

NUEVAS TENDENCIAS EN LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS RIGIDOS (*)

Por OLEGARIO LLAMAZARES GOMEZ

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Los avances en la tecnología de pavimentos de hormigón hidráulico y la disponibilidad de equipos de puesta en obra de gran rendimiento permiten obtener obras de gran calidad con buen comportamiento y cómoda rodadura, que se adaptan al pesado y veloz tráfico de autopistas y carreteras de gran circulación. En España tenemos muestras de la nueva técnica en las autopistas de Sevilla-Cádiz y Tarragona-Valencia, con losas no armadas, y se ha proyectado la solución de armadura continua en la llamada "Y" asturiana. A estas dos soluciones, que responden a las tendencias más modernas, dedica el autor el presente trabajo en el que se consideran las características esenciales de ambos tipos de pavimentos.

COLEGIO INGENIEROS DE CAMINOS
BIBLIOTECA

1. Consideraciones previas.

La crisis del petróleo con el alza de precios de los productos bituminosos ha dado lugar a reconsiderar con mayor interés los firmes de hormigón hidráulico.

En todo caso los pavimentos rígidos competían económicamente cada vez más con los firmes flexibles en la medida que éstos han ido necesitando secciones estructurales de mayor espesor y calidad, como consecuencia de un tráfico creciente en frecuencia y magnitud de las cargas.

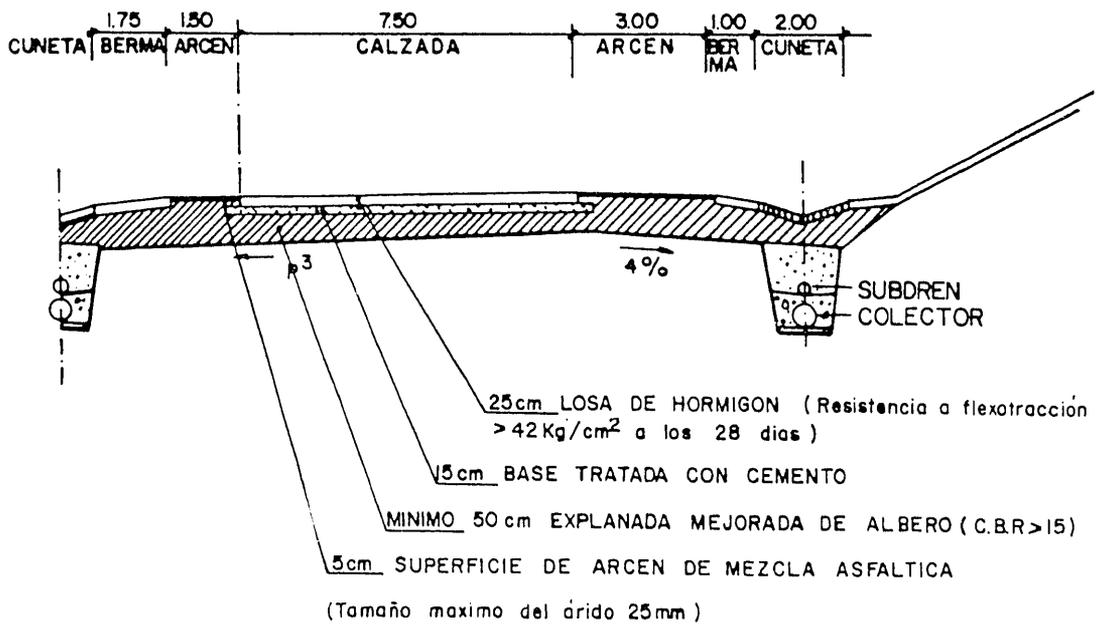
No obstante, por lo que respecta a la circunstancia condicionante de la crisis petrolífera, puede argumentarse que si ésta llega a una realidad tangible, o sea, con un gran impacto para el desarrollo industrial, las mutaciones en el fenómeno del tráfico invalidarían los supuestos de selectividad de pavimentos en el aspecto económico-funcional.

Una distribución modal más lógica para la posible solución futura y singularmente en cuanto al transporte de mercancías, adaptada a costes y circunstancias, requeriría nuevos planteamientos sobre los que es prematuro pronunciarse.

No se puede predecir, con cierto grado de fiabilidad, la mayor o menor aceptación de los firmes rígidos o flexibles para las nuevas autopistas u otras vías de tráfico pesado. La elección de soluciones dependerá de las exigencias del tráfico y del mercado de materiales.

Frente al incremento de coste de los ligantes bituminosos se está reaccionan-

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta revista hasta el 29 de febrero de 1976.



Sección tipo del tramo de firme de hormigón de la autopista de Sevilla-Cádiz, en la que se adoptó la solución de losas no armadas.

do ya con tendencias a la disminución del tenor de ligantes que es un parámetro crítico en el coste y comportamiento de las mezclas asfálticas. Se revisan los métodos de dosificación de modo que, con contenidos mínimos de betún, se llegue a capas de suficiente resistencia a la desagregación y a la deformación en cualquier circunstancia climática. Una composición del esqueleto mineral en sus fracciones fina y gruesa que contribuya a la máxima estabilidad (*), betunes de más alto índice de penetración y el empleo de polímeros y resinas epoxídicas, son factores que permitirán reducir los contenidos de ligante bituminoso con el consiguiente ahorro. Pero sin olvidar que debe llegarse a mezclas de la máxima durabilidad con superficie de rodadura de rugosidad permanente y pocos gastos de conservación. Así podrán competir con los pavimentos de hormigón.

Según la información de los distintos países, los factores que han determinado la elección del tipo de pavimento han sido: la naturaleza del terreno por el que se desarrolla el trazado —quizá esto sólo en casos límites— la disponibilidad de trenes de puesta en obra y la propia experiencia del país en cuestión que prefiguraba facilidades y predilecciones para el sistema a adoptar.

La disponibilidad de materiales pétreos y ligantes no fue hasta ahora un condicionante singular, pero quizá esta circunstancia pudiera cambiar por la crisis del petróleo a que antes aludíamos, o por que los excedentes de la producción nacional de cemento aconsejen su aplicación en mayor escala en la construcción de firmes de carreteras y autopistas.

En todo caso ya en los últimos años se ha notado en diversos países un incremento en la construcción de firmes de hormigón que responde generalmente a soluciones de losas no armadas y pavimentos de armadura continua.

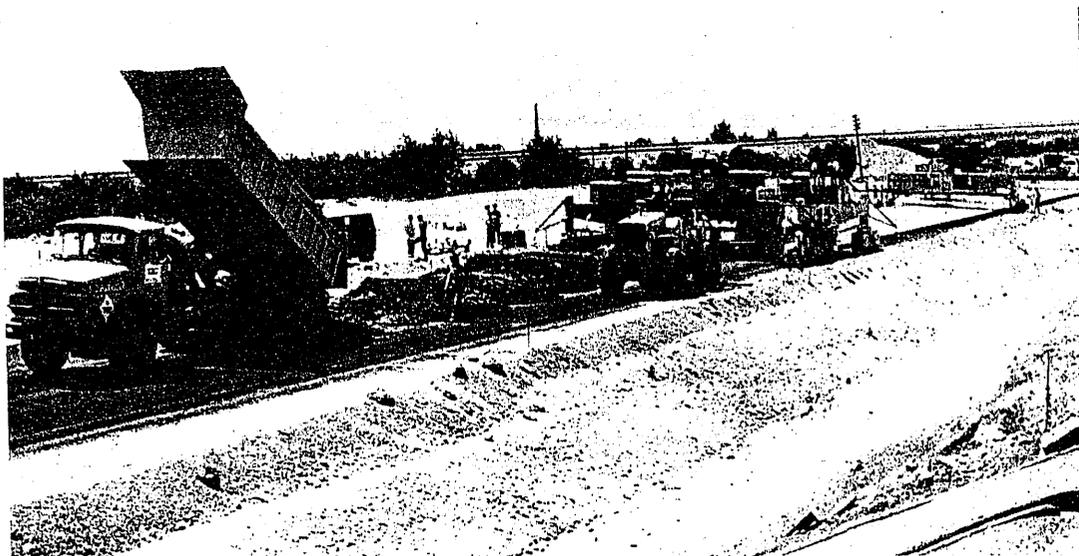
(*) En este sentido se ha dictado la nueva norma inglesa British Standard (B.S. 594).

2. Pavimentos no armados.

Quizá la muestra más clara de evolución hacia pavimentos sin armar sea el caso de Inglaterra. Existe en este país una tendencia creciente al empleo de losas no armadas en contra de la instrucción antigua que prescribía el armado en todo caso con cuantías de 2,5 a 4,7 Kg/cm² según la intensidad de vehículos pesados deducidos de la prognosis de tráfico del proyecto.

Para los concursos de tramos de autopistas o vías de tráfico pesado una disposición complementaria de la reglamentación contractual (*) permite a los licitadores ejercer el derecho de cambiar la solución del proyecto/base, o sea, substituir la solución de pavimento flexible por pavimento rígido.

Posteriormente, y a la vista de la frecuencia con que se aplicaba este derecho optativo, se estudian los proyectos con doble solución en la sección estructural de



Las extendedoras de gran rendimiento han permitido reducir los plazos de ejecución respecto a los fijados en el contrato.

su firme: pavimento rígido y pavimento flexible y se seleccionan las propuestas, haciendo abstracción del tipo, reduciéndose a las características funcionales y económicas de ambas alternativas.

Los períodos de vida de los pavimentos de que se parte en los métodos de proyecto son de cuarenta y veinte años para los rígidos y flexibles respectivamente; no obstante, no se computan para los pavimentos flexibles costes adicionales de reparación o refuerzo para adaptar la sección resistente a un más largo período.

Como antecedente español de autopista con pavimento de hormigón no armado tenemos en España la variante de Torrejón. El autor de este artículo adoptó esta solución inspirado en la técnica de California, cuando en Europa se proyectaban losas armadas, con carácter general.

La sección estructural de la autopista de Torrejón se proyectó con losas de 25 cm de espesor sobre base de grava-cemento. La subbase granular se sustituyó

(*) DoE Technical Memorandum H5/72, del Ministerio de Transportes.

por una capa de suelo-cemento para permitir en mejores condiciones el tráfico de obra sobre ella. La sección que se construyó está integrada por las siguientes capas:

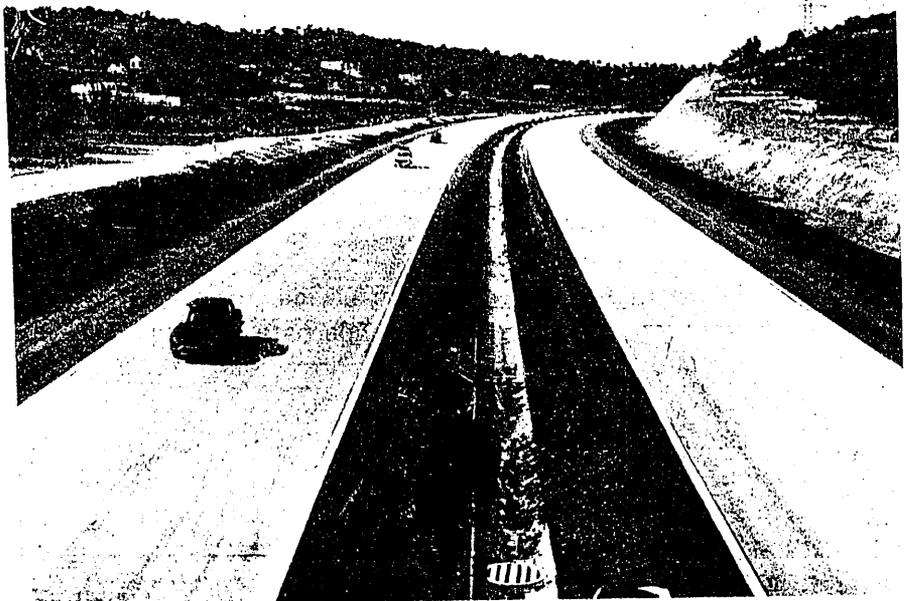
- Pavimento de 25 cm de hormigón en masa.
- Base de grava-cemento de 15 cm.
- Subbase de suelo-cemento con espesor mínimo de 10 cm.

El apoyo de las losas sobre bases de suficiente rigidez, con regularidad superficial permanente y en las que se limite al máximo la producción de fenómenos de surgencia es singularmente importante para los pavimentos de hormigón en masa. La limitación de distancia entre juntas viene impuesta por la evitación de que las tensiones de origen higrotérmico, provocadas al coartar el alabeo de la losa o por la retracción inicial, no pasen de un límite prudente.

Un tema interesante dentro de la concepción de la junta es la necesidad de establecer pasadores de transmisión de cargas entre losas contiguas para evitar asentamientos diferenciales; disponer pasadores presenta ventajas a partir de una determinada intensidad de tráfico, definida por la proporción de vehículos pesados en la I.M.D. previsible para el tramo que se proyecta durante su período de servicio.

En el caso de juntas ortogonales la separación oscila normalmente entre 5 y 6 metros; corresponde la mayor separación al empleo de árido calizo.

Para mejorar el comportamiento de la junta y conservar el pavimento en buen estado durante un periodo más largo se recomiendan las juntas oblicuas; la oblicuidad es justamente la necesaria para que las ruedas de un lado y de otro de los ejes de los vehículos pesados no pisen simultáneamente en los bordes de la losa. Se reducen así las deflexiones y también se hace más suave la rodadura, evitando perjudiciales efectos progresivos de impacto.



En la imagen, un tramo de hormigón de la autopista Tarragona-Valencia, que, como el de Sevilla-Cádiz, se ha construido de acuerdo con la técnica de California, o sea, pavimentos de hormigón en masa sobre una base tratada con cemento.

La discusión juntas serradas *versus* juntas vibradas en fresco se ha resuelto a favor de las primeras, que si bien son más caras de ejecución esto se compensa por los mayores costes de conservación y reparación a que pueden dar lugar las imperfecciones de las juntas vibradas.

Señalemos también el empleo de espaciamiento irregular, o sea, distancias variables entre las juntas, para evitar fenómenos perjudiciales de resonancia. En California se suele adoptar para este espaciamiento una ley periódica definida por las siguientes longitudes de losas contiguas:

4,00 - 5,80 - 3,50 - 3,70 metros.

Como ejemplo de la primera aplicación en nuestro país de las normas de proyecto de California, que son las más avanzadas y completas, citaremos el tramo Sevilla-Cádiz, de la autopista de Andalucía (A-4). En este tramo es también donde se empleó por primera vez un tren de encofrados deslizantes.

El firme rígido se distribuye a lo largo del tramo en dos subtramos de 18 Km de longitud cada uno, construyéndose la longitud restante con un pavimento flexible más adecuado a las especiales características geotécnicas de las marismas y terrenos inundables, por donde discurre gran parte del trazado, con posibilidad de deformaciones a las que puede adaptarse mejor un firme asfáltico.

El firme rígido adoptado para este proyecto está integrado por una losa de hormigón en masa de 25 cm de espesor, colocada sobre 15 cm de base tratada con cemento de unas características especiales. Este conjunto descansa sobre una plataforma poco deformable, mejorada con suelos seleccionados de gran capacidad portante. En la adjunta sección-tipo figuran todos los elementos y se inscriben las cotas correspondientes (*).

Las normas de California para la base especifican un huso granulométrico bastante amplio, con tamaño máximo de 3/4" para lograr un mejor acabado geométrico; un determinado contenido de cemento, que suele estar comprendido entre el 3 y el 4 por 100, y una densidad del 95 por 100 del *California Standard* que resulta equivalente al proctor modificado; por el contrario, no se fija un límite inferior a la resistencia a la compresión ni tampoco a los valores de la deflexión.

La capa de base debe constituir una plataforma bien perfilada y suficientemente estable, como antes se dijo, para apoyo del pavimento de hormigón. Asimismo debe comportarse en el futuro con cierta rigidez repartiendo cargas y evitando asentamientos especialmente en las proximidades de las juntas, ya que éste es el fundamento que justifica la técnica de las juntas de retracción serradas. La capa de base debe permitir la posterior ejecución del pavimento y la circulación de los camiones que suministran el hormigón, pero de ningún modo puede soportar sistemáticamente el tráfico de obra, para el que deben preverse pistas fuera de la calzada.

Los camiones de transporte de hormigón sólo deben circular los últimos metros marcha atrás sobre la base para volcar el hormigón delante de la extendidora, y aun en estas condiciones pueden producir deformaciones u otros perjuicios a la base, tanto más cuanto que las cargas por eje en los transportes interiores de obra suelen sobrepasar las toleradas por el Código de la Circulación. Por ello, si se quie-

(*) Remitimos al lector interesado a la monografía descriptiva de la obra de Lázaro, F. J.: *Últimas tendencias en pavimentos de hormigón hidráulico*. "Pavimentos rígidos". Serie monográfica publicada por la Agrupación de Fabricantes de Cementos de España, 1973.

ren evitar estos problemas, se debe prestar una especial atención a la organización del transporte durante la ejecución de la obra.

En cuanto al pavimento, en la autopista Sevilla-Cádiz se cuidó muy especialmente la regularidad del hormigón, manteniendo a lo largo de la obra la fórmula de trabajo, las características de los áridos y el tipo de cemento. La plasticidad del hormigón es un punto muy interesante cuando se trabaja con encofrados deslizantes, ya que es preciso que se mantenga la arista de borde cuando éstos vayan avanzando. Esta plasticidad o consistencia de la masa puesta en obra depende en gran parte del mortero y por ello hay que cuidar más la fracción fina que la fracción gruesa del árido.

En este punto es interesante referirse a una reciente especificación inglesa DoE Technical Memorandum H7/74 en la que se recomienda el uso de plastificantes o agentes reductores del agua de amasado en tres casos:

1. Cuando se trabaja en invierno.
2. Con áridos que presenten dificultades.
3. Con encofrados deslizantes.

Es importante también el curado para lo que debe elegirse un producto adecuado, que se aplicará en cuanto desaparece el agua de la superficie del hormigón. Cuando el hormigón ha endurecido suficientemente se procede al serrado de juntas.

3. Pavimentos de armadura continua.

Dentro de la técnica de los pavimentos de hormigón armado y con el deseo de suprimir las juntas transversales con sus riesgos de funcionamiento defectuoso cuando la ejecución no es perfecta, o por inevitables efectos perjudiciales a lo largo del período de servicio del tramo, se tiende a la solución de pavimentos de armadura continua.

Esta técnica inicialmente americana ha pasado a Europa y en estos momentos Bélgica es el país de nuestro continente más avanzado en tal sistema de ejecución como pudo apreciarse en las ponencias del último simposio de pavimentos de hormigón (*).

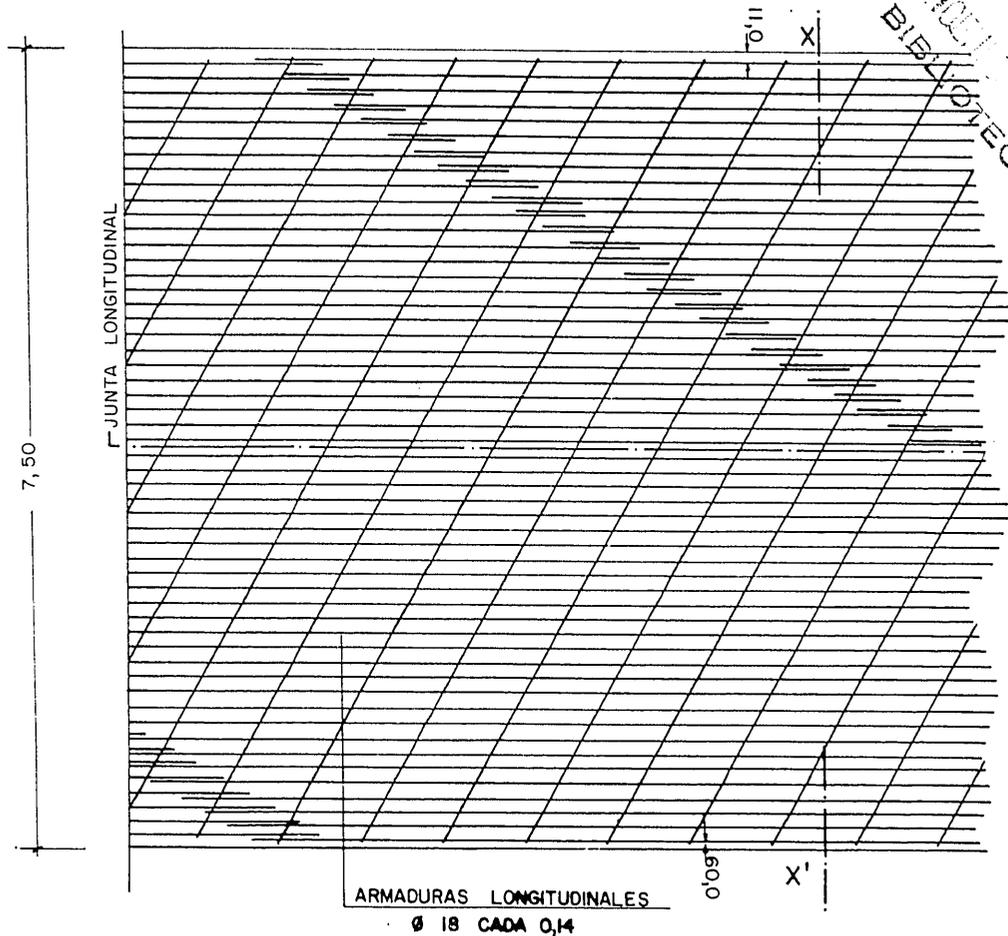
Los pavimentos de armadura continua se arman longitudinalmente con redondos de acero corrugado de 16 a 18 mm y cuantías del orden del 0,7 al 0,9 por 100.

Las losas pueden tener una longitud indefinida, limitada sólo por las obras de fábrica. Los dispositivos de extremidad que se establecen generalmente contiguos a los estribos de estas obras tienen secciones con dimensiones del orden de 0,50 por 1,30 m.

Con los pavimentos de armadura continua se logra una rodadura mejor que con las de juntas serradas. La solución hasta ahora es más cara, aunque la supresión de juntas supone un ahorro importante; tienen la ventaja de la seguridad de una buena conservación y deben considerarse en tramos donde se tema respecto al buen comportamiento de las juntas. Las sollicitaciones termohigrométricas de las losas convencionales y las deformaciones a que dan lugar, constituyen un peligro

(*) II European Symposium on Concrete Pavements. Berna, 13-15 de junio de 1973.

PLANTA DE ARMADO



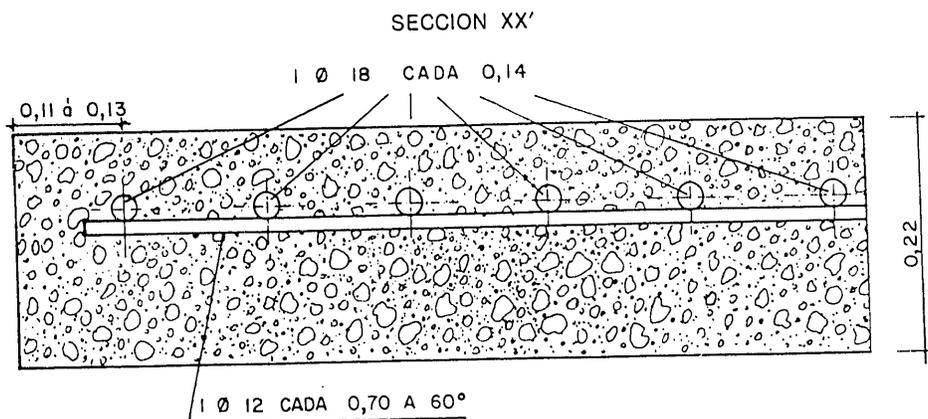
Distribución del armado en el pavimento de la autopista de Oviedo-Lugones, que es el primero que va a construirse en España con armadura continua.

para la degradación de las juntas, lo que con el paso del tiempo puede afectar a las condiciones de rodadura hasta llegar a límites inadmisibles. A tal circunstancia se debe la actual promoción de la técnica de armadura continua.

En España el primer pavimento de este tipo se ha proyectado para el tramo Oviedo-Lugones de la llamada "Y" asturiana (autopista Oviedo-Avilés-Gijón).

Se ha elegido esta solución en razón principalmente de la triple circunstancia: tramo de tráfico muy pesado por el intenso transporte industrial y minero, zona de persistente humedad con gran frecuencia de lluvias y plasticidad e irregularidad del terreno.

Tales concausas aconsejan evitar las juntas transversales que constituirían zonas débiles, pues a pesar de las precauciones que se tomaran en la base de apoyo y en la obturación podían producirse fenómenos de surgencia —por la gran humedad a que aludíamos— a lo que seguirían asientos diferenciales entre losas contiguas, agravadas por el impacto de los ejes pesados, con roturas de arista transversal o esquina, o en el borde de los arcenes de pavimento asfáltico y desde un principio con una rodadura más irregular que el pavimento continuo.



Sección transversal en la que puede verse la disposición de los redondos en el pavimento del citado tramo de la "Y" asturiana.

Con la losa suficientemente armada se atenúan las cargas sobre la base —quizá con más propiedad en el caso de firmes de hormigón debería hablarse de subbase— y explanada, corrigiendo en el tiempo, las sobretensiones que pudieran producirse por deformaciones o entumecimiento en los suelos de la traza de dudosa y poco uniforme calidad. Con la cuantía de armadura que se prevé del 0,85 por 100 se impide el posible agrietamiento, pues se asegura el reparto de las fisuraciones en microfisuras uniformemente repartidas.

En el proyecto redactado por nuestro compañero Alejandro Checa se ha partido de las hipótesis americanas, considerando, asimismo, la experiencia belga. Para aplicar el método de cálculo de las especificaciones americanas ha sido preciso tener en cuenta dos correcciones:

- La ampliación del eje patrón de 8 Tn, máximo autorizado en los Estados Unidos al eje español de 13 Tn.
- La correlación entre las resistencias características a flexotracción del hormigón de la losa; en el pliego de prescripciones técnicas de la obra se piden 30 Kg/cm², mientras que en los Estados Unidos la resistencia es de 18 Kg/cm².

Para la corrección de la carga por eje se empleó la fórmula deducida de los resultados del ensayo AASHO (*). Las resistencias se relacionan por sus raíces cuadradas (**); se toman resistencias a flexotracción a los veintiocho días. Los efectos

(*) La expresión de la fórmula empleada es:

$$C_1 = \left(\frac{P_e + 1}{P_a + 1} \right)^{0,63}$$

siendo P_e y P_a las cargas máximas por eje española y americana, definidas en Kips (1 Kip < 0,448 Tm); el coeficiente amplificador es:

$$C_1 = \left(\frac{30}{19} \right)^{0,63} = 1,4$$

(**) Se parte de que el momento resistente es directamente proporcional a la resistencia a tracción del hormigón y al cuadrado del espesor de la losa, o sea:

$$\frac{M_e}{M_a} = \frac{\sigma_{t_e} E_e^2}{\sigma_{t_a} E_a^2} = 1 \quad C_2 = \sqrt{\frac{18}{30}} = 0,775$$

de ambas variaciones respecto al espesor americano correspondiente son compensatorias llegándose a un espesor de losa de 22 cm que es el que se ha adoptado en el proyecto.

Para dimensionar la sección de armadura se supone que la tensión máxima admisible en el acero es el 75 por 100 de su límite elástico, en el momento en que el hormigón llega a su estado de saturación y que el módulo de elasticidad es de 300.000 Kg/cm². El límite elástico exigido para el acero es de 5.000 Kg/cm². La cuantía del 0,85 por 100 adoptada, incluye la componente que por oblicuidad corresponde a la armadura transversal. Equivale esta cuantía a 16 kilogramos de acero por metro cuadrado.

La cuantía de la armadura transversal se determina con la condición de que puede absorber los esfuerzos de rozamiento de la losa con la sub-base, debidos a la retracción o a los movimientos de origen térmico.

4. Condiciones de los materiales y ejecución de obra.

Las condiciones del hormigón para pavimentos de cualquier tipo, tanto por su directa exposición a las variantes higrotérmicas como al paso repetido de ejes muy pesados, exige una rigurosa selección de materiales en cuanto a sus características básicas y unas dosificaciones estrictas, incluso con mayor rigor que en las estructuras más delicadas de esta fábrica.

La calidad, forma y limpieza de los áridos se precisan cada vez con mayores exigencias en los pliegos contractuales de prescripciones técnicas, así como el volumen de huecos, relación agua/cemento y otros datos que ya se consideran como esenciales.

La limitación en el contenido de agua que mejora las resistencias características está condicionada, a su vez, por la docilidad o facilidad de puesta en obra de la mezcla.

Se han definido criterios de humedad óptima, buscando la mínima para una docilidad admisible. Se introdujo para ello el concepto de *manejabilidad granular*, que para una proporción de agua dada caracteriza a la mezcla de componentes sólidos a efectos de su facilidad de puesta en obra y compactación. Se pretende con ello llegar a una humedad crítica para lo que será preciso una normalización y una uniformidad de referencias en todos los laboratorios con las consiguientes comprobaciones en obra que creen el necesario clima de confianza en los ingenieros de construcción.

La homogeneidad de la mezcla y su capacidad de retención de agua son también dos características importantes. Por lo que se refiere al árido y en relación con la proporción óptima de agua, si se quiere reducir ésta hay que limitar las fracciones finas que producen un gran aumento de la superficie específica. Se suelen tomar como límite de las fracciones 0/1 y 0/02 milímetros el 25 por 100 y el 2 por 100, respectivamente, del peso total del árido.

Respecto al conglomerante a emplear y con vistas a evitar los peligros de la fisuración de la calzada en las primeras horas después de la construcción —lo que es especialmente importante en los pavimentos con juntas serradas— se recomiendan cementos con bajo contenido de aluminato tricálcico. Esto, no obstante,

debe tomarse con prudencia sin olvidar los efectos higrotérmicos y la posible influencia de los aditivos que se incorporen a la mezcla.

En algunos pliegos de prescripciones se fija el contenido máximo de aluminato tricálcico en el 8 por 100.

La ejecución de pavimentos de hormigón se aproxima cada vez a un proceso industrial. Como en toda obra de carreteras se presenta en estos pavimentos el problema de grandes ritmos de ejecución que invalida los métodos tradicionales de control de calidad.

En la construcción de autopistas con los modernos equipos de fabricación y puesta en obra, el control *a posteriori* es muy lento para el hormigón fresco y no digamos para el hormigón fraguado. Este control sólo puede tener ya un valor científico para conocer el comportamiento o la evolución de un pavimento con el paso del tiempo y el efecto de las sollicitaciones.

La evolución a estructuras de pavimento que incluyan los arcenes y bermas, en su caso, se manifiesta cada vez más claramente en diversos países. Si existe unidad respecto al aspecto técnico de esta solución, en lo que se refiere a sus ventajas, hay discrepancias en el aspecto económico, al menos a corto plazo.

La introducción de las máquinas de encofrados deslizantes han supuesto numerosas ventajas en el aspecto económico-funcional respecto a las de encofrados fijos.

Una técnica mejor conocida en sus tendencias más modernas en cuanto se refiere a materiales, fórmulas de trabajo, proceso constructivo y acabado, así como una mayor disponibilidad de equipos de puesta en obra de gran rendimiento en nuestro país, permiten considerar a los firmes de hormigón como alternativa de los asfálticos en autopistas y otras vías de tráfico pesado.

Ambas soluciones podrán ser tenidas en cuenta por los proyectistas para los tramos básicos de ampliación de la infraestructura viaria que, progresivamente y sobre certeras bases de rentabilidad, postule nuestro desarrollo económico y social.