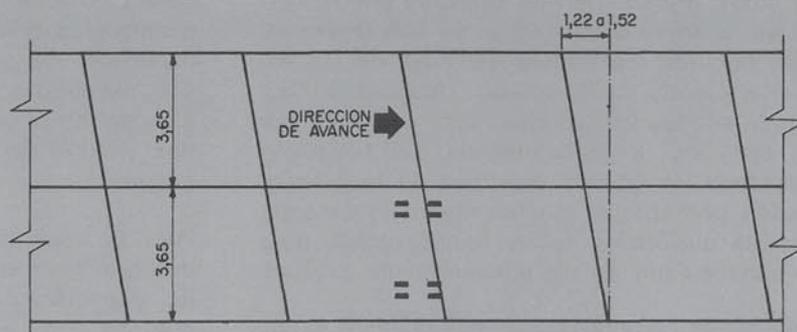
Dentro de la programación prevista de puesta en servicio, en el año 1975 deberán encontrarse abiertos al tráfico los recorridos La Junquera-Tarragona, y los tramos más urgentes del itinerario Tarragona-Alicante, que son los contiguos a las capitales; en concreto, Salou-Amposta, Puzol-Castellón, Silla-Gandía y Benidorm-Alicante.

De acuerdo con ella, la empresa Dragados y Construcciones, adjudicataria de las obras de Tarragona-Valencia, inició en la primavera de 1972 el tramo Puzol-Castellón, en donde por segunda vez se ha utilizado en España la técnica californiana de pavimentos de hormigón en masa con juntas serradas y sin sellar y losas cortas sin armar, en vista de la afortunada experiencia de la autopista Sevilla-Cádiz, construida en 1971.

En la figura 2 puede verse la planta de dicho tramo, con una longitud aproximada de 56 km. De ellos, 47 km han sido construidos con hormigón hidráulico, reservándose el pavimento asfáltico para tres tramos, con una longitud total de 9 km, que atraviesan unas zonas de turbas.



5



en el borde de una de las losas al atravesar una junta de contracción (fig. 5). Las ventajas que desde el punto de vista teórico se derivan de este hecho fueron confirmadas por un detallado estudio llevado a cabo en un tramo de ensayo con un tráfico de 3.200 camiones diarios, por lo que el Estado de California adoptó esta disposición de juntas en sus normas de diseño.

Con objeto de evitar posibles fenómenos de resonancia, las separaciones entre juntas forman grupos de 4; 6; 5,5, y 3,5 m, lo que da además unas dimensiones de losa muy favorables para que las tensiones de alabeo por gradiente térmico no rebasen unos valores razonables. Al mismo tiempo, con estas longitudes de losa la abertura de las juntas por contracciones termohigrométricas se mantiene dentro de unos límites que hacen posible la transferencia de cargas de unas losas a otras por engranaje de los áridos a ambos lados de la junta.

Por otra parte, con el empleo de discos de diamante se pueden obtener juntas de anchura mínima, inferior a 4 mm, que permiten únicamente la entrada del agua, pero no la de otros cuerpos extraños que puedan llegar a perjudicar a la junta. Dado que con la utilización de bases estabilizadas el problema del «pumping» desaparece, las juntas pueden entonces dejarse sin sellar, lo que elimina una de las mayores causas de problemas en los pavimentos rígidos. De acuerdo con estas ideas, las normas californianas marcan el uso de juntas transversales sin sellar con un ancho máximo de 0,02 pies (unos 6 mm). Esta técnica, utilizada en la autopista Sevilla-Cádiz, ha sido aplicada también con éxito en otros países europeos, como es el caso de Austria y Francia.

La junta longitudinal situada entre los dos carriles de cada calzada se construye en fresco, mediante un dispositivo incorporado a la extendidora C.M.I.

Los favorables resultados de algunos experimentos llevados a cabo en California han dado lugar a que en las normas de dicho Estado se dé opción al contratista a utilizar este mismo método en la formación de juntas transversales, en vez de ejecutarlas por serrado.

Los arcenes, cuyo ancho es de 2,5 m en los situados en el borde exterior de la calzada y de 1 m en los interiores, constan de una capa de 5 cm de mezcla asfáltica tipo IV situada sobre 55 cm, como media, de explanada mejorada (fig. 4).

Para el drenaje superficial de las calzadas se ha dispuesto en el centro de la mediana una cuneta de hormigón de 0,90 m de ancho.

## MATERIALES UTILIZADOS

En el pavimento se ha empleado un hormigón con la siguiente dosificación por m<sup>3</sup>:

- cemento P-350 ... .. 330 kg,
- agua ... .. 142 litros,
- arena ... .. 684 kg  
(con un mínimo de un 30 %  
de partículas silíceas),
- gravilla (núm. 4 - 3/4") ... .. 684 kg,
- grava (3/4" - 1 1/2") ... .. 586 kg,

con la adición de un aireante para obtener un contenido de aire ocluido entre el 2 y el 3 %.

La curva granulométrica utilizada puede verse en la figura 6, en la que se han representado también los límites del huso de las especificaciones californianas. Asimismo figuran en ella las variaciones máximas obtenidas en obra en la granulometría del hormigón empleado, lo que da una idea de la preocupación por obtener un hormigón de características uniformes, factor indispensable para la consecución de un pavimento de calidad.

Una de las características esenciales a exigir a un pavimento es una adecuada y duradera resistencia al deslizamiento. Se ha comprobado que los dos factores fundamentales para su consecución en un firme rígido son el árido fino y el acabado superficial. La influencia del árido fino se explica por el hecho de que, por efecto de la vibración, la capa superficial del pavimento está formada fundamentalmente por mortero. Debido a ello, si las características físicas y químicas del árido fino son adecuadas, el desgaste superficial es insignificante, y la rugosidad formada por las partículas de arena se mantendrá durante muchos años, pudiendo por ello conseguirse superficies antideslizantes aun con áridos gruesos muy pulimentables.

De los resultados, publicados en 1966, de una serie de ensayos con una máquina de pulido desarrollados en los laboratorios de la Portland Cement Association, se dedujo que las

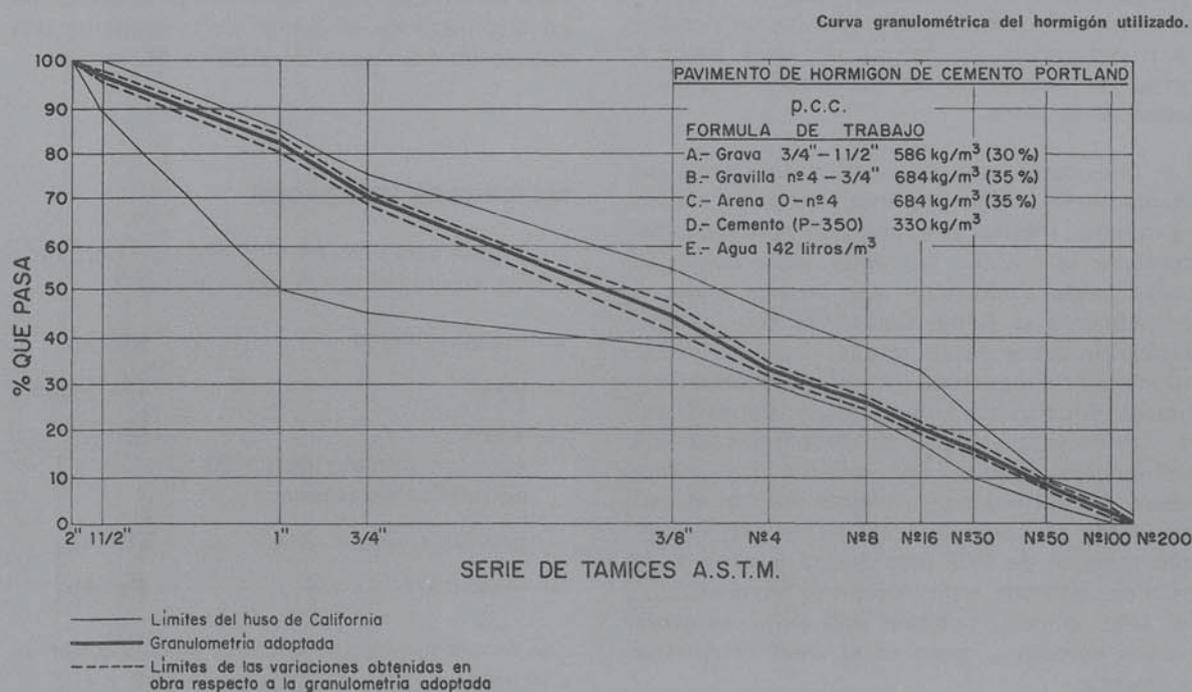
características antideslizantes de pavimentos construidos con arenas con un contenido de partículas de sílice superiores a un 30 % son excelentes. De ahí, que en la composición del hormigón se haya exigido que al menos el 30 % de la arena utilizada sea de tipo silíceo.

Para la base del pavimento se ha utilizado una grava-cemento respondiendo al tipo A de las especificaciones californianas, con la siguiente fórmula de trabajo:

- cemento P-350 ... .. 4 %;
- agua ... .. 5,5 %;
- grava caliza de machaqueo (1/2" - 3/4") ... .. 20 %;
- gravilla caliza de machaqueo (núm. 4 - 1/2") ... .. 30 %;
- arena caliza de machaqueo (0 - núm. 4) ... .. 50 %.

En la figura 7 se ha representado la curva granulométrica adoptada, así como los límites del huso de California.

La misión de dicha base es doble. Por una parte debe proporcionar a la losa de hormigón un cimiento estable, uniforme y poco erosionable, evitando la falta de asiento en algunas zonas o bien escalonamientos en las



6

juntas, como pueden ser los producidos por acumulación de finos del subsuelo en sus inmediaciones, debajo de la losa aguas arriba del tráfico.

La explicación de este último defecto radica en el hecho de que, por diversas causas (juntas no estancas, agua procedente del subsuelo, etc.), el agua puede acumularse debajo de las losas. Si éstas se hallan curvadas hacia arriba, por estar sometidas a un gradiente de temperatura de forma que las fibras superiores estén más frías que las inferiores, el tráfico, al avanzar, hará flectar progresivamente la losa aguas arriba, desplazando lentamente el agua existente debajo de ésta; pero al encontrarse la rueda con la losa aguas abajo chocará fuertemente sobre ella, desplazando el agua bruscamente hacia la losa anterior a una velocidad suficiente para provocar el arrastre de finos, incrementado por la succión brusca de la losa anterior al dejar de ser pisada por la rueda, sin que aquéllos puedan luego volver a su posición primitiva por la poca velocidad del agua en sentido contrario.

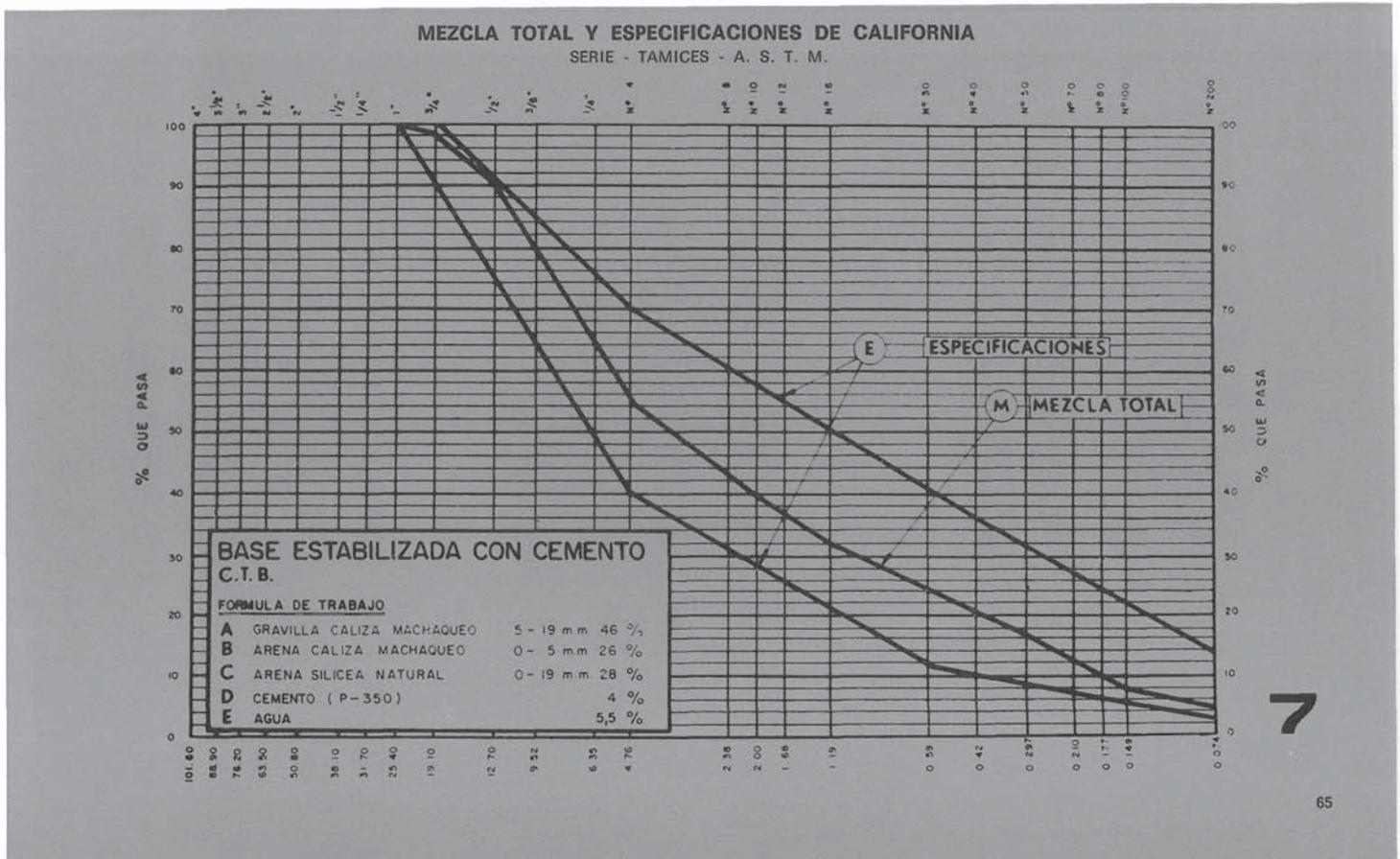
Por otra parte, debe proporcionar una plataforma de trabajo que permita la circulación de los camiones que suministran el hormigón a la extendidora, volcándolo delante de ella.

Se ha comprobado que si la alimentación de la máquina ha de efectuarse lateralmente, por ejemplo por estar previamente colocada la armadura del pavimento, en caso de no ser en masa, su rendimiento baja casi hasta el 50 %.

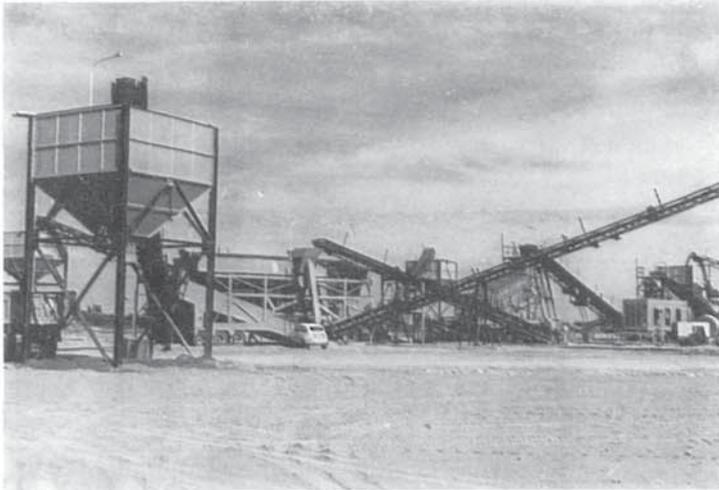
No obstante, el tráfico de obra no debe circular sistemáticamente sobre la base, puesto que acabaría produciéndole graves daños, sino que deben disponerse para este fin pistas laterales de servicio. Incluso debe limitarse al máximo la longitud recorrida por los camiones de transporte del hormigón sobre dicha base.

En el diseño de pavimentos de hormigón solamente se tiene en cuenta como posible contribución de la base a la resistencia global del firme el incremento que supone en el valor del módulo de reacción **K** de la plataforma en la que se asienta la losa, que por otra parte tiene poca influencia en la determinación del espesor del firme. De ahí que para espesor de la base suela escogerse el mínimo necesario para realizar las funciones indicadas, siendo muy frecuentes, no sólo en California sino también en muchos países europeos, espesores de 15 a 20 cm y aún menores.

Curva granulométrica de la grava-cemento utilizada.



7



8

Vista general de la planta de áridos del río Mijares.

### PLANTA DE ARIDOS

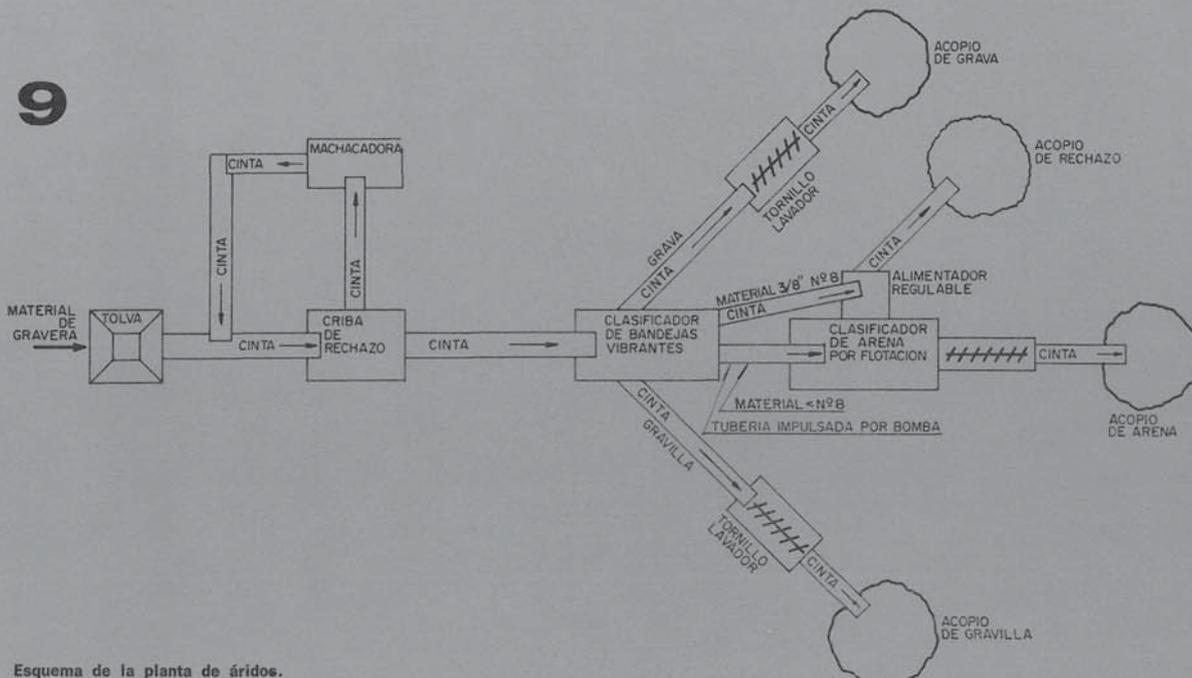
En la planta clasificadora de áridos, instalada a orillas del río Mijares (fig. 8), el material procedente de las graveras, descargado en una tolva, pasaba por una cinta a una criba que limitaba su tamaño máximo a 2 pulgadas, y de ésta a la instalación clasificadora propiamente dicha (fig. 9). El material rechazado por la criba se hacía pasar por una machacadora y se incorporaba de nuevo a la cinta alimentadora de la criba de rechazo.

En la instalación de clasificación de bandejas vibrantes, el árido se dividía en cuatro fracciones: grava (2"-3/4"), gravilla (3/4"-3/8"), arena entre 3/8" y el tamiz número 8,

y arena de tamaño inferior al tamiz número 8. Las dos primeras fracciones, previo paso por un tornillo lavador, iban directamente a los respectivos acopios.

Dada la importancia que el árido fino tiene en la plasticidad del hormigón, y especialmente en el comportamiento de los bordes a la salida del encofrado deslizante, las dos fracciones más finas se mezclaban con agua y se transportaban por tubería hasta un clasificador (fig. 10), con sistema Autospec de regulación automática, que permite separar por flotación las arenas de tamaño inferior al tamiz número 8 A.S.T.M. en once tamaños distintos (fig. 11), y recomponerlas luego de forma que la arena resultante encaje dentro

9



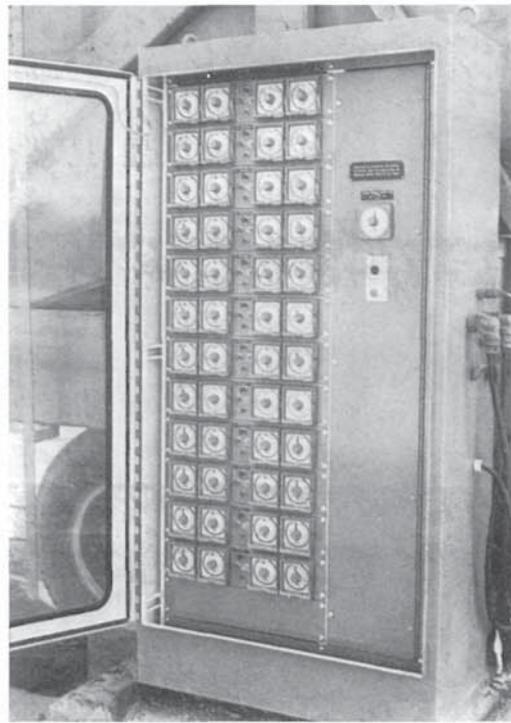
Esquema de la planta de áridos.

10



Vista superior de la máquina clasificadora de arenas por flotación.

11



Cuadro de mandos de la clasificadora de arenas.

del huso de California. Un alimentador lateral, constituido por una tolva con compuerta reguladora y un rebosadero, permite incorporar a dicha arena la fracción entre 3/8" y el tamiz número 8 en la proporción deseada, yendo a parar el sobrante a un vertedero.

Una vez recompuesta la arena, se hacía pasar por un tornillo secador y de transporte, y de éste, por medio de una cinta, al acopio de arena.

El agua necesaria para el lavado y clasificación de áridos se almacenaba en una gran balsa excavada en el terreno, revestida de tela impermeabilizada.

#### FABRICACION DE LA GRAVA-CEMENTO

La grava-cemento era fabricada en una planta automática de dosificación continua, capaz de una producción de 1.000 t/hora. Los áridos, divididos en tres tamaños, se acopiaban junto a la planta propiamente dicha (fig. 12). Dos palas cargadoras alimentaban las tolvas que efectuaban su regulación, mientras que el cemento, almacenado en dos silos horizontales o zepelines, se transportaba por medio de aire comprimido a un silo dosificador. A través de una cinta se incorporaban el cemento y los áridos, en la proporción deseada, a la mezcladora, y en ella se les añadía el agua necesaria para su amasado. Efectuado éste, se descargaba la grava-cemento, por intermedio de una tolva reguladora, en los camiones de transporte del material al tajo de extendido.

Al igual que en la planta de áridos y en la de fabricación del hormigón, el agua se almacenaba en una gran piscina excavada en el terreno y próxima a la planta.

#### PUESTA EN OBRA DE LA GRAVA-CEMENTO

La construcción de la base de grava-cemento llevaba consigo una serie de operaciones sucesivas: fabricación del material, transporte, extendido, compactación inicial, refinado a la cota definitiva, compactación final y curado, que debían ser realizadas de forma que entre la adición del agua de amasado a la mezcla de áridos y cemento y la compactación inicial no transcurrieran más de dos horas; y más de dos horas y media en el caso de la compactación final.

Dado que esta serie de operaciones, dos de ellas, el extendido y el refinado, eran efectuadas por la misma máquina, la ejecución de la base tenía que realizarse escalonadamente y no de forma continua, como en el caso del pavimento de hormigón.

Por otra parte, la construcción debía realizarse con un sistema que permitiese obtener una base de buena densidad con el mismo ritmo de producción que la planta de grava-cemento.

Todos estos problemas fueron resueltos con el empleo del siguiente equipo:

- Para el transporte del material se utilizaban indistintamente camiones volquete y trailers.

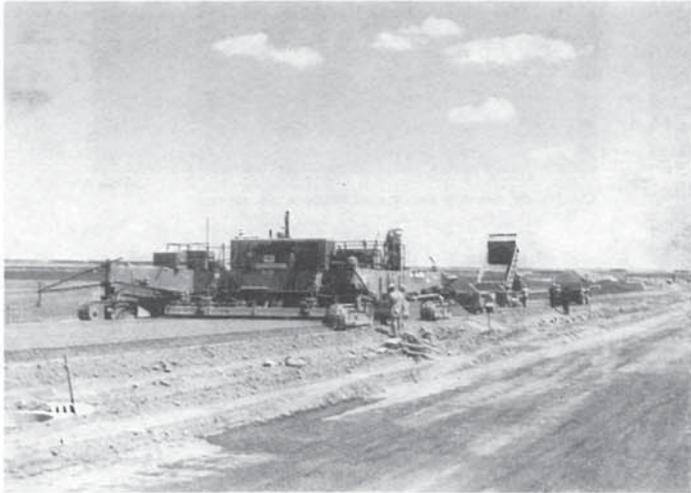


12



13

Planta de fabricación de la grava-cemento de la base del firme.



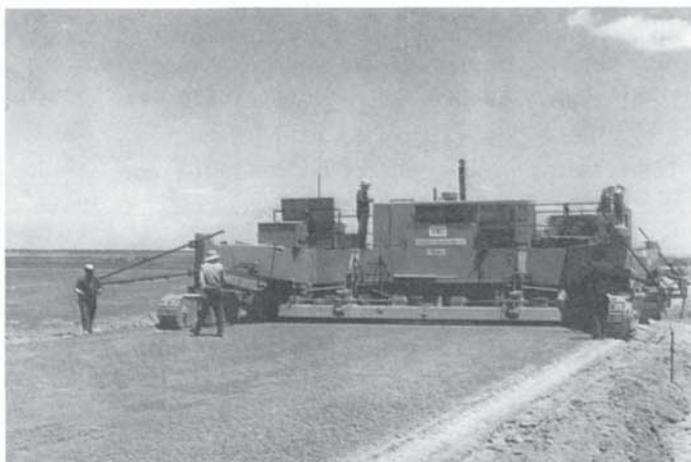
14

- El extendido de la grava-cemento se hacía por medio de una extendidora C.M.I. Auto-grade, con un ancho de trabajo de 8,2 m, equipada con los dispositivos adecuados. La grava-cemento, descargada en dos carros repartidores arrastrados por los mismos camiones de transporte, era depositada sobre la explanada formando dos caballones un poco desfasados para facilitar maniobras (fig. 13). Estos caballones eran atacados por la extendidora, la cual, gracias a su sistema de guiado, dejaba una capa de grava-cemento perfectamente nivelada (fig. 14).



15

- Una vez extendido el material se efectuaba la compactación inicial por medio de un tren compuesto de un rodillo autopropulsado de pata de cabra, seguido por un rodillo liso vibratorio, también autopropulsado (fig. 15).
- Al acercarse la hora límite la extendidora daba marcha atrás y refinaba la base hasta su cota definitiva, guiándose automáticamente como en el extendido, hasta el punto donde se había terminado la compactación inicial.



16

- Después del refinado se efectuaba la operación de compactación final por medio de sucesivas pasadas de un compactador de neumáticos hasta dejar una superficie completamente sellada.

Descarga de la grava-cemento delante de la extendidora.

C.M.I. Autograde efectuando la extensión de la grava-cemento.

Compactación inicial de la base de grava-cemento.

Refinado de la base a su cota definitiva.

— Sobre esta última se extendía el material de curado, consistente en un producto bituminoso (MC-2) a la temperatura adecuada (60° C), con una dotación aproximada de 1 kg/m<sup>2</sup>. Entre la compactación final y el curado había que evitar que la superficie se secase regándola cuando era necesario.

Con el equipo descrito se superó fácilmente la puesta en obra de más de 2 km diarios de base de calzada de dos carriles.

### FABRICACION DEL HORMIGON

El hormigón era fabricado en una planta automática de dosificación por peso, con dos hormigoneras de eje horizontal y producción de 400 m<sup>3</sup>/hora, capaz de suministrar diariamente el hormigón necesario para 2 km de calzada (fig. 17).

Dos palas cargadoras transportaban los áridos, divididos previamente en tres tamaños como hemos visto, a las cintas transportadoras que alimentaban las tolvas de las hormigoneras, con un rendimiento teórico de amasada de 7 m<sup>3</sup> (9 yardas<sup>3</sup>) cada una de ellas.

El cemento se almacenaba en seis zepelines, cada uno de ellos con capacidad para 140 t, de los cuales pasaba, movido por aire comprimido, a dos silos verticales que alimentaban la planta a través de un sinfín. La capacidad útil de almacenaje de los silos y zepelines era superior a 1.000 t, que era el consumo de cemento para la longitud de pavimento ejecutada en una jornada normal de 9-10 horas de trabajo.

Lo mismo que en la planta clasificadora de áridos, el agua se almacenaba en una gran

balsa excavada en el terreno, con taludes y fondo revestidos con tela impermeabilizada. El aireante utilizado en el hormigón se incorporaba al agua durante su adición a la hormigonera.

### PUESTA EN OBRA DEL HORMIGON

El suministro de hormigón desde la planta se efectuaba con camiones volquete (fig. 18) que descargaban el material delante de la pavimentadora C.M.I. (fig. 19). Su número aumentaba al crecer la distancia de la planta al lugar de hormigonado. Para evitar que se adhiriesen a ellos masas de hormigón que pudiesen fraguar se les aplicaba un desencofrante al comienzo o final de jornada. Asimismo, antes de ser cargados, se limpiaban en la planta con agua a presión.

El aspecto similar de las amasadas descargadas por los diferentes camiones era un indicador de la gran homogeneidad del hormigón empleado. Para regularizar las descargas de los distintos camiones, impidiendo que en unos sitios hubiese una acumulación de hormigón y en otros falta de él, se utilizaba una pala cargadora.

La ejecución de las losas de hormigón se llevaba a cabo con ayuda de las siguientes máquinas (fig. 20):

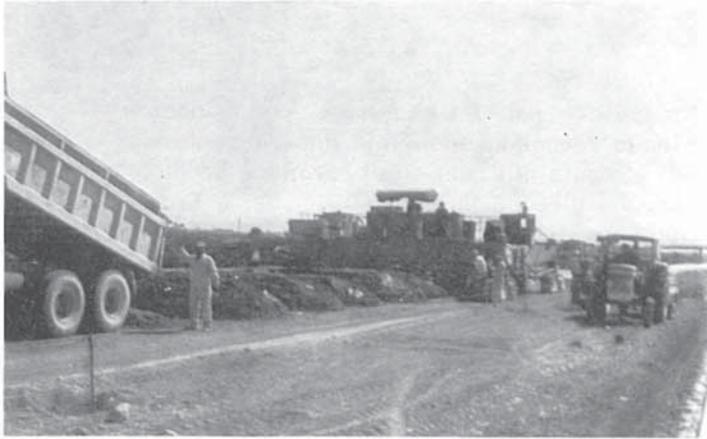
— La extendedora y compactadora Autografe C.M.I., equipada con dispositivo de encofrado deslizante, que extendía, vibraba y extrusionaba el hormigón, dejándolo con la compacidad requerida. Simultáneamente, como ya se indicó, realizaba la junta longitudinal mediante un cuchillo vibrante, el cual abría un surco en el hormigón fresco e insertaba una tira de material

**17** Vista general de la planta de fabricación del hormigón.



Vista de una de las hormigoneras y de los camiones utilizados en el transporte del hormigón.





19

Descarga de los camiones de hormigón delante de la C.M.I.



20

Vista general del tren de hormigonado.

plástico semirrígido, alimentada por carrete, que impedía que se volvieran a pegar los bordes de la ranura (fig. 21).

En la figura 22 puede apreciarse el excelente aspecto de los bordes del pavimento a la salida de la máquina de encofrados deslizantes. Para hacer desaparecer los pequeños defectos de la terminación superficial (fig. 23) se utilizaba:

- Una máquina eliminadora de irregularidades superficiales, por sucesivas pasadas de un tubo flotante colocado diagonalmente, cuya presión era regulable mediante unos pesos adicionales (fig. 24). Detrás de ella venía un cepillo para dar la textura longitudinal, de profundidad media 1,5 mm, al pavimento (fig. 25), abarcando toda su anchura, excepto dos bandas de unos 30 cm en los bordes, que se remataban con cepillos manejados manualmente, una vez redondeados aquéllos. El cepillo terminó por ser incorporado a la parte trasera de la eliminadora de irregularidades, siendo arrastrado por ella.

Pese a las críticas que se han hecho en Francia a la utilización del tubo flotante sobre los posibles deterioros que puede causar en la superficie por una remoción excesiva de ésta y una posible acumulación de lechada en algunos puntos, ni en el tramo Puzol-Castellón ni en la autopista Sevilla-Cádiz, en la que se empleó el mismo procedimiento, se presentó ningún problema en este aspecto.

- Una extendedora de producto de curado (fig. 26), que repartía éste (fig. 27) no solamente en la superficie del pavimento, sino también en sus caras laterales.

La dosificación del producto de curado, de color blanco, era de 250 g/m<sup>2</sup>, cifra media de las especificaciones californianas. El curado se completaba con un aparato manejado manualmente desde cada borde.

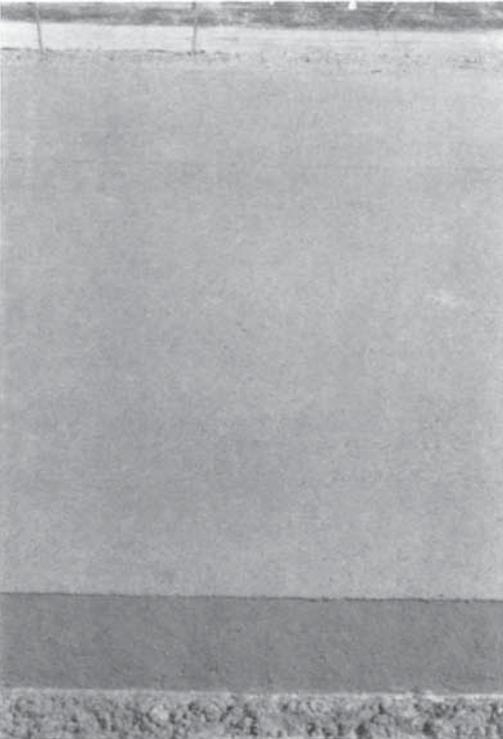
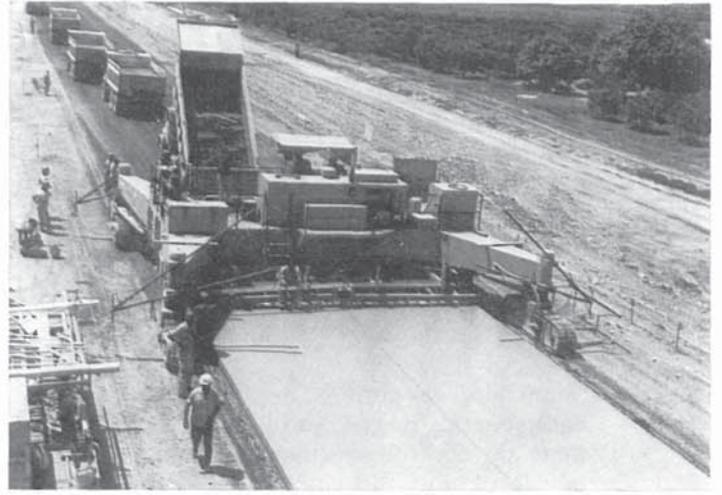
Cada una de las máquinas era manejada por un especialista. Asimismo, en la extendedora de producto de curado un peón se encargaba de cambiar los bidones que se iban vaciando.

#### EJECUCION DE LAS JUNTAS TRANSVERSALES

Como es sabido, en los pavimentos de hormigón se disponen juntas transversales de contracción por una serie de razones, entre las que pueden citarse el impedir:

- el agrietamiento del pavimento en la época inmediatamente posterior a su construcción, debido a las tensiones de tracción originadas por el rozamiento entre el pavimento y la capa situada debajo de él, al retraer el hormigón;
- la aparición de tensiones de alabeo excesivas, que combinadas con las originadas por el tráfico puedan causar la rotura del pavimento.

Las tensiones que se presentan en ambos casos aumentan con la longitud de las losas; sin embargo, la longitud necesaria para provocar el agrietamiento del pavimento es mucho mayor en el primer caso que en el segundo. De ahí que no sea necesario ejecutar inmediatamente todas las juntas transversales sino una fracción del total, que se suelen denominar juntas de control, pudiendo demo-

**22****23****24**

El pavimento a la salida de la máquina de encofrados deslizantes. Puede apreciarse la junta longitudinal ejecutada en fresco.

**21**

rarse la construcción de las restantes un cierto tiempo, antes de la puesta en servicio del pavimento.

Si las juntas se ejecutan por serrado, uno de los puntos más delicados de la operación es el determinar cuándo deben realizarse las juntas de control. Si la junta se sierra demasiado pronto, con el hormigón excesivamente fresco, puede quedar con sus bordes desportillados. Si, por el contrario, se deja transcurrir demasiado tiempo, pueden aparecer fisuras no controladas. Debido a esto el serrado de las juntas de control tiene un período óptimo de ejecución, que en ocasiones es muy corto. En su determinación juegan un papel muy importante las condiciones atmosféricas, de forma que dicho período puede variar mucho de un día a otro dentro de una misma obra. En todo caso se puede afirmar que cuanto más seco, ventoso y cálido sea el tiempo, más pronto habrá que serrar.

Detalle de los bordes del pavimento a la salida de la máquina de encofrados deslizantes.

El pavimento presenta pequeñas irregularidades que deben ser eliminadas.

El pavimento después del paso del tubo flotante y redondeado de los bordes. En este caso, la eliminación total de las irregularidades del pavimento requiere nuevas aplicaciones del tubo flotante.

Las juntas transversales de contracción se ejecutaban por serrado, con dos máquinas Joint-Master provistas cada una de cuatro discos de diamante de 3,2 mm de ancho (fig. 28). La profundidad de serrado era de 5 cm (fig. 29). La operación no presentaba dificultades por ser los áridos gruesos de tipo calizo.

Siguiendo las normas de California, cada cuatro juntas se serraba una junta de control en cuanto el hormigón lo permitía, lo cual dependía del estado atmosférico, pero siempre dentro de las 24 horas después de que el hormigón hubiese sido colocado. La junta siguiente a cada una de las de control se serraba dentro de las 48 horas de colocado el hormigón, y las restantes dentro de las 72 horas. De ahí que para evitar que una misma sierra tuviera que realizar un excesivo número de veces el mismo recorrido, se utilizasen dos de ellas. Dado que a la edad en que se serraban las juntas todavía se hallaba el hormigón en período de curado, se extendía en sus paredes el mismo producto empleado en el pavimento y bordes.

Como ya se dijo, no se efectuaba sellado de las juntas, limitándose en ellas las operaciones posteriores a una limpieza al final de la obra, antes de la apertura al tráfico.

### CONTROLES EFECTUADOS SOBRE EL HORMIGÓN

Ya se indicó anteriormente que un factor indispensable en la consecución de un pavimento de calidad es la obtención de un hormigón de características uniformes. Por ello, sobre el hormigón utilizado en el pavimento se llevaron a cabo una serie de controles que podemos agrupar en dos grupos: los realizados en la planta de fabricación del hormigón, y los llevados a cabo en el tajo de puesta en obra del material.

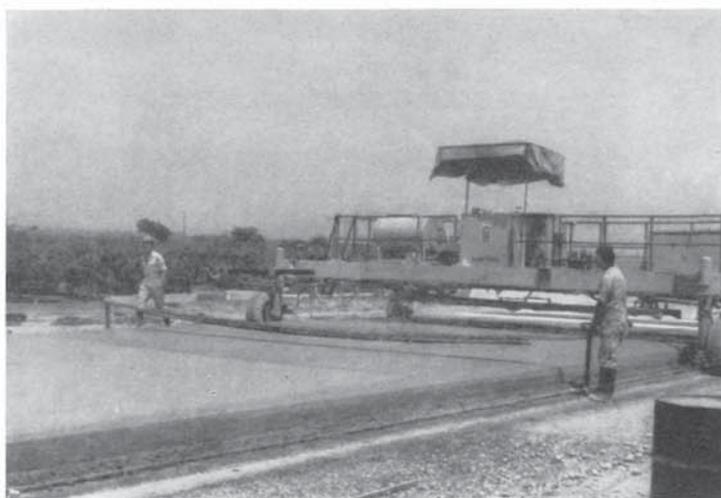
Textura longitudinal del pavimento.

Máquina extendedora de producto de curado y cepillo utilizado para dar la textura longitudinal al firme.

Cepillado de la superficie y extensión del producto de curado.



25



26

27

En la planta se controlaban las siguientes variables:

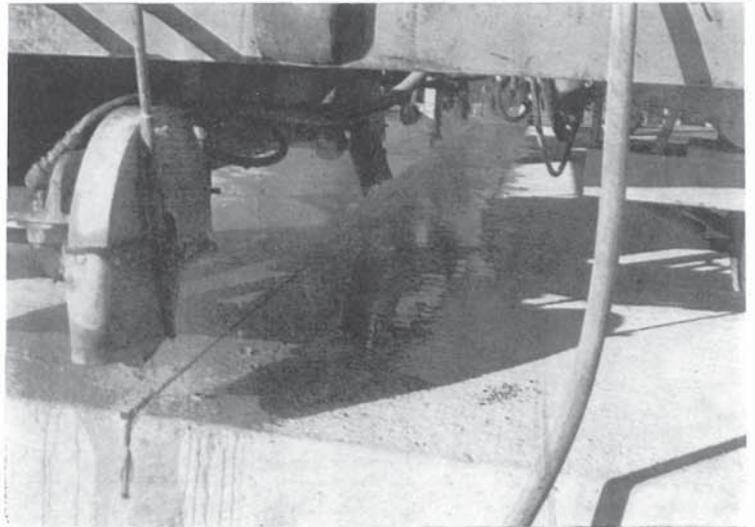
- Docilidad del hormigón, con el ensayo de la bola Kelly, que mide la penetración de un cilindro terminado en semiesfera colocado sobre el hormigón fresco. Dicha penetración debía ser inferior a 1,5 pulgadas. Por ser un ensayo fácil de realizar y muy rápido, se llevaba a cabo cada cuatro camiones, transportando cada uno de ellos aproximadamente 7 m<sup>3</sup> de hormigón. Al comienzo de jornada, sin embargo, se efectuaba el control sobre cada camión, hasta conseguir centrar la dosificación del hormigón.
- El contenido de aire ocluido, que debía ser inferior al 4,5 % en peso del hormigón, se determinaba por el método manométrico aproximadamente una vez cada 40 camiones, o sea, cada 250-300 m<sup>3</sup>. El ensayo consiste, esencialmente, en determinar la deformación elástica que experimenta el hormigón fresco bajo una presión dada y en condiciones definidas, y comparar esta deformación con la de un volumen conocido de aire sometido a la misma presión.
- La densidad del hormigón fresco, medida sobre la muestra utilizada en la determinación del contenido de aire ocluido.
- Las temperaturas ambiente y del hormigón, cuando se realizaban las dos operaciones anteriores.

En el tajo de puesta en obra del hormigón se controlaban:

- El tiempo de transporte (período transcurrido entre la adición del cemento a los áridos y la descarga del hormigón) que con los medios de transporte utilizados en obra (camiones sin dispositivos agitadores) debía ser inferior a una hora; o bien a 45 minutos bajo condiciones atmosféricas, contribuyendo a un rápido endurecimiento del hormigón, o cuando la temperatura de éste era superior a 30° C.
- El tiempo transcurrido entre la colocación de dos amasadas consecutivas, que debía ser inferior a 45 minutos.
- La resistencia a flexotracción del hormigón, mediante la confección de una serie de 3 vigas de 15 × 15 × 85 cm cada 1.000 m<sup>3</sup>, de las que una se rompía a los 7 días, otra a los 14 y otra a los 28 días. Para poder abrir al tráfico de obra el pavimento a los 10 días de ser construido, la resistencia a flexotracción a los 7 días debía ser como mínimo de 42 kp/cm<sup>2</sup>.
- El contenido de aire ocluido, docilidad, densidad, proporción de árido grueso y temperatura del hormigón, así como la temperatura ambiente, se controlaban cada vez que se confeccionaban probetas para medida de la resistencia. La docilidad se controlaba mediante el cono de Abrams



**28** Serrado de las juntas transversales con la máquina Joint-Master.



Otro aspecto del serrado de las juntas.

**29**

(entre 2 y 7 cm), por disponer de más tiempo que en planta, en donde no se debían parar los camiones.

- La dosificación del líquido de curado ( $250 \text{ g/m}^2$ ) se controlaba una vez al día, o bien dos veces, en días de viento.

### CONTROL DE LA REGULARIDAD SUPERFICIAL

Durante el período de fraguado del hormigón se realizaban las comprobaciones geométricas de la superficie de rodadura mediante el perfilógrafo (fig. 30). Este aparato consiste esencialmente en una regla móvil, de unos 8 m de longitud, con una rueda lectora en el centro capaz de medir las desviaciones que presenta este punto respecto a la línea recta formada por las ruedas extremas.

El perfilógrafo registra gráficamente estas variaciones, dibujando en una banda de papel una curva continua a escala 1 : 300 en horizontal y 1 : 1 en vertical, que se suele denominar perfilograma.

Para obtener una medida de la regularidad superficial del pavimento se superpone al perfilograma (fig. 31) una escala transparente con una banda opaca de 0,2 pulgadas de ancho en su centro, de forma que ésta recubre la mayor parte de la curva. Cuando esto ocurra, las sumas de las áreas de los salien-

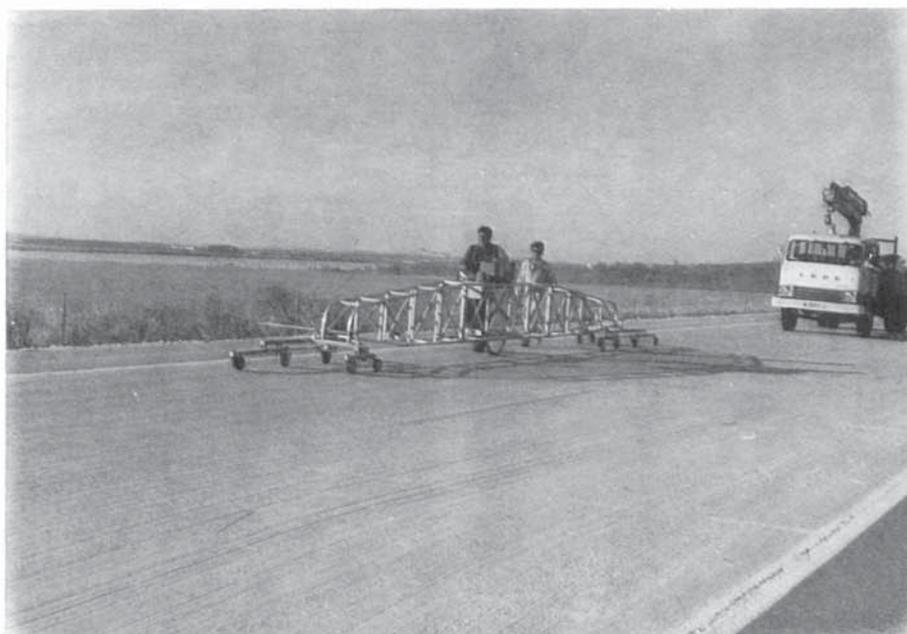
tes por encima y por debajo de la banda opaca serán aproximadamente iguales.

Cada saliente queda caracterizado por su desviación máxima en vertical respecto al extremo más próximo de la banda opaca. Sólo se consideran los salientes con una desviación máxima superior a 0,03 pulgadas y extendiéndose en el perfilograma en una longitud superior a 0,08 pulgadas (2 pies en el pavimento).

La regularidad superficial de una longitud dada de pavimento queda definida entonces mediante el Índice de Perfil (Pr. I), el cual se determina dividiendo por dicha longitud (en millas) la suma de los valores absolutos (en pulgadas) de las desviaciones máximas de los salientes existentes en ella.

En los puntos en los que el Índice de Perfil, medido en cualquier sección de 0,1 millas paralela al eje, era superior a 7 pulgadas por milla, las irregularidades superficiales detectadas se eliminaban por medio de la «bump-cutter» (fig. 32), máquina con más de 100 discos que eliminaba en cada pasada una «rebanada» del pavimento (fig. 33), comprobándose después de nuevo la regularidad superficial con el perfilógrafo y repitiéndose el proceso hasta que la anomalía observada cayese dentro de las tolerancias admitidas.

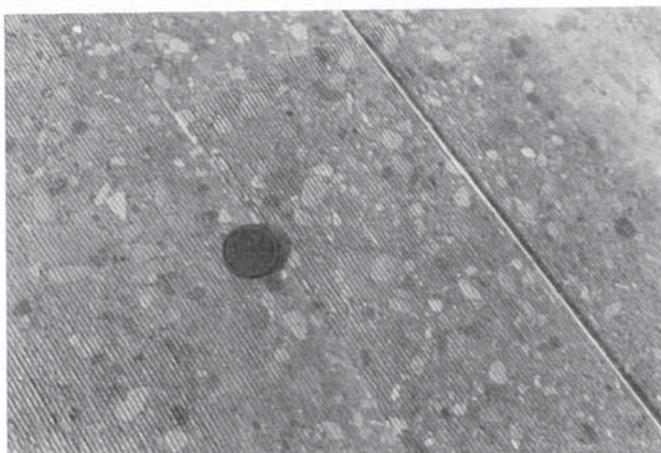
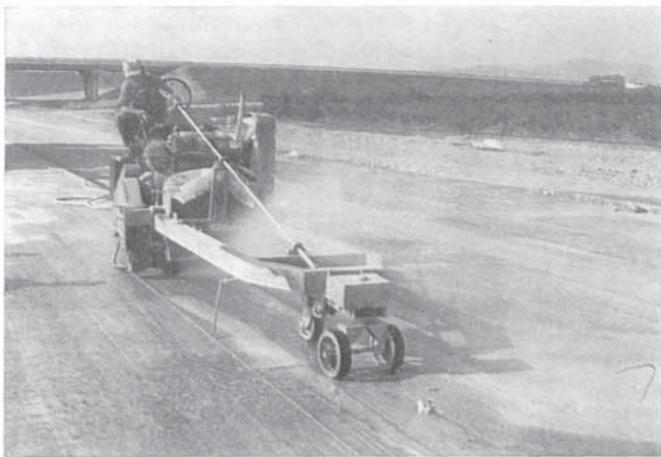
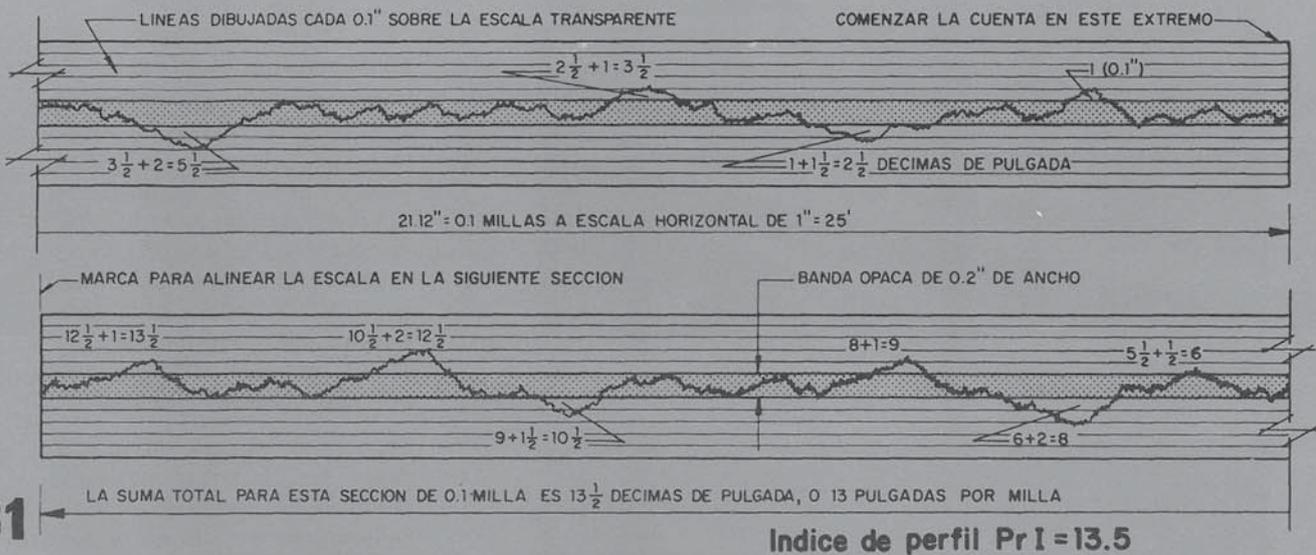
La mayoría de las irregularidades que hicieron necesario el uso de la «bump-cutter» aparecieron en las zonas cercanas a los comienzos de jornada.



# 30

Comprobación de la regularidad superficial del pavimento con el perfilógrafo.

## PERFILOGRAMA Y OBTENCION DEL INDICE DE PERFIL



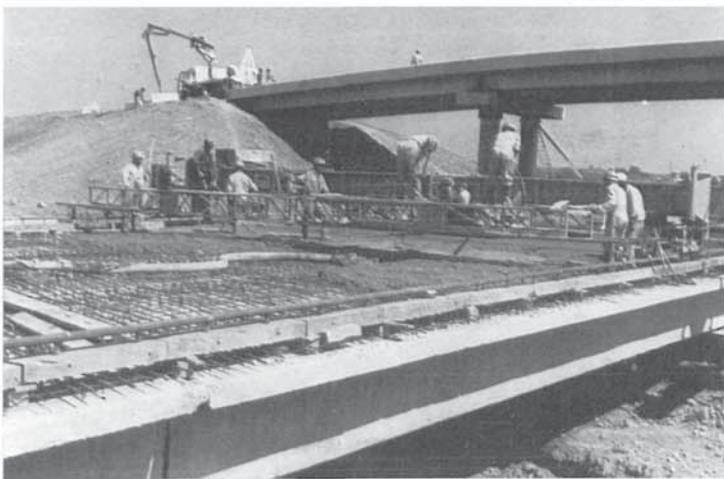
En la figura 34 puede apreciarse el aspecto del pavimento después de ser tratado con la «bump-cutter».

### OTROS DETALLES CONSTRUCTIVOS

Los tableros de los pasos inferiores estaban constituidos por vigas prefabricadas, con hierros de espera en la parte superior, sobre los que se hormigonaba la capa de compresión. En la autopista Sevilla-Cádiz se utilizó para esta labor la propia Autograde C.M.I.; pero dada la dificultad de la máquina para realizar esta operación por el ritmo tan pequeño a que debe realizarse en relación con el suyo normal, se prefirió utilizar en el tramo Puzol-Castellón una máquina circulando sobre carriles, que consistía esencialmente en una acabadora transversal, con un rodillo de longitud inferior a 1 m, que podía desplazarse perpendicularmente al eje del puente y que llevaba incorporado un pequeño tornillo repartidor de hormigón (fig. 35).

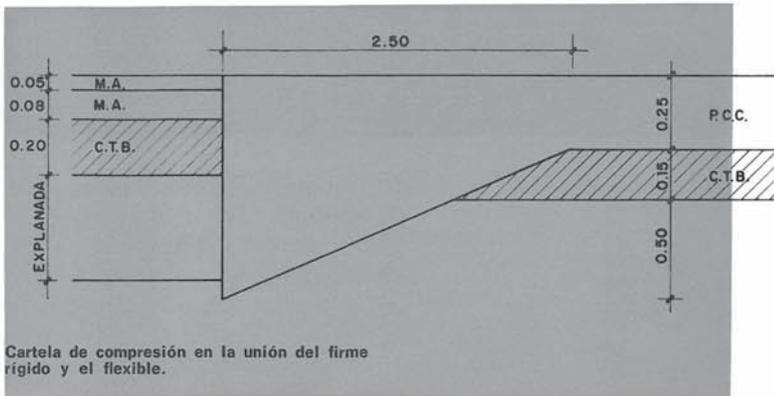
Perfilograma y obtención del Índice de Perfil.  
Máquina «bump-cutter» para eliminación de las irregularidades superficiales en el hormigón endurecido.  
Detalle de la «bump-cutter» trabajando.  
Aspecto del pavimento después de ser tratado con la «bump-cutter».

35



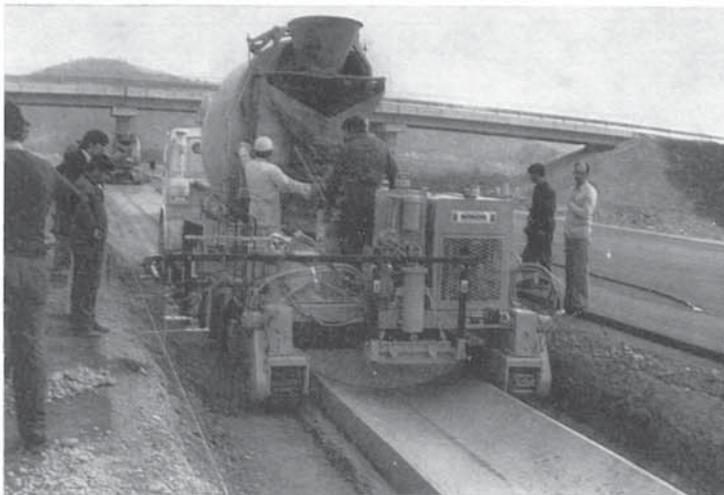
Máquina empleada en el hormigonado de los tableros de los puentes.

36



Cartela de compresión en la unión del firme rígido y el flexible.

37



Pequeña C.M.I. utilizada en el hormigonado de la cuneta central.

En la zona de unión del pavimento flexible con el rígido, se disponía en este último una cartela, del tipo representado en la figura 36, de forma que las losas de hormigón no ejerciesen presión únicamente sobre el firme bituminoso, sino también sobre el terreno subyacente, evitando así posibles asentamientos diferenciales por una presión excesiva.

La cuneta situada en la mediana se construía con una máquina de encofrados deslizantes para trabajo en pequeños anchos (fig. 37). El perfil de la cuneta era curvo, pero con moldes apropiados la máquina puede ejecutar otros tipos de cuneta, bordillos, muros de mediana, etc.

La máquina llevaba incorporado un trimmer para refinado de la explanada. El hormigón se vertía desde camiones-hormigonera a una tolva en donde era vibrado, y de allí pasaba a los mecanismos de conformación.

La velocidad de avance de la máquina era del orden de 1,5 m/minuto.

## RECONOCIMIENTO

Los autores agradecen la valiosa colaboración prestada en todo momento por el personal de Autopistas del Mare Nostrum, S. A., y Dragados y Construcciones, S. A., sin la cual no hubiera sido posible la redacción del presente artículo.

## résumé

### Autoroute Tarragone-Valence (Espagne)

Dans cet article est décrite la construction du tronçon Puzol-Castellón de l'Autoroute de la Méditerranée, où l'on a appliqué, pour la seconde fois en Espagne, les techniques californiennes de revêtements rigides: couches de base en grave-ciment et dalles en béton de masse, avec des joints obliques sciés et non scellés. Ce système est particulièrement approprié à l'utilisation d'équipements de coffrages glissants, ce qui se traduit par une plus grande économie et rapidité dans l'exécution du revêtement.

## summary

### Highway Tarragona-Valencia (Spain)

The present article describes the construction of the stretch Puzol-Castellón of the Mediterranean Highway in which for the second time the Californian techniques of rigid pavements have been used in a Spanish highway: bases of gravel-cement and slabs of mass concrete, with oblique, sawn, unsealed joints. This system is especially appropriate for the use of sliding shutterings which means greater savings and faster execution of the roadbed.

## zusammenfassung

### Autobahn Tarragona-Valencia (Spanien)

Der vorhandene Artikel beschreibt die Strecke Puzol-Castellón der Autobahn des Mittelmeers, wo man zum zweiten Mal die kalifornische Technik von steifen Stressdecken verwendet hat: Basen aus Gieszement und Platten aus Massenbeton mit schrägen, gesägten und ungedichteten Fügen. Dieses System ist besonders für den Gebrauch von Gleitschalungsausrüstungen geeignet, welches sich in grössere Ersparnisse und kürzere Ausführungszeit der Strassendecke ausdrückt.

R. FERNÁNDEZ SÁNCHEZ y C. JOFRÉ, Ings. de Caminos