

Diseño y evaluación de un sistema constructivo para carreteras basado en elementos prefabricados de concreto (Parte I)

*Noé Villegas Flores**

*Betty De los Ríos***

*Antonio Aguado de Cea***

*A.C.P. Santos**

RESUMEN

Las condiciones socio-económicas y medioambientales de los países industrializados hace necesario replantear muchos procesos en el sector de la construcción. En particular la construcción de carreteras produce grandes impactos que repercuten tanto en el consumo de materias primas como en el aumento de la congestión de tráfico. Considerando estos aspectos, en este trabajo se propone un nuevo sistema de construcción de carreteras basado en la utilización de elementos prefabricados de hormigón armado con configuración de losas estructurales de transmisión de cargas y durmientes de apoyo. Además de ello, se muestra la aplicación de una metodología de evaluación denominada MIVES, que permite valorar la solución constructiva de forma coherente, integral y sostenible. Se ha tomado como alternativa de solución la propuesta constructiva mencionada y la solución tradicional en el entorno español.

Palabras clave: sistema constructivo, carretera, concreto, MIVES

ABSTRACT

The social, economic and environmental conditions of the developed countries make necessary to validate all the process about construction sector. The highway construction generates huge

*Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura, Universidad Juárez del estado de Durango, México. nvillegas@ujed.mx, Parapinski@ujed.mx

**Departamento de Ingeniería de la Construcción, Universidad Politécnica de Cataluña, España. antonio.aguado@upc.edu

impacts through environmental as raw quantities or the increase of traffic in our highways. Referring to this case, the article proposes a new construction system to highways based in use of prefabricated elements of reinforced concrete. It has configured with prefabricated slabs which transfer the weight to beams of load. Besides, it's showed the methodology to evaluate the constructive system called MIVES, which allow validate the solution integral and sustainable. It has taken as alternative the new construction system and the classical solution in Spain.

Keywords: construction system, highway, concrete, MIVES

INTRODUCCIÓN

El empleo de elementos prefabricados de concreto, tanto en la obra civil como en la edificación, está hoy en día muy extendido, (Buch, 2003), (Eugenio, 2007), si bien, es en el ámbito de la edificación donde el grado de desarrollo es mayor, fruto de la idiosincrasia de este subsector. Sin embargo, en los últimos años, la prefabricación está abriendo un camino más amplio a las actuaciones prefabricadas, pasando del antiguo puente de vigas a soluciones más complejas y completas, y comenzándose a explorar con interés en la construcción de pavimentos de carreteras (Cotton & Wilson, 2005) y (Tyson & Merritt, 2006).

Este creciente interés puede ser fruto en la reducción de tiempos de construcción, y las ventajas económicas que ello representa; así como la menor repercusión de las molestias en los usuarios. Con respecto a la variable tiempo, en el caso de firmes rígidos de concreto, la apertura a la circulación ordinaria no debe realizarse antes de siete días de la terminación del pavimento en obras nuevas, (Kraemer et al., 2004b). En cambio, en obras de refuerzo o reconstrucción se ha desarrollado los pavimentos denominados fast-track o de apertura rápida al tráfico con los que, gracias al empleo de concreto superfluidificado de muy alta resistencia inicial se puede reducir el plazo a 6-24 horas, (Fava, 1998).

Por el contrario, con el uso de elementos prefabricados se puede conseguir el casi inmediato librado al tránsito, después de la construcción (Merritt et al., 2002); (Tyson & Merritt, 2005); (Cotton & Wilson, 2005).

Además del factor tiempo, el interés de la prefabricación en general, y en este caso en particular, viene dado por su mayor nivel de prestaciones técnicas (durabilidad y resistencia), por su rapidez de construcción con la consecuente disminución de molestias para los usuarios y las ventajas medioambientales que ello pueda significar.

El objetivo de este artículo es por un lado, proponer una nueva alternativa de construcción de carreteras mediante el uso de elementos modulares prefabricados de hormigón, analizando sus características desde distintos puntos de vista, y por otro, exponer los detalles constructivos así como también los inconvenientes de construir mediante esta tipo de soluciones.

Situación actual en la construcción de carreteras

En los últimos años la industria de la construcción ha experimentado cambios sustanciales a consecuencia de las nuevas tecnologías y materiales. Hoy en día los plazos de obra son más exigentes y deben compatibilizarse con una optimización económica del proyecto,

minimizando, además, el impacto ambiental del entorno y tener presente las circunstancias sociales. Todos estos factores exigen poner mayor énfasis en determinados aspectos del proyecto proponiendo diversas alternativas que conduzcan a rentabilizar el tiempo, conseguir economías de obra, y mejoras del diseño con el menor impacto en el medio ambiente según Percivati & Colombo (2006).

La construcción de carreteras con tecnología prefabricada de concreto podría ser una alternativa a considerar ya que a pesar del relativo mayor costo inicial que suponen, resulta más barata a la larga, considerando el mantenimiento a lo largo de la vida de la estructura. Con respecto a este último aspecto del Val (2007) deja claro que los resultados del uso de firmes rígidos son en general más que aceptables, por el hecho de que en España después de veinte años de su construcción la mayor parte de los tramos construidos siguen en servicio y en buen estado habiendo tenido una mínima conservación cuando no prácticamente nula.

La propuesta de un sistema industrializado se justifica por la mayor calidad. Los elementos prefabricados tienen la ventaja singular de construirse bajo condiciones controladas y precisas, ya que cada pieza se somete a inspección normalizada antes de salir de la fábrica brindando mayor calidad de producto. Asimismo, esta solución presenta ventajas para el medio al generar mucho menos residuos que la construcción in situ gracias a un mayor control del uso de recursos de materiales; es así que también los productos de desecho suelen ser reutilizados o reciclados en las fábricas. Otra ventaja añadida es el que la construcción prefabricada reduce las actividades in situ contribuyendo a la reducción de costes de mano de obra y materiales.

Por otra parte, la construcción de carreteras, como cualquier otra infraestructura, presenta consumo de materiales de diferente naturaleza; empezando desde la manipulación del terreno natural (provocando un consumo y deterioro del mismo) hasta el uso de la materia prima para la fabricación del cemento y el acero. La utilización de estos materiales genera emisiones al medio ambiente aportando impactos negativos a la atmósfera, (Josa et al, 2000).

Los aspectos socio-económicos y medioambientales actuales exigen replantear muchos procesos de este sector a causa de los impactos que producen. En cuanto el desarrollo de la tecnología en las carreteras, está llamada a poner mayor interés, principalmente, en los temas como son medioambientales, sociales y económicos bajo el concepto de desarrollo sostenible.

Descripción Técnica de la Propuesta

El nuevo sistema está pensado para la construcción de carreteras de nueva planta. La tecnología base es la prefabricación de elementos de concreto armado, con lo que se persigue conseguir un sistema simplificado y de fácil construcción, con calidad de producto, y mayor rapidez de ejecución. Intentando cubrir todas las funcionalidades requeridas en una carretera: drenajes adecuados, señalización, equipamiento, servicios de emergencia, etc., e incluso incorporar nuevas funcionalidades.

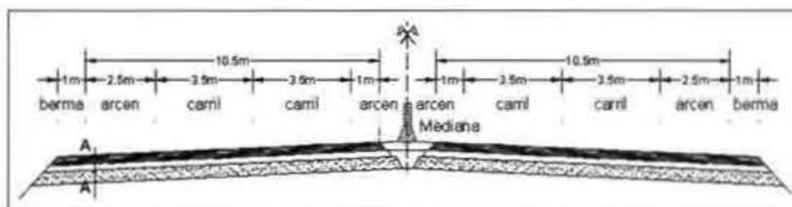
- a) Los criterios adoptados para concebir este nuevo sistema constructivo fueron:
- b) Transporte de los elementos con medios estándar, adaptándose al Reglamento General de Vehículos (máx. 12.0 m longitud, 4.0 m. altura y 2.55 m ancho con un peso total de 40 Tn., tara incluida, y carga de transporte de 26 Tn.);
- c) Comodidad del usuario, siendo el parámetro que mejor percibe el usuario;

- d) Facilidad constructiva, considerando que el mejoramiento de los rendimientos y la reducción de riesgos en la colocación son aspectos operativos claves en el rendimiento de la obra, y finalmente
- e) La minimización de operaciones que responde a ocupar la máxima superficie en cada operación.
- f) Para la definición del nuevo sistema constructivo se utilizó la Normativa de trazado, el Reglamento General de vehículos, la Instrucción de carreteras Norma 3.1-IC, y revistas especializadas de carreteras. Debido al alcance de este trabajo, aquí tan sólo se expondrán los aspectos más relevantes del sistema constructivo.

Geometría transversal

La sección transversal geométrica tomada en cuenta la constituye la plataforma, excluyendo por tanto, la mediana y la berma. Conformando así, como se aprecia en la Figura 1, los dos carriles de circulación y los arcenes exteriores e interior. La anchura total de plataforma será de 10.5 con 3.5m., por carril, 2.5m. para el arcén exterior y 1.0m. para el arcén interior.

Figura 1
SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA CALZADA ESTUDIADA



27

Las calzadas se han tomado separadas, entre otras razones, para facilitar el transporte de los elementos prefabricados. Puesto que puede tener otro valor añadido por la facilidad de uso y de construcción, asimismo las losas pueden servir de corredores de servicio. No obstante, el tomar las calzadas separadas no es una limitación a la hora de plantear una calzada única para toda la sección de la carretera.

Estructura

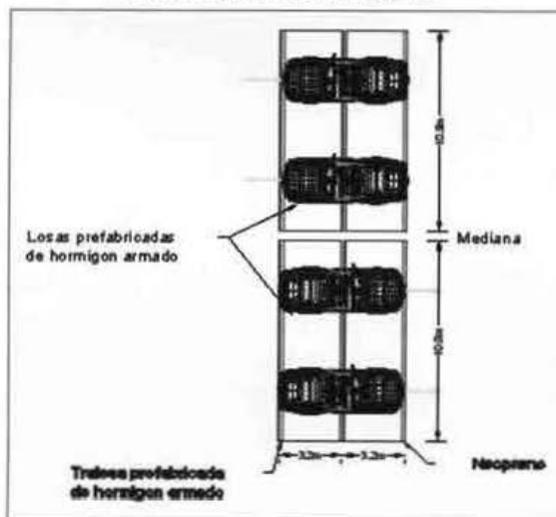
La estructura que se propone utilizar está constituida por losas modulares prefabricadas de concreto armado con dimensiones optimizadas para la fabricación, el transporte, el almacenamiento y el montaje. Con ello se persigue maximizar el rendimiento de colocación, el cual puede llegar a alcanzarse con losas que puedan cubrir la máxima superficie posible. Asimismo, dado que las juntas entre paneles pueden afectar al confort, en especial en la dirección perpendicular al tráfico, parece conveniente tratar de reducir al mínimo el número de juntas.

En la figura 2, puede verse que el sistema está compuesto por losas de 3,2 m de largo por 10,5 m de ancho y 0,30 m de canto que reposan sobre vigas prefabricadas de concreto armado de

10,5 m de longitud con una sección transversal de 0,30 m de base por 0,20 m de canto a través de apoyos elastoméricos que evitan la transmisión de giros de la losa a la viga.

Los elementos de apoyo de las losas serán vigas prefabricadas (vigas). La razón para adoptar este tipo de apoyo, es decir, el uso de losas sobre vigas y no losas directamente apoyadas sobre la explanada, radica en tratar de reducir los riesgos de posibles erosiones y el trabajo en ménsula de la losa, en ciertas zonas descalzadas, que pudiesen dar lugar a roturas locales.

Figura 2
NUEVA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA
PARA PAVIMENTO EN CARRETERAS



Si bien es cierto que dentro de las ventajas indiscutibles de la prefabricación, el costo inicial comparado con el sistema convencional es mayor, también es cierto que este aspecto es discutible si se incluyen los costos de mantenimiento y los beneficios del mayor control del producto durante su fabricación y puesta en obra.

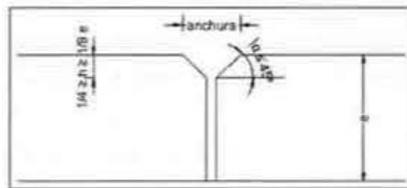
Características particulares del sistema constructivo

Juntas

Dada la cantidad de juntas transversales de la solución, es necesario diseñar una junta lo más idónea posible. Primero, por la necesidad de evitar el paso del agua a la explanada que afecte la vida útil del pavimento. Segundo, por la importancia de brindar comodidad y confort al usuario.

El diseño de junta, en este sistema, no tendrá los tradicionales labios a 90 grados, sino que los bordes serán achaflanados y por ende, la junta tendrá forma de embudo. Tal como se puede ver en la figura 3, las aristas de las losas tendrán una inclinación menor o igual a 45° para evitar que el ángulo sea muy tendido y esto a una distancia h mayor o igual a $1/4$ del espesor de la losa y menor o igual a $1/8$ del espesor de la losa.

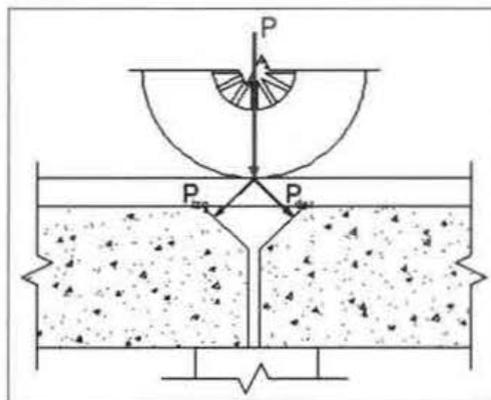
Figura 3
DETALLE TRANSVERSAL DE LA JUNTA



El cambio propuesto en la arista de la losa es para ayudar a retardar el reflejo de la junta a la capa de rodadura que se produce con el paso del coche. La inclinación de la arista ayudará o tratará de retener su reflejo, abatiendo la propagación a lo ancho de la abertura. El tipo de junta que se forma al emplazar las losas en la carretera obliga a repartir la transmisión de cargas en dos componentes: una que va a la esquina izquierda y la otra a la derecha, tal como se puede ver en la figura 4. Con este planteamiento se reducen los negros de rotura de las esquinas.

En el diseño de la junta según el detalle de la figura 5, se puede observar que en la parte superior de la junta, entre la losa y la capa de rodadura, se interpondrá una tela resistente imprimada en ambas caras con ligante asfáltico. La tela tendrá un ancho tal que sea capaz de cubrir totalmente el ancho superior de la junta y 20 cms de ancho en cada lado para garantizar su adherencia con la capa de asfalto y la superficie de las losas.

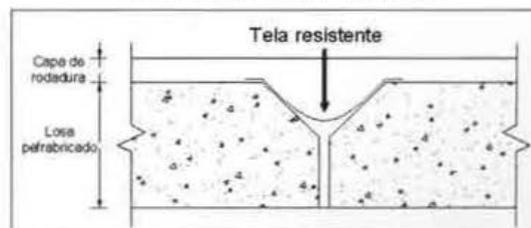
Figura 4
ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN DE CARGAS EN LA JUNTA



29

Asimismo, en la misma figura 5, se observa que la caja de la junta no tendrá ningún tipo de material de relleno para asegurar total libertad de movimiento en las losas y evitar la aparición de fisuras importantes en la capa asfáltica.

Figura 5
SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA LOSA



Las soluciones antirreflexión de juntas (achaflanado de los bordes y la tela resistente) destinadas a retardar ó minimizar la reflexión de las juntas a la superficie de rodadura ofrecen gran resistencia a la reflexión de fisuras. Tienen como función atenuar y retardar el su reflejo en la superficie del pavimento, impidiendo asimismo el ingreso del agua a la explanada.

Si bien la inclinación en el borde de la losa ayuda a evitar el reflejo directo de la junta a la capa de rodadura ó de retener su reflejo, abatiendo la propagación a lo ancho de la abertura. Por otra parte, la tela resistente interpuesta sobre la interfase entre la junta y la capa de rodadura como mecanismo de disipación de tensiones, impide parcial o totalmente la reflexión de la junta al servir de obstáculo y amortiguar la propagación de las juntas.

A parte de las medidas adoptadas en las juntas asimismo se pretende optimizar los resultados a través del empleo de betunes modificados en la capa de rodadura. La utilización de asfaltos modificados aporta mayor calidad a la capa asfáltica y retarda la aparición de la junta.

Unión entre paneles

En este sistema se pretende lograr que las losas trabajen entre ellas de forma independiente, sin transmitir cargas a las losas adyacentes. Es decir, que la losa sea capaz de soportar las cargas dinámicas, el peso propio y las sobrecargas sin la necesidad de la solidaridad de las losas adyacentes.

En el diseño de las caras laterales de las juntas no habrá ningún tipo de elementos de unión o trabazón para impedir los movimientos longitudinales. Al contrario se dejará completa libertad a la losa para permitir los movimientos higrótérmicos.

En cuanto a los movimientos verticales de las losas producidos por el paso de los vehículos no será de gran magnitud en los carriles de circulación, dada la rigidez de los elementos de apoyo.

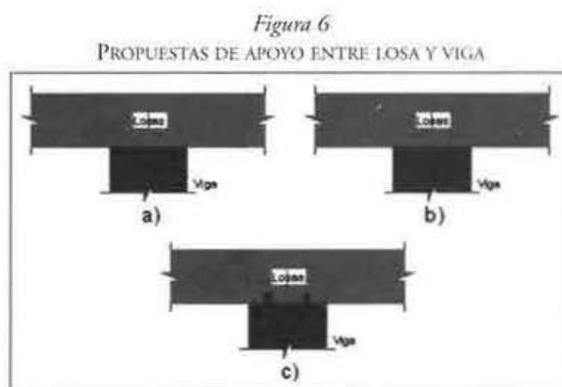
El nivel de confort del usuario debe ser el más adecuado y sobre todo, se hace necesario minimizar o las futuras posibles afecciones por causa de escalonamiento en las juntas. Los esfuerzos cortantes y de tracción directa son prácticamente imposibles de eliminar pero se los tratará de controlar mediante el diseño de junta señalado para reducir el efecto de impacto súbito (efecto de impacto producido por el tráfico al aproximarse y sobrepasar una discontinuidad en el firme).

Los esfuerzos horizontales se originan como consecuencia del efecto de impacto producido por el tráfico y por efecto térmico de dilatación y contracción plana de la losa. Los esfuerzos verticales de la base de apoyo, se producen en el borde de la losa debido a la concentración de tensiones producida durante el tiempo que un vehículo pesado tarda en recorrer los bordes de la junta transversal.

Unión y apoyo entre losa y viga

Las losas estarán apoyadas sobre vigas de concreto armado, rígido y macizo. Se precisa lograr cierta amortiguación entre ambas piezas y evitar la rigidez entre los elementos. En la búsqueda la solución en el diseño de vigas se ha considerado tres alternativas que se pueden ver en la figura 6(a, b y c).

- *Apoyo de losas curvado y cubierto de neopreno (figura 6a)*: consiste en un diseño de viga rectangular con la cara superior ligeramente curvada que cubierta con una capa muy delgada de policloropreno. La finalidad de la curvatura suave y el neopreno en la superficie de contacto con la losa es tratar de amortiguar el movimiento vertical de las losas y asimismo, evitar que sea incómoda y brusca la circulación al paso de las ruedas en ese punto. La curvatura podría atenuar este impacto al lograr el efecto de balanceo de la losa en la viga y con el elastómero, se conseguiría atenuar el ruido durante la circulación vehicular.
- *Losas apoyadas en una fina capa de neopreno (figura 6b)*: presenta una variante en la superficie de contacto entre la losa y la viga que en este caso es plana. La misma también estará cubierta con una capa fina de neopreno para aprovechar sus propiedades mecánicas y su excepcional comportamiento ante la fatiga por flexión, entre otras características propias del material.
- *Unión con conectores de acero (figura 6c)*: propone conectores verticales de acero como solución para lograr buena conexión de unión entre las losas y los apoyos. Las barras de acero tienen 10 cm de altura y encajan en cavidades circulares de las losas para la unión, pero la rigidez que produce hace que ésta sea la solución más inconveniente de las tres.



Incidencia del trazado en planta

Se han tomado en cuenta las características geométricas, según la Norma 3.1-IC para una carretera de sección 2+2, que se ha tenido en cuenta para el desarrollo de este apartado. Hay que recordar que en las carreteras de sección 2+2 en su mayoría tienen un perfil suave, con menos inconvenientes a la hora de emplazar los paneles en el trazo.

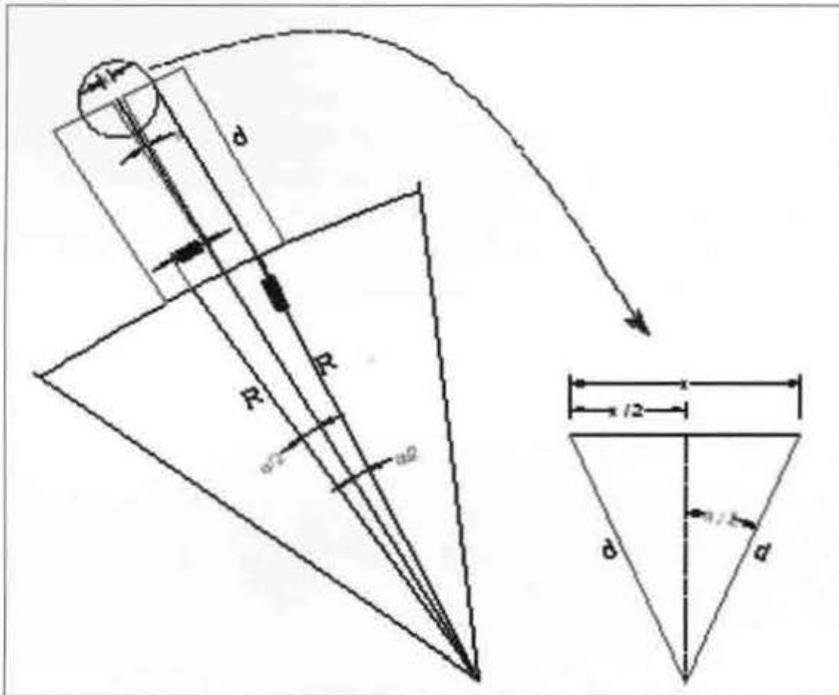
En un trazado curvo, en planta, se precisa analizar las siguientes dos opciones:

- Mantener las losas rectangulares, si bien estudiando los anchos de las juntas que se producen entre ellas según la Norma 3.1-IC. Esta es la opción que desde el punto de vista económico y constructivo es la más adecuada.
- Modificar las dimensiones de las losas rectangulares para adaptarse al trazado. Esta solución si bien es técnicamente posible, complica la logística del proceso constructivo, por lo que en la medida de lo posible se evitará la misma.

De acuerdo con este planteamiento se calcula el espaciado entre paneles adyacentes mediante relaciones trigonométricas, pudiéndose ver en la figura 7, un esquema de dicha abertura. A partir de los esquemas de la citada figura se obtienen las relaciones 3.1 y 3.2.

Para la solución, los valores serían $\Delta = 2,5$ m, $d = 10,5$ m y $R = 700$ m, con lo que se obtiene un valor de la abertura de juntas de $x = 3,75$ cm y un ángulo $\alpha = 0,357$ Rad.

Figura 7
ABERTURA DE PANELES EN CURVA HORIZONTAL



$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{x}{2d}; \sin \frac{\alpha}{2} = \frac{\Delta/2}{R} \quad (3.1)$$

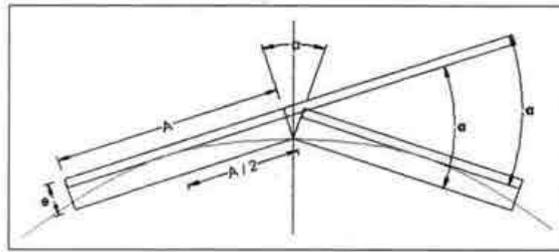
$$x = \frac{d \cdot \Delta}{R} \quad (3.2)$$

Incidencia del trazado en alzado

En el caso de los acuerdos verticales se usan curvas parabólicas que suponen un cambio lineal de la pendiente a medida que avanzamos en el desarrollo de la curva. En este tipo de carreteras las inclinaciones no son abruptas, tal como puede verse en la tabla de características geométricas, según la Norma 3.1-IC.

En una curva vertical los elementos emplazados forman aberturas entre los paneles contiguos. En la figura 8 se muestra el caso de acuerdo *convexo*, en ella el ángulo α viene dado por la expresión 3.3 a partir de dicha figura en las relaciones 3.4 y 3.5. Donde, K_v es el parámetro del acuerdo parabólico y A es el ancho del panel. Por otra parte, la abertura de junta entre paneles (δ) viene dada por la expresión 3.6; donde, e es el espesor del panel y K_v y A se han definido previamente.

Figura 8
 ABERTURA DE PANELES EN CURVA VERTICAL CONVEXA



$$\alpha = \Delta i = i \left(+\frac{A}{2} \right) - i \left(-\frac{A}{2} \right) \quad (3.3)$$

$$i \left(+\frac{A}{2} \right) = \frac{+A/2}{K_v}; i \left(-\frac{A}{2} \right) = \left(\frac{-A/2}{K_v} \right) \quad (3.4)$$

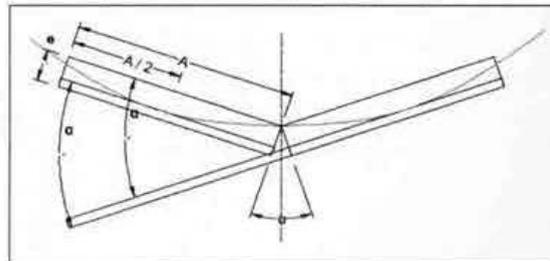
$$\alpha = \frac{A/2}{K_v} - \frac{-A/2}{K_v} = \frac{2A}{2K_v} = \frac{A}{K_v} \quad (3.5)$$

$$\delta = e \cdot \alpha = e \cdot \frac{A}{K_v} \quad (3.6)$$

Los valores de cada una de las variables para la solución son: $e = 0,25$ m, $A = 2,5$ m y $K_v = 7.500$ m. se obtiene una apertura de junta vertical entre paneles (δ) de 0.08mm, valor casi despreciable comparado con la apertura de junta por curva en planta.

Para el caso de un acuerdo vertical *cóncavo*, según se muestra en la figura 9, el ángulo α viene dado por la expresión 3.7, de la cual se tienen las expresiones 3.8 y 3.9. Donde, K_v es el parámetro del acuerdo parabólico y A , el ancho del panel.

Figura 9
 ABERTURA DE PANELES EN CURVA VERTICAL CÓNCAVA



$$\alpha = \Delta i = -i \left(+\frac{A}{2} \right) + i \left(-\frac{A}{2} \right) \quad (3.7)$$

$$i \left(-\frac{A}{2} \right) = \frac{-A/2}{K_v}; i \left(+\frac{A}{2} \right) = \left(\frac{+A/2}{K_v} \right) \quad (3.8)$$

$$\alpha = \frac{A/2}{K_v} - \frac{-A/2}{K_v} = \frac{2A}{2K_v} = \frac{A}{K_v} \quad (3.9)$$

Por tanto, la apertura de junta entre paneles (δ) viene dada por la expresión 3.10, donde, e es el espesor del panel y K_v y A se han definido previamente.

$$\delta = e \cdot \alpha = e \cdot \frac{A}{K_v} \quad (3.10)$$

Sustituyendo en ésta última expresión los valores de cada una de las variables correspondientes a la alternativa A ($e = 0,25$ m, $A = 2,5$ m y $K_v = 7.000$ m) se obtiene una apertura de junta vertical entre paneles (δ) de $0,09$ mm. Valor, asimismo casi despreciable comparado con apertura de junta por curva en planta.

Descripción Estructural de la Propuesta

Es sabido que los sistemas tradicionales de dimensionamiento de firmes en España se fundamentan en los catálogos incluidos en la Instrucción de Carreteras (6.1 IC, 2004). Para la aplicación de dichos catálogos se parte de la categoría de explanada y el volumen de tráfico pesado. Sin embargo, en este caso se trata de un sistema novedoso de firme no contemplado en los mencionados catálogos, y por tanto, es necesario plantear un método de dimensionamiento alternativo que responda a los condicionantes de estructuras de concreto armado, material que conforma a los elementos componentes.

A fin de estudiar la influencia de la categoría de explanada en la cuantía de armadura y dimensiones de los elementos prefabricados, se han repetido los cálculos para las tres posibles categorías de explanada de acuerdo con la instrucción 6.1 IC (E1, E2 y E3, de capacidad de soporte creciente), estableciendo la conveniencia o no de aplicar sistemas de mejora de la explanada preexistente de acuerdo a la posible reducción de cuantía de armado que a priori dichas mejoras podrían suponer.

Para modelizar el comportamiento del terreno en función de la clasificación de la explanada de acuerdo con la norma 6.1 IC (2004) se ha adoptado el modelo de Winkler en el que la reacción del terreno sobre la estructura es proporcional a la deformación vertical de la misma.

Asimismo, se puede percibir que este sistema constructivo tiene la condición desfavorable de construcción para un determinado número de curvas, debido a que al ser prefabricado se mantiene el inconveniente de diseñar y generar elementos constructivos de forma genérica o "tipo" con el objetivo de mantener la calidad y funcionalidad del sistema a lo largo del tramo.

Selección de materiales a emplear

Para este estudio se ha considerado un concreto armado CA-25/B/20/II-, acero B-500-S con pesos específicos de ρ de 25 y 78 kN/m³ respectivamente. Resistencias características de $f_{ck} = 25$ Mpa y $f_{ys} = 500$ Mpa. Se ha diseñado la estructura con los coeficientes de minoración de $\gamma_c = 1.5$ y $\gamma_s = 1.15$ para acciones permanentes y/o transitorias y $\gamma_c = 1.3$ y $\gamma_s = 1.0$ para acciones accidentales.

Para determinar las acciones sobre los elementos estructurales se ha tomado como referencia la "Instrucción sobre las acciones a considerar en puentes de carreteras (IAP, 1998)" y para la obtención de los valores de los esfuerzos se ha elaborado un modelo de elementos finitos usando el programa SAP 2000 Non Linear (v6.11) de Computers and Structures, Inc.

Configuración final

Estados Límites Últimos y de Servicio en la viga

En la tabla 1 se incluyen los esfuerzos considerados en el dimensionamiento y comprobación estructural para los Estados Límites Ultimos (ELU) y Estados Límites de Servicio (ELS).

De la tabla 1 puede concluirse que la influencia de la categoría de explanada en los esfuerzos obtenidos en la viga es bastante limitado.

Tabla 1
ESFUERZOS PARA EL CÁLCULO EN ELU Y ELS EN LA VIGA

Categoría de explanada	ELU		ELS	
	$M^*(Kn-m)$	$V^*(kN)$	$M^*(Kn-m)$	$V^*(kN)$
	$M(Kn-m)$	$V(kN)$	$M(Kn-m)$	$V(kN)$
E-3	10.04	37.17	3.33	12.29
	-8.75	-35.14	-2.77	-11.43
E-2	12.19	39.90	4.04	12.99
	-9.62	-37.33	-3.19	-12.14
E-1	13.99	41.75	4.69	13.58
	-9.74	-38.98	-3.17	-12.70

35

Dimensionamiento de la armadura

Armado de la viga

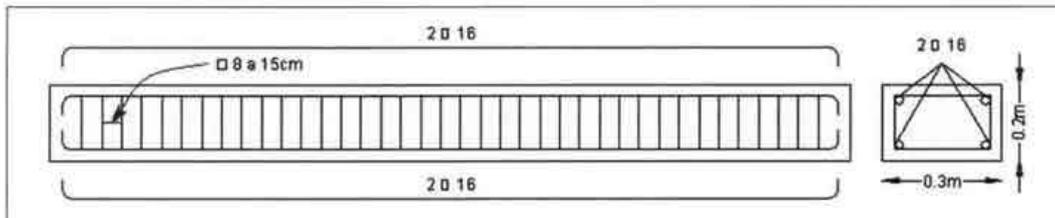
Debido a que la viga trabaja a flexión simple, para el dimensionamiento de la misma se ha utilizado el artículo 42 relativo al Estado Límite Último de Agotamiento frente a solicitaciones Normales usando la formulación simplificada propuesta en el anejo 7 de la EHE (2008). Asimismo, para la comprobación al Estado Límite Último de agotamiento frente a esfuerzos cortantes para la armadura transversal propuesta se aplica lo indicado en el artículo 44.2.3.2.2 de la EHE-08.

Si bien, en este artículo no se muestra los detalles de cálculo, por las propias restricciones del mismo, se resume en la tabla 2 las características de dimensionamiento y en la figura 10.

Tabla 2
ARMADURA PROPUESTA DE LA VIGA

Categoría de explanada	Armadura longitudinal		Cercos transversales
	Inferior	Superior	
E-3	2 Ø 16	2 Ø 16	Ø8 @ 15 cm
E-2	2 Ø 16	2 Ø 16	Ø8 @ 15 cm
E-1	2 Ø 16	2 Ø 16	Ø8 @ 15 cm

Figura 10
CROQUIS DE ARMADURA PROPUESTA PARA LA VIGA



Armado de la losa

36

A continuación, se indican el armado para el dimensionamiento de armadura, según lo establece la EHE en el artículo 55.1. De la misma forma que las vigas, es imposible mostrar la serie de cálculo para este estudio. En la tabla 4 se muestran los distintos armados para la losa y en la figura se representa el sentido de cada categoría de explanación. El ahorro percibido en los resultados entre ambos sistemas constructivos se presenta como mejor el sistema asfáltico, si bien el sistema prefabricado mantiene un costo elevado, se supone que con la industrialización de la nueva propuesta podrá ser competitivo en tramos experimentales de gran magnitud. Se ha realizado una segunda iteración para valorar los aspectos económicos, sociales, y temporales de este sistema constructivo en la segunda parte de este trabajo desarrollado.

Flecha máxima de la losa

Para la estimación de la flecha instantánea se ha aplicado lo dispuesto en el artículo 52.2.2.2. Los valores máximos de las flechas se muestran en la losa a tiempo infinito, incluyendo la deformación de la cimentación se muestran en la tabla 3.

Tabla 3
VALORES MÁXIMOS DE LAS FLECHAS EN LA LOSA A TIEMPO INFINITO

Categoría de explanada	Valores de flecha máxima (mm)
E-3	5.14
E-2	8.87
E-1	15.20

De la observación de la tabla 3 se concluye que la categoría de explanada tiene una fuerte influencia en las deformaciones del pavimento. Sin embargo, dicha influencia es mucho más notoria al pasar de categoría de explanada E2 a E1 que al pasar de explanada tipo E3 a E2 lo que justificaría acciones de mejora de explanada más limitadas que en el caso de las necesarias en la solución tradicional.

CONCLUSIONES

- Con este trabajo se propuso una nueva propuesta de construcción para pavimentos en carreteras basada de elementos prefabricados de concreto. La geometría y disposición de los elementos del sistema son: losas de 10,5 metros de ancho por 2,5 metros de largo y 0,25 metros de espesor, apoyadas sobre vigas de 10,5 metros de longitud y de sección rectangular de 0,30 por 0,20 metros.
- Respecto a las juntas, se ha determinado biselar las aristas en la parte superior de las mismas, para favorecer una transmisión de cargas, distribuyendo mejor estas. Con posterioridad se protegen con un geotextil impregnado de betún asfáltico impermeable, a fin de evitar las filtraciones de agua a los elementos de apoyo (vigas) que a la larga pudiesen significar el descalce del elemento.
- Los apoyos de las losas sobre las vigas se resuelven mediante apoyos elastoméricos tipo neopreno con una cierta curvatura para suavizar el movimiento de la junta al paso de los vehículos.
- Los esfuerzos de cálculo que se obtienen en cada caso no aumentan de forma significativa con el cambio de categoría de la explanada inferior. Es decir, la cuantía de armadura a disponer es independiente de la categoría de explanada sobre la que se apoyan los elementos. Por otro lado, las cuantías de armadura que se precisan son de fácil ejecución, ya que permiten una reticulación simple de las mismas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las empresas ICA y UNILAND por el apoyo proporcionado en este proyecto, bajo el marco de un convenio de colaboración en conjunto con la UPC. Esta investigación se ha hecho en el marco del proyecto MIVES II (BIA 2005-09163-C03-01) financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia (MEC). Además, D. Noé Villegas agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT/México) la beca concedida para hacer el doctorado en la UPC.

REFERENCIAS

- Buch, N.; Barnhart, V.; Kowli, R. (2003). *Precast concrete slabs as full-depth repairs: Michigan experience*. Department of Civil Engineering, Michigan State University. Transportation Research Record. No 1823. pp 55-63.

- Cotton, J; Wilson, Ch. (2005). *Precast concrete pavements. PCI Journal*. Vol 50. No 3. pp 125-130. ISSN 0887-9672.
- EHE (2008). *Instrucción de hormigón estructural* Norma EHE-08, aprobada por el Real Decreto 1247/2008 del 18 de julio (BOE del 22 de agosto de 2008). Ministerio de Fomento.
- Eugenio, J.M. de (2007). Elementos prefabricados de hormigón. La garantía de la construcción industrializada. *Revista Cemento Hormigón*. No. 908. edición extraordinaria. pp 8-13. ISSN. 0008-8919.
- Fava, C (1998). *Innovaciones y mejoras tecnológicas en el área de los pavimentos de hormigón*. Primer Seminario PROVIAL. Rosario-Argentina. pp 73-87.
- Josa, A., Aguado, A., Cardim, A. y Gettu, R. (2000). *Construcción y medio ambiente - Evaluación ambiental de productos derivados del cemento - Aplicación a pavimentos de hormigón*. II Congreso Interamericano de Pavimentos de Concreto, Cartagena de Indias (Colombia), pp. 21 p.
- Kraemer, C.; Pardillo, J-M; Rocci, S.; Romana, M.; Sánchez, V.; del Val MA. (2004b). *Ingeniería de carreteras*. Vol II. Editorial McGraw-Hill. p. 584. ISBN 84-481-3998-4.
- Merritt, D.; McCullough, B; Burns, N. (2002). *Texas tests precast for speed and usability*. US Department of Transportation. Federal Highway Administration. Vol.66. No.1. 07-08. pp.1- 67.
- Perciviati, FR; Colombo, M. (2006). *Actualidad internacional. Evaluación ambiental: el caso de la aplicación a los pavimentos*.
- Tyson, S.; Merritt, D. (2005). Pushing the boundaries. *Public Roads*. Vol 68. No 4. Federal Highway Administration. pp. 28-33. ISSN 0033-3735.
- Val del, MA (2007). Los pavimentos en las carreteras españolas del siglo XX. *Revista de Obras Públicas*. Vol 154. No 3482. pp 7-24. ISSN 0034-8619.