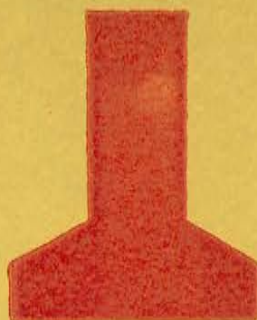


ULTIMAS NOTICIAS SOBRE

hormigón pretensado



BOLETIN NUM. 44 DE LA ASOCIACION ESPAÑOLA DEL HORMIGON PRETENSADO
DEL INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO

2

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS
Patronato "Juan de la Cierva" de Investigación Técnica



ULTIMAS NOTICIAS
Técnicas en Estructuras
Hormigón Pretensado
Boletín de circulación limitada

Nº 44

Mayo-Junio 1958

- INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO -

- Depósito Legal: M - 853 - 1958 -

I N D I C E
=====

	pág.
457-9-6 - La forma de las vigas influye en el coste de los puentes de hormigón pretensado.- Por: A.R. Anderson	1
457-9-7 - Coste comparativo entre puentes, pretensados y convencionales, de tramos múltiples, en Florida: Por: W.E. Dean	7
457-9-8 - Coste comparativo entre puentes de hormigón ordinario y pretensado: Por J.J. Hogan	14
457-9-9 - Coste de puentes de hormigón pretensado: Por J.C. Rundlett	29

NOTA: El Instituto, una de cuyas finalidades es divulgar los trabajos de investigación sobre la construcción y edificación, no se hace responsable del contenido de ningún artículo, y el hecho de que patrocine su difusión no implica, en modo alguno, conformidad con la tesis expuesta.

ASOCIACION ESPAÑOLA DEL HORMIGON PRETENSADO

El Comité ejecutivo de la Federación Internacional del Hormigón Pretensado ha tomado el acuerdo de editar un mapa en el que se señale la situación de las más importantes estructuras de hormigón pretensado construidas en los diferentes países representados en la F.I.P, para su distribución entre los distintos Grupos y Asociaciones miembros de la Federación. A dicho mapa se acompañará una detallada relación de todas las obras en él representadas, en la cual se consignarán los siguientes datos:

- a) Interés de la obra.- Este grado de interés se indicará de la forma que a continuación se señala: (1) XXX
(2) XX
(3) X
(4) -
- b) Designación de su situación en el mapa.
c) Ciudad en que está ubicada la obra.
d) Tipo de estructura (puente, viaducto, cubierta, escalera, etc.).
e) Año de su terminación.
f) Lugar en que está situada.
g) Breve descripción de la estructura.
h) Si es isostática o hiperestática.
i) Longitud de los tramos (en m).
j) Anchura (en m).
k) Sistema de pretensado utilizado.
l) Observaciones.

Con el fin de poder preparar la parte de dicho trabajo correspondiente a nuestro país, esta Asociación Española agradecería a to

dos sus asociados le comunicasen cuantos datos conociesen respecto a obras de hormigón pretensado ejecutadas en España, dirigiéndose, para ello, a nuestras oficinas en Costillares, Chamartín, Madrid.

Para mejor información, a continuación se reproduce, debidamente traducido, una parte del trabajo presentado por el Grupo Hollandés.

Interés de la obra	Designación en el mapa	Ciudad	Tipo de estructura	Año	Lugar en que está situada	Descripción	Isostática o hiperestática	Longitud (m)	Anchura (m)	Sistema de pretensado	Observaciones
		<i>Croningen A</i>									
X X	A 1 a	Delfzijl	Puente	1958	Sobre el Buitenhaven.	Puente mixto para ferrocarril y carretera. Emparrillado de vigas prefabricadas.	Isostática	6 × 19,—	15,60 + 6,—	Freyssinet y Dywidag.	El puente para ferrocarril tiene 6 m.
—	A 1 b	Delfzijl	Puente	1957	Entre Delfzijl y Winschten, sobre el Binnenhaven.	Puentes a base de emparrillado de vigas.	Isostática	19,—	14,75	Freyssinet.	
X	A 1 c	Delfzijl	Plataforma de un muelle	1958	En Buitenhaven.	Losa y vigas prefabricadas.	Isostática	5,—	—	Freyssinet y armaduras pretesas.	
		<i>Friesland B</i>									
—	B 1 a	Harlingen	Puente	1954	Desviación alrededor de Harlingen sobre el canal Harinxma.	Emparrillado de vigas prefabricadas.	Isostática	26,50	12,25	Freyssinet.	
X	B 1 b	Harlingen	Viaducto	1958	Desviación alrededor de Harlingen sobre el ferrocarril Harlingen - Leeuwarden.	Losa continua prefabricada.	Hiperestática	8,7 + 10,8 + 14,7 + 10,8 + 8,7	12,—	Dywidag y armaduras pretesas.	
—	B 1 c	Harlingen	Pasarela	1950	A ambos lados del Tjerk Hiddes.	Vigas prefabricadas de sección en H.	Isostática	19,75	1,20	Armaduras pretesas.	
—	B 2 a	Wartena	Puente	1954	Entre Goutum y Garijp sobre el Roggesloot.	Emparrillado de vigas prefabricadas.	Isostática	3 × 15,15	8,—	Freyssinet.	

ASOCIACION ESPAÑOLA DEL HORMIGON PRETENSADO

El Secretario General de la Federación Internacional del Hormigón Pretensado nos envía, para su publicación, la siguiente nota:

PUBLICACIONES DEL SEGUNDO CONGRESO DE LA
FEDERACION INTERNACIONAL DEL HORMIGON PRETENSADO

Amsterdam, 1955

Acaban de aparecer las publicaciones correspondientes al Segundo Congreso de la Federación Internacional del Hormigón Pretensado, celebrado en Amsterdam en 1955. Constituyen un volumen, en octava real, de VIII + 990 páginas, encuadernado en tela, que se vende al precio de 5 libras (15 dólares), franqueo incluido.

En él se recogen todas las conferencias, informes generales y comunicaciones presentadas al Congreso, así como las contribuciones a las discusiones mantenidas durante las distintas Sesiones de trabajo. Las conferencias y las contribuciones se reproducen en el idioma original (francés, inglés o alemán). Los informes generales y las comunicaciones aparecen, cada uno, en los tres idiomas. Al final de esta nota se incluye una relación de los principales temas tratados en dicho Congreso.

Unos treinta países enviaron delegados a este Segundo Congreso, y este volumen constituye un claro exponente de los progresos conseguidos por la técnica y las aplicaciones del pretensado a partir del Primer Congreso de la Federación Internacional del Pretensado celebrado en 1953. Por todo ello, posee un elevado interés para todos aquéllos que se preocupan de esta nueva técnica.

El impreso de solicitud de este volumen deberá dirigirse

se a la siguiente dirección:

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE LA PRÉCONTRAINTÉ
Terminal House, Grosvenor Gardens,
L O N D O N, S.W. 1

y debe ir acompañado del correspondiente giro extendido a nombre de la
Cement and Concrete Association.

- - - -

Principales temas del Congreso

I a

Influencia de la inyección y de los anclajes en el comportamiento de los elementos de hormigón pretensado.

I b

Ensayos y problemas relativos al empleo y fabricación de los aceros para pretensado.

II

Progresos en la prefabricación de vigas pretensadas y en el enlace en obra, mediante el pretensado, de los elementos prefabricados.

III a

Distribución de momentos en las estructuras hiperestáticas pretensadas, en régimen no elástico.

III b

Influencia de la plasticidad sobre la resistencia e inestabilidad de las cubiertas laminares pretensadas.

Comunicaciones

- A - Estudio comparativo de las Normas vigentes en los diferentes países
- B - Las ventajas económicas del hormigón pretensado.

- - -

Como consecuencia de cuanto queda expuesto, rogamos a todos los Asociados que deseen adquirir esta interesante publicación, se dirijan, a la mayor brevedad posible, a nuestras oficinas en el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento, Costillares, Chamartín, Madrid solicitando el correspondiente impreso de pedido.

457-9-6 LA FORMA DE LAS VIGAS INFLUYE EN EL COSTE DE LOS PUENTES
DE HORMIGÓN PRETENSADO

Por: A.R. Anderson

(Del Engineering News-Record.- 17 Octubre 1957). (Pág 326)

El amplio programa de construcción de puentes que actualmente se está llevando a cabo en los Estados Unidos, ha inducido a la normalización de los proyectos, habiéndose adoptado unas determinadas secciones tipo, aplicables a puentes para carretera, con luces comprendidas entre 8 y 30 metros.

De acuerdo con esta tendencia, el Bureau of Public Roads (B.P.R.) y otros Centros análogos han publicado diversas colecciones de puentes-tipo de hormigón pretensado.

Igualmente, la "Concrete Technology Corp." viene fabricando, desde hace varios años, puentes de hormigón pretensado con arreglo a una sección-tipo. Estos puentes han sido utilizados para carreteras comarcales y carreteras de explotaciones forestales privadas, sometidas a sobrecargas excepcionalmente elevadas. En muchos casos, su construcción se veía complicada por lo abrupto del terreno en el lugar de la ubicación del puente, por lo que su fabricación "in situ" habría resultado muy costosa. En estas condiciones resultaba mucho más económico construir toda la superestructura, a base de elementos prefabricados en un taller centralizado, desde el cual se trasladaban después al lugar de su ubicación definitiva.

Elección de la sección transversal.- Para elegir la sección más conveniente para estos tipos de puentes de hormigón pretensado, se han tenido en cuenta los siguientes factores:

1º. Eficiencia.- Las secciones resistentes deben ser capaces de soportar la sobrecarga requerida, con el mínimo peso propio y la mínima sección transversal.

2º. Flexibilidad de adaptación.- La sección resistente elegida debe ser utilizable para luces comprendidas entre límites bastante amplios. De esta forma, un solo juego de moldes metálicos puede servir para construir todos los puentes cuyas luces estén comprendidas entre dichos límites.

3º Economía.- Los factores 1º y 2º deben combinarse de tal forma que la sección elegida resulte la más económica tanto en material como en mano de obra. Además, los elementos fabricados de acuerdo con esta sección tipo, deben poder ser fácilmente transportados y montados en obra, incluso en terrenos abruptos y alejados del lugar de su prefabricación.

En los adjuntos cuadros se indican las secciones consideradas como más ventajosas desde el punto de vista de su eficiencia, flexibilidad de adaptación y economía. Las secciones en T resultan muy satisfactorias para luces comprendidas entre los 9 y 27 m y son aplicables también para luces de hasta 30 metros.

Coste de las distintas secciones-tipo para puentes.- Para poder comparar el coste de las secciones-tipo, en T, con las establecidas por el "Bureau of Public Roads" (secciones en viga-cajón y secciones en viga-losa aligerada), se ha realizado un estudio basado en los siguientes costes-unitarios:

Para las secciones-tipo establecidas por el "Bureau of Public Roads" (B.P.R.):

Hormigón normal colocado en obra	105 \$ por m ³
Armadura de acero ordinario colocada en obra	0,33 \$ por kg

Cables de pretensado, de 9,5 mm de diámetro, colocados en obra 0,33 \$ por m

Para las secciones en T:

Hormigón ligero colocado en obra 118 \$ por m³
Armadura de acero ordinario colocada en obra 0,33 \$ por kg
Cables de pretensado, de 9,5 mm de diámetro, colocados en obra 0,33 \$ por m

En los adjuntos cuadros I, II, III y IV se hace un resumen de la cantidad de materiales necesarios y de los costes por m², correspondientes a cuatro secciones-tipo, diferentes, de vigas de hormigón pretensado, y en el diagrama I se representan las variaciones de estos costes en función de la luz.

Las diferencias entre los distintos costes por m² son consecuencia de diversos factores. El proyectista puede reducir el coste de los puentes de hormigón pretensado de varias maneras. En primer lugar, como es lógico, ahorrando material sin aumentar el coste de fabricación. Para ello, el proyectista debe adoptar, para las distintas piezas, la sección que, para un área dada, tenga el máximo módulo resistente. Asimismo, debe procurar reducir el peso. Por ejemplo, el empleo de hormigones ligeros de alta resistencia reduce las tensiones por peso propio, y da lugar a una sensible economía en los gastos de transporte y puesta en obra de los distintos elementos de la estructura. Al propio tiempo, la sección de armadura de pretensado necesaria podrá también disminuirse en una apreciable cantidad.

Empleo de secciones de hormigón, compuestas.- El empleo de vigas de hormigón pretensado, a las cuales, una vez colocadas en obra, se les añade un tablero de hormigón construido "in situ", se halla cada vez más generalizado en la construcción de puentes para carretera. Las vigas soportan, inicialmente, el peso propio del tablero, y, una vez que el hormigón de éste ha alcanzado la resistencia requerida, ambos elementos-vigas y tablero- colaboran conjuntamente para resistir las sollicitaciones originadas por las sobrecargas de servicio que actúan sobre la estructura.

Una comisión integrada por miembros de la American Association of State Highway Officials y del Prestressed Concrete Institute, ha propuesto cuatro secciones-tipo para vigas de esta clase. Estas secciones han sido proyectadas para que sean capaces de soportar las sobrecargas correspondientes a la designación H20-S16, con luces comprendidas entre los 9 y los 30 metros.

Por su parte, la Concrete Technology Corp. ha proyectado una serie de 17 vigas de hormigón pretensado, de sección en I, aplicables a la construcción tanto de edificios como de puentes. Las características geométricas y resistentes de estas secciones son las que se indican en el adjunto cuadro V. Para algunas aplicaciones, se han fabricado empleando hormigón de 500 kg/cm^2 . En el cuadro citado se señalan las tensiones máximas de trabajo correspondientes al momento máximo M_s originado por la sobrecarga. Sin embargo, para poder realizar un estudio económico-comparativo, se supone que la resistencia del hormigón es de 350 kg/cm^2 y que su máxima tensión de trabajo es igual o menor a 140 kg/cm^2 . Para este estudio se han elegido las luces de 18, 23 y 30 m y la sobrecarga H20-S16, suponiéndose las vigas colocadas a 1,70 m de separación entre ejes, bajo un tablero, hormigonado "in situ", de 18 cm de espesor.

Se comparan las vigas recomendadas por la AASHO-PCI, para estas luces, con las correspondientes de las incluidas en el mencionado cuadro de vigas de sección en I. En todos los casos se supone que el hormigón posee una resistencia en compresión de 350 kg/cm² y que la resistencia en tracción del acero utilizado para las armaduras de pretensado es de 17.500 kg/cm².

Las tensiones máximas de trabajo admisibles en las piezas estudiadas son de 140 kg/cm² para el hormigón y 10.500 kg/cm² para la armadura tesa.

Para determinar los costes relativos por metro de viga, se han supuesto los siguientes precios unitarios:

Hormigón colocado en obra	105 \$ por m ³
Armadura de pretensado, incluidos accesorios	1 \$ por kg
Armadura de acero ordinario colocada en obra	0,33 \$ por kg

Debe hacerse notar que estos precios tienen sólo un carácter de precios medios, estando, por tanto, sujetos a variación, según la localidad de que se trate, en función de los correspondientes costes de la mano de obra y de los materiales.

Coste de las vigas.- En los adjuntos cuadros VI, VII y VIII se resumen las características principales y los costes relativos de las correspondientes secciones-tipo, propuestas por las dos entidades citadas para luces de 18, 23 y 30 metros.

Evidentemente, las ventajas que ofrecen las secciones en I propuestas por la Concrete Technology Corp., se deben al relativamente pequeño espesor de sus almas y al mayor porcentaje de sección concentrada en sus alas. Inicialmente, algunos técnicos expresaron sus dudas sobre la posibilidad práctica de fabricar secciones de hor

migón pretensado de tan extremas proporciones. Sin embargo, cientos de estas vigas han sido ya construídas con el más completo éxito.

Un factor económico que no se ha tenido en cuenta en este estudio y que, sin embargo, tiene gran importancia, es el peso total de la pieza. Comparando, por ejemplo, el peso total, excluidos los bloques extremos de las vigas de 30 m de luz de los dos tipos, se obtiene:

Viga AASHO-PCI	37.400 kg
Viga CTC-IB 24/56	<u>25.600</u> kg
Diferencia	11.800 kg

Si se considera que, cuanto mayor sea el peso del elemento, mayores serán los gastos de transporte y colocación, sin contar, naturalmente, el mayor consumo de materiales requerido, se comprende que el peso de una pieza puede ser uno de los factores que más influyen cuando se trata de enjuiciar el acierto con que una determinada sección ha sido elegida para la realización de un proyecto.

457-9-7 COSTE COMPARATIVO ENTRE PUENTES PRETENSADOS Y CONVENCIONALES
DE TRAMOS MULTIPLES EN FLORIDA

Por: W.E. Dean, Ayudante del Departamento de Florida
Highway Research Board, Bulletin 144.

La poca altitud de Florida requiere puentes excepcionalmente largos debido a la escasa pendiente de las márgenes de los cauces, amplias zonas inundables de los ríos en el interior, muchas bahías anchas sometidas a los efectos de mareas y las zonas de aguas muy superficiales que separan el interior de las playas tan visitadas que constituyen un atractivo. Las construcciones de nuevos puentes, así como la renovación de las viejas estructuras, constituye un proceso ininterrumpido. Muchos de estos puentes tienen una longitud total tan grande que discrepa con la sencillez de las estructuras. Las profundidades del agua y terreno para cimientos presentan tales condiciones que, generalmente, los tramos ligeros se pueden soportar, para pequeñas luces, con soportes ordinarios o pilotes, trabajando por simple contacto del pie. El resultado de esta facilidad se ha traducido por construcciones de tramos múltiples y de pequeñas luces. El puente típico de Florida consiste en una estructura de gran longitud formada por una serie numerosa de pequeños tramos que se apoyan en soportes de tipo ordinario.

La simplificación y detalles de la construcción de soportes económicos, se halla bajo constante estudio en la Jefatura de carreteras de Florida. Cualquier posibilidad de reducir el coste en un simple tramo de esta clase de estructuras tiene gran importancia, porque, si se aplica a un gran número de vanos, la suma total es de consideración. Durante aproximadamente cuatro años, el empleo del hormigón pretensado ha resultado substancialmente económico repetidas veces, siempre que se trate de puentes de gran longitud en los que se

utiliza el mismo tramo un gran número de veces y, últimamente, aun en estructuras de menor longitud.

Hasta hace poco, el tramo normal de unos 13,70 m de luz, construido a proximidad de la costa, expuesto a los efectos húmedos del agua salada, se ha diseñado con vigas de sección en forma de T y de hormigón armado. Las vigas de sección en forma de doble T, constituyendo una estructura compuesta con la losa del tablero, eran de uso corriente en tramos de mayor luz y menor exposición en los puentes del interior. Los nuevos tramos de hormigón pretensado se emplean corrientemente para sustituir a las dos clases de tramos a que anteriormente nos hemos referido. Todas las construcciones de hormigón pretensado, han sido hasta la fecha del tipo compuesto y simplemente soportadas, en las que la carga por peso propio es absorbida por la viga pretensada, mientras que la sobrecarga se resiste por la combinación formada entre vigas y losa.

Al hormigón pretensado se le pueden apropiarse muchas ventajas estructurales y de conservación, pero en las obras de Florida se ha empleado este material por competir en los concursos con otros tipos convencionales. Hasta estos días, y en los distintos casos, la alternativa del hormigón pretensado ha ganado siempre en cada una de las obras que admitían este material en el concurso. La experiencia ha sido tan consistentemente buena, que la práctica de proyectar tipos constructivos alternos ha sido abandonada en las obras en que los elementos de hormigón pretensado encuentran una aplicación clara. Recientemente, y en subastas de importantes obras, en las que había una aguda competencia, no se presentaron propuestas para los tipos constructivos convencionales.

El empleo de elementos pretensados en los puentes de Florida empezó en 1951, con motivo de un concurso para un puente de 5.600 m de longitud (Tampa Bay), en cuya competencia se admitían dos tipos constructivos diferentes. El proyecto a base de hormigón pretensado presen

tó una baja del, aproximadamente, 4%. Durante un período de unos dos años se procedió a un estudio experimental sobre el pretensado. Durante este tiempo las obras de Tampa fueron sometidas a una investigación, la cual dió por resultado la justificación de los cálculos estructurales y la estimación del coste que el contratista había hecho.

En 1953 se experimentó una tendencia acelerada hacia los sistemas pretensados, debido, en gran parte, al proyecto de varios puentes de tramos múltiples, de gran longitud, así como a la instalación de algunos grandes talleres de prefabricación. El desarrollo logrado últimamente tiene una gran significación, ya que estos talleres disfrutaban de facilidades para el premoldeado de muchos tipos y tamaños cuya producción en pequeña o gran escala resulta económica; por tanto, el empleo de elementos pretensados resulta ventajoso aun en las pequeñas obras que sólo requieren una pequeña variación de piezas.

La prefabricación de vigas, así como los distintos tipos de éstas, se han normalizado en la medida de lo posible. En la fig. 1 se representan tres tipos de viga proyectados para cubrir todas las cargas y longitud de luces de 7,50 a 18,30 m. En cada uno de los tamaños la sección transversal y los detalles del bloque de las extremidades permanece constante para varias longitudes, y en obra se colocan convenientemente espaciados para satisfacer a las exigencias de la luz y carga.

Para luces de 13,70 a 22 m se han proyectado vigas normales, postesadas, como las representadas en la fig. 2. Estas vigas constituyen una continuación de las correspondientes al proyecto original del puente sobre aguas bajas de Tampa Bay. También se emplean con métodos combinados de pretensado donde los cables de trazado recto se pretesan, mientras que los que tienen un trazado curvo se postesan.

En el Cuadro I se han recopilado los datos correspondientes a diez proyectos normalizados en los que la longitud total y luz individual de tramo es variable. En los concursos para la su basta de éstas y otras obras existió un coste diferencial que, aun que de un tanto por ciento variable, ha sido la característica con sistente en todas las proposiciones en que el hormigón pretensado entraba en juego. En el coste de la superestructura se incluyen to dos los detalles a excepción del antepecho. La superficie base pa- ra el cálculo del coste por metro cuadrado se refiere al área com- prendida por la calzada y aceras entre caras internas del antepe- cho.

En la autopista de Florida se está construyendo actualmen- te un trozo de unos 160 km de longitud, que parte del norte de Mia mi. Los ingenieros de la Comisión para la construcción de la auto- pista han adoptado las vigas normales de hormigón pretensado de la Jefatura de carreteras del departamento, como una variante de las vigas de doble T, en todos los casos donde es posible su aplica- ción. En Diciembre de 1955 se recibieron propuestas para 22 puen- tes, en los que se admitía la solución de vigas de hormigón preten- sado. Estos puentes son, principalmente, pasos superiores o peque- ñas estructuras de tres o cuatro tramos con luces individuales de 10,60 a 16,70 metros.

Para nueve de los puentes subastados no se recibieron propuestas en las que se empleasen vigas de doble T de tipo ordi- nario, previstas en la alternativa de los proyectos. En los trece restantes, la alternativa de la solución con vigas pretensadas con tó siempre con la mayor baja, dando como resultado una economía global de 93.000 dólares.

Alguno de los inconvenientes que tienden a limitar el campo de las aplicaciones del hormigón pretensado en cuyas estruc-

turas se utilizan vigas pretensadas, es la presencia de curvas, alabeos, esviajes y otras formas geométricas que resultan en grandes variaciones de longitudes y formas. Los elementos componentes de una construcción tan especial pueden ser suministrados, de preferencia, por los talleres de construcciones metálicas. En Florida, las vigas pretensadas no se han empleado en tramos contruidos en esviaje de más de 20° .

El pretensado, con armaduras colocadas en una posición constante, sobre un banco de algunos decámetros de longitud, constituye un método ideal para la producción en cadena y reduce el coste de las operaciones del pretensado. El postesado, con algunos cables dispuestos según una curva, con objeto de contrarrestar los efectos del peso propio, es más conveniente que el pretensado normal rectilíneo. La economía relativa entre los dos métodos es una variable que se deja sentir entre los dos procedimientos y diferentes contratistas. La experiencia limitada obtenida en obras de bastante longitud nos indica que, para tramos de más de 13,70 m de luz, el trabajo suplementario para tesar los cables de un trazado curvo se compensa con ventaja económica con el material adicional necesario que ha de emplearse cuando el trazado de todos los cables se halla en alineación recta.

El límite económico de la longitud de la luz para este tipo de estructura, apoyada simplemente, es de difícil determinación. En el Cuadro I se puede apreciar que, en los tramos de 22 m de luz, las propuestas de 1954 para la solución con vigas pretensadas fueron las mismas que si se tratase de vigas normales de sección en forma de doble T. Este tipo de tramo se aproximó mucho, y por primera vez, a los precios que prevalecían en aquel momento. Los aumentos recientes de los precios de suministro de los laminados de acero han motivado un recargo en el cos

te de estos tramos. En 1955 las propuestas presentadas acusan un aumento del 50% en el acero para el pretensado en los tramos de 20 m de luz. Las propuestas correspondían a distintos contratistas y, en ellas, intervenían también otros factores de la superestructura, aparte de las vigas. Posiblemente, algunas de las longitudes de luces económicamente impracticables con vigas de doble T simplemente apoyadas, resultarían practicables con vigas prefabricadas y pretensadas.

Los métodos del pretensado, que no eran más que una probabilidad interesante hace cinco años, se han transformado en una práctica firmemente establecida que, cada día, aumenta en importancia respecto a las estructuras para puentes y para la construcción en general.

CUADRO I

Puente	Nº y luz de tramos	Anchura tablero	Andenes	Tipo de pretensado	Coste de la superestructura			Variante		Fecha de proposición
					Por m de puente	Por m ² de puente	Tipo	Coste por m ²		
Lower Tampa Bay Cortez Escambia River Hillsborough River Upper Tampa Bay	363 a 14,630	8,534	2 a 0,914	Postesado	10,735	0,315	Armado T	0,324	1951	
	50 a 14,630	7,315	2 a 1,524	Combinación	16,560	0,292	Armado T	0,310	1954	
	71 a 10,937	8,534	2 a 0,610	Pretensado	8,639	0,261	Armado T	0,299	1954	
	8 a 10,155	8,534	2 a 0,610	Pretensado	10,762	0,336	Viga I	0,428	1954	
	252 a 14,630	7,925	2 a 0,457	Postesado	8,092	0,278	Armado T	0,330	1954	
Myakka Valley (6 puentes)	20 a 21,946	7,925	2 a 0,457	Postesado	15,333	0,529	Viga I	0,529	1954	
	25 a 7,620	7,315	2 a 0,457	Pretensado	8,317	0,306	Armado T	0,316	1955	
	10 a 10,937	17,026	2 a 1,524	Pretensado	29,158	0,429	Armado T	0,446	1955	
	1 a 13,716	17,029	2 a 1,524	Pretensado	32,302	0,489	Armado T	0,514	1955	
	7 a 13,716	8,534	2 a 0,914	Pretensado	13,288	0,391	Armado T	Desierta	1955	
Palm River Anclote River Manatee River Palma Sola	30 a 20,117	17,069	2 a 0,610	Postesado	25,093	0,418	Viga I	0,307	1955	
	72 a 14,630	7,315	2 a 1,524	Postesado	10,120	0,298	Armado T	Desierta	1955	

457-9-8 COSTE COMPARATIVO ENTRE PUENTES DE HORMIGÓN ORDINARIO Y PRE-
TENSADO

Por: John J. Hogan, ingeniero
Highway Research Board, Boletín 144

El empleo creciente del hormigón pretensado en la construcción de puentes, plantea ciertos problemas al proyectista de estas obras. Cada proyecto debe estudiarse individualmente, siempre que el caso no afecte a un cierto número de puentes similares.

Desde la construcción del puente Walnut Lane en el parque Fairmont de Filadelfia, en 1948, el número de puentes de hormigón pretensado construidos es bastante grande. Sin embargo, pocos datos sobre los motivos de su elección y coste relativo han sido recopilados. Las simples cifras del coste del puente respecto a la unidad de superficie del tablero no tienen gran interés, de no acompañarlas de detalles geológicos del lugar, condiciones físicas del terreno, número de vigas empleadas, prefabricación, situación de talleres, distancias de transporte y concurrencia de contratistas interesados en la adjudicación de obras de hormigón pretensado, ya que todos estos factores juegan un papel de gran importancia en el análisis del coste del puente.

En Nueva York, el primer puente de hormigón pretensado se construyó en Orangeville, población próxima a Warsaw (fig. 1).

Este puente no era un gran proyecto, pues presentaba un luz de unos 19 m y una anchura de 6,70 m de tablero, provisto de ardenes y antepecho. Las cuatro vigas se moldearon directamente sobre el río, utilizando un solo juego de encofrados. Después de haber colocado la losa del tablero, se procedió a su pretensado en el sentido transversal. El coste total de la superestructura, partiendo de una superficie total de 19,50 x 7,60 m, resultó ser de 90,7 dólares

por metro cuadrado. Conservamos el dólar como unidad monetaria con objeto de unificar los resultados en un sentido relativo.

La experiencia y los datos referentes al coste que se derivaron de este proyecto, sirvieron de estímulo al Ayuntamiento para continuar su programa de construcción de puentes de hormigón pretensado. Nuevos proyectos fueron objeto de estudio para lograr dos resultados básicos: uno de ellos consiste en que el peso y tamaño de los elementos prefabricados ha de ser tal, que se puedan manejar y transportar con el material auxiliar que actualmente se dispone; y el otro, que en los meses del invierno los recursos locales permiten la fabricación de los elementos en el interior de edificios con calefacción. Las piezas prefabricadas se deberán almacenar en los depósitos para permitir se pueda construir ininterrumpidamente durante la primavera y verano.

Los encofrados que se emplearon en el primer puente pretensado se recuperaron, se llevaron a un taller de prefabricación y se utilizaron para la preparación de vigas similares (fig. 2). En esta segunda utilización, las vigas que se premoldeaban se despiezaban en trozos de 6 m de longitud, 0,91 m de altura, 0,84 m de anchura entre extremidades de alas y 0,30 m de espesor de alma. Después de haber hormigonado la parte correspondiente a una extremidad de la viga, se hacía retroceder un poco a las vainas flexibles de los cables con objeto de unirlos con las correspondientes al trozo interior inmediato de la viga. Después se daba a los cables la curvatura necesaria, procediéndose a continuación al hormigonado de este segundo trozo a tope con el anterior. Esta sucesión de operaciones aseguró un ajuste exacto para las llaves que debían absorber los esfuerzos cortantes en las juntas y entre los conductos para los cables. Esta misma operación se repetía al hormigonar la otra extremidad opuesta de la viga.

Durante la primavera, los elementos prefabricados se transportaban en camiones a la obra. Para las operaciones de montaje de los

trozos que forman cada viga se levantaron soportes provisionales, los cuales servían para mantenerlos en posición mientras se enhebraban los cables y se les sometía a un esfuerzo de tesado. Todos los conductos de los cables se inyectaron para asegurar la adherencia en toda su longitud. Después se procedió a rellenar las partes huecas que se habían dejado entre las alas de las vigas, y terminar tesando las armaduras transversales del puente. En la figura 3 se puede apreciar uno de estos puentes ya terminado. El coste de la superestructura, utilizando estos métodos, resultó ser de 90,7 dólares por metro cuadrado para una superficie de tablero de 15,80 x 7,30 metros.

Puesto que el Ayuntamiento tenía que reconstruir un gran número de puentes de pequeña luz, se estudió un plan general para la prefabricación de un tipo de obra similar a la que hemos descrito. Se prepararon losas sólidas de 0,60 m de anchura, 0,30 m de espesor y de unos 7,60 m de longitud. Cada una de éstas se pretensó con tres cables de 12 alambres cada uno colocándolas unas al lado de las otras, sobre asientos previamente preparados, para formar el tablero del puente. Después de rellenar con mortero las llaves previstas en las juntas para su solidarización común, se procedió a pretensar el tablero transversalmente.

En la figura 4 se puede apreciar este puente después de haberlo terminado. El coste del tablero, utilizando este procedimiento, resultó ser de unos 30 dólares por metro cuadrado, contando con una superficie de 7,60 x 7,30 metros.

En octubre de 1953, la Jefatura de Carreteras de New Jersey recibió propuestas para la Sección 11, Contratas 28 y 31 para la autopista de Garden State Parkway. Esta sección de carretera tiene una longitud de 12,8 km; se halla al oeste de Atlantic City, y es una parte de la carretera de peaje, de 265,5 km de longitud, cuyo trazado tiene una dirección norte-sur. En esta contrata se ha previsto la cons-

trucción de doce puentes, que se han subdividido en ocho variantes de luz . Se invitó a la formulación de propuestas, incluyendo los sistemas constructivos con vigas de hormigón armado de sección en T y otro alterno de vigas de hormigón pretensado con tablero hormigonado "in situ". Del estudio de las propuestas se dedujo que el coste de los dos tipos constructivos resultaba ser casi igual. Sin embargo, los contratistas que elevaron sus propuestas sólo se interesaron por el método alterno con vigas pretensadas.

Los encargados del proyecto prepararon un estudio sobre el pretensado, con objeto de normalizar en los proyectos la luz respecto a la sección necesaria. Variando el número de cables de las vigas y la distancia entre ejes de éstas, fué posible la simplificación del proceso de prefabricación. Las vigas interiores se proyectaron de sección en doble T, de 0,84 m de altura, 0,15 de espesor en el alma, de 0,30 de anchura en la cabeza superior y de 0,48 en la inferior. Las vigas de imposta son de sección rectangular, de 0,84 x 0,40 m, con la finalidad de lograr que las caras expuestas sean lisas, condición que se ha exigido para la presentación de Pliegos.

En el proyecto se supuso que las vigas soportarían toda la carga del peso propio durante la construcción para eliminar los entramados del andamiaje. Para las cargas dinámicas, las losas del tablero se consideraron como parte de las alas de la viga sometidas a los efectos de compresión. Las llaves previstas en las juntas para hacer frente a los esfuerzos cortantes desarrollan una acción compuesta con los estribos previstos a tales efectos. Inicialmente se proyectaron todas las vigas como elementos pretensados. Para cumplir con todos los plazos fijados para la construcción en las vigas de imposta, se previó una puesta en tensión postesando las armaduras. La propuesta más baja que se presentó en la licitación era de 7.777.777 dólares para el trozo completo de 12,8 km de longitud de la autopista. La preparación del

hormigón se proyectó de tal forma que se podría mantener un ciclo de hormigonado de dos días. Tres horas después de hormigonar se procedía al curado, mandando un chorro de vapor bajo los toldos que cubrían el hormigón, operación que se mantenía por lo menos durante seis horas y a una temperatura de 60°C. La cantidad de vapor se disminuía después; no obstante esto, se continuaba con algo de vapor hasta el momento de desencofrar y cortar los cables (fig. 6).

GARDEN STATE PARKWAY-VIGAS PRETENSADAS Sección 11 - Contrata 28 y 31

Pasos	Tramo C-C (m)	Longitud vi- ga (m)	Ancho table- ro (m)	Vigas interio- res		Vigas de impos- ta	
				Nº de cables por unidad		Nº de cables por unidad	
W. Jersey y Seashore RR	11,887	12,192	27,432	20	24	2	4
Blackhorse Pike Inter- change (Tramos gemelos)	14,974	14,957	7,315	10	32	4	7
Zion Road	15,300	15,607	12,353	20	34	4	7
Westcoat Road (2 puentes)	15,695	15,910	12,353	20	36	4	8
Washington Avenue	16,155	16,454	27,432	24	36	2	8
Dalhousie Road (2 puentes)	17,160	17,381	12,192	20	40	4	8
Blackhorse Pike (Tramos gemelos)	17,553	17,700	27,353	52	40	4	9
Ocean Heights Avenue (2 puentes)	18,410	18,715	12,192	24	40	4	9

a) Vigas interiores-cables \emptyset 9,5 mm - 7 cordones y 0,5 cm² de sección.

b) Vigas imposta-cables de 10 alambres de \emptyset 6,35 mm terminados en cabeza.

Cuando las probetas cilíndricas, curadas con las vigas, alcanzaban una resistencia mínima de 281 kg/cm^2 , se aflojaban los cables, y se procedía después a cortarlos en los espacios previstos entre vigas. Esta operación se efectuaba normalmente 18 horas después de haber hormigonado en los moldes. A los 28 días, el hormigón de las probetas cilíndricas había alcanzado la resistencia de 350 kg/cm^2 los centímetros cuadrados. Finalmente, las vigas se transportaban al depósito por medio de una grúa pórtico (fig. 7). Cuando era necesario, las vigas se llevaban a la obra por medio de camiones y remolques, en un recorrido de unos 48 km, y, una vez en obra, se colocaban en su lugar definitivo mediante grúas móviles (fig. 8).

Los tabiques transversales o diafragmas se hormigonaron simultáneamente con la losa del tablero, de 18 cm de espesor. Estos diafragmas corresponden con las extremidades y con las terceras partes de la luz. Se había previsto pretensar los diafragmas correspondientes a los puntos de las terceras partes de la luz, operación que debía realizarse con un solo cable colocado en el interior de una vaina flexible. Después de tesar se procedió a inyectar una lechada en el interior del conducto.

Las vigas pretensadas se sacaron a subasta, a base de un cierto número de cada una de las longitudes que se necesitaban. Después de un análisis de los datos de la subasta, el coste de la su perestructura dió una media de unos 98 dólares por metro cuadrado. La longitud de las vigas variaba de 12,20 a 18,75 m, y su coste medio fué ligeramente superior a los 54,3 dólares por metro cuadrado de la superficie del tablero. El coste medio por metro de viga fué de 68,3 dólares, con un campo de variación de 66 a 72 dólares por metro (figs. 9 y 10). En el CUADRO I se han recopilado los datos correspondientes a las vigas empleadas en varios lugares del trozo de ca-

rrertera a que nos venimos refiriendo.

En septiembre de 1954, el ingeniero encargado de los caminos de la comunidad de Mercer recibió diferentes propuestas para la construcción del puente de Sweet Briar Avenue. Este puente sustituyó a una estructura de madera, de cuatro tramos y de 7,30 m de anchura que, por distintas causas, exigía una conservación excesiva. El nuevo puente, figura 12, tiene tres tramos de 5,50, 8,84 y 5,50 m, su anchura es de 15,20 m y presenta un esviaje de 20°.

PUNTES DE GARDEN STATE PARKWAY Y DE GREAT EGG HARBOR- Sección 11
Contrata 173

Variantes y coste propuesto						
Solución A Terminación VI-56			Solución B Terminación XII-55			
Método 1		Método 2		Método 1		Método 2
Sumisiones	1ª Opción Luz 7,60 m	2ª Opción Luz 12,20 m	Luz 12,20 m	1ª Opción Luz 7,60 m	2ª Opción Luz 12,20m	Luz 12,20 m
	Losas pre- tensadas	Vigas pre- tensadas	Vigas meta- licas	Losas pre- tensadas	Vigas pre- tensadas	Vigas metá- licas
A	-	\$2,289,788	\$2,289,980	-	\$2,758,545	\$2,747,976
B	-	2,495,537	2,490,807	-	2,645,270	2,640,256
C	\$2,622,317	-	2,649,362	\$2,884,549	-	2,914,298
D	-	2,644,075	2,672,957	-	3,701,706	3,742,143
E	-	2,887,854	2,896,624	-	3,234,396	3,244,218

En la subasta se pedía una estructura, que podría ser metálica o de hormigón pretensado. La estructura metálica exigía vigas longitudinales, de ala ancha, de 40 a 45 cm de altura y espaciadas a 1,20m, con un tablero constituido por un reticulado metálico de 76 mm de espesor. La introducción del sistema pretensado (fig. 11), aconsejaba, en este caso, vigas pretensadas, de sección en forma de T, de 0,56 m de anchura entre extremidades de alas, 0,14 m de espesor de alma y un canto de 0,45 m. Estas vigas se colocaron unas al lado de las otras y se pretensaron, transversalmente, a través de los diafragmas. Sobre estas vigas, y con función de capa de rodadura, se hormigonó una losa de 7,6 cm de espesor en los bordes y 13 cm en la parte central.

La propuesta más baja daba el mismo coste para los dos tipos de proyecto, pero la elección del sistema constructivo que debía fijar el ayuntamiento tenía que basarse no solamente en el coste. El ayuntamiento se decidió por el hormigón pretensado, porque las vigas pretensadas no presentaban dificultad de suministro y, además, tienen la ventaja de ahorrar los gastos que exige la pintura de las estructuras metálicas. El coste de la superestructura resultó ser de 75 dólares por metro cuadrado de la superficie del tablero.

En octubre de 1954, la Jefatura de carreteras de New Jersey recibió propuestas para la construcción del trozo Great Egg Harbor (de la Sección 11, Contrato 173), que forma parte de la autopista de Garden State. Este trozo une Beesleys Point a Somers Point en Atlantic County. Las obras que se proponían realizar consistían en la infraestructura (estribos, pilas, muros en ala) y tableros de dos puentes para la autopista de Great Harbor Bay.

La estructura para el puente situado al sur de dicho trozo empieza en Beesleys Point, cruza el puerto de Great Egg, y se

extiende hacia el norte unos 1.112 m para unirse después a otro paso que debía construirse bajo otra contrata. El otro puente, situado al norte, de 228 m de longitud (fig. 14), salva el Drag Channel y termina en Somers Point.

Se sacaron a concurso dos soluciones, denominadas A y B respectivamente. Para la solución A se acordó un plazo de terminación de obras, que se fijó para junio de 1956, mientras que el plazo fijado para la solución B expiraba en diciembre de 1955 (CUADRO II).

Cada una de las dos soluciones se subdividió en dos sistemas distintos, llamados Método 1 y Método 2. Para el Método 1, el contratista podía proponer losas prefabricadas de hormigón pretensado, de 7,60 m de longitud, 4 m de anchura y 30 cm de espesor. También se admitían propuestas con vigas de hormigón pretensado, de 12,20 metros de longitud y tablero hormigonado "in situ". Estas dos formas distintas de operar se denominan Opción 1 y Opción 2; por tanto, se creó el dilema de tenerse que decidir por una u otra.

Bajo el Método 2, el contratista podía optar por un sistema constructivo con vigas longitudinales metálicas y tablero de hormigón ejecutado "in situ". Esto también podía extenderse a la solución B, en la que variaba la fecha de terminación. Los sistemas constructivos y las licitaciones que sobre ellos se hicieron se han recopilado en el CUADRO II.

El mejor postor se decidió por la solución A, con luces de 12,20 metros. La diferencia total en favor del Método 2 y solución A fué de 8.808 dólares. La construcción se adjudicó con la exigencia del empleo del hormigón pretensado, basándose en su menor coste de conservación.

Una inspección de los Pliegos del concurso nos lleva al resultado de que las 168 vigas de hormigón pretensado, de 12,20 m de longitud, se podían construir a 53 dólares por metro. El coste de las vi

gas respecto a la superficie del tablero es de 21,7 dólares por metro cuadrado. El coste aproximado de la superestructura respecto a la superficie del tablero fué de 73 dólares por metro cuadrado (fig.15). Las vigas pretensadas, de sección en forma de doble T, tienen 0,84 m de altura, 0,15 m de espesor de alma, 0,30 m entre extremidades de alas superiores y de 0,48 en las inferiores. Las vigas se pretensaron con 42 cordones de 9,5 mm de diámetro. Para sostener el tablero, de 7,92 m de calzada y 9,9 m de anchura total, se emplearon 4 vigas. Entre las vigas y la losa de hormigón del tablero, de 0,20 m de espesor se desarrolla una acción común a través de unas llaves y estribos (armaduras) que se han previsto en las cabezas superiores de las vigas para contrarrestar los esfuerzos cortantes.

En octubre de 1954, la Jefatura de carreteras del Departamento de Virginia recibió proposiciones para la ejecución de un proyecto, de 37 km de longitud, que comprende la construcción de dos puentes o accesos y un túnel para la unión de la carretera de Hampton con Norfolk. Estas obras se componen de 2.277 m de túnel y dos puentes de 990 y 1.862 m de longitud, respectivamente. El acceso norte, que une la carretera de Hampton con una isla artificial de la bahía, se proyectó con una longitud de 990 m, una calzada de 9,15 m y un tablero de 11 metros de anchura total. El acceso sur, que une Norfolk con otra isla artificial de la bahía, tenía 1.862 m de longitud, calzada de 9,15 metros y tablero de 11 m de anchura total. El túnel, practicado bajo el agua, tenía por objeto la unión entre las dos islas artificiales.

Los trabajos de construcción se dividieron en dos partes: una de ellas corresponde al túnel; y la otra, designada en la contratación con la denominación C-2, comprende la construcción de los dos accesos o puentes.

RECOPILACION DE CORTES DE PUENTES PRETENSADOS

Fecha proyecto	Localización	Luz en (m)	Nº de puentes	Nº de tramos	Cruces	Precio de vi- gas por m ² de tablero	Coste de su- perestructu- ra por m ² de tablero
1951 Wyoming County	Orangeville, N.Y.	18,898	1	1	Arroyo	-	0,7682
1952 Wyoming County	Pike, N.Y.	15,850	2	1	Arroyo	-	0,7682
1953 Wyoming County	Perry, N.Y.	7,620	4	1	Arroyo	Losas	0,2484
1953 Garden State Parkway	Atlantic City	11,887-18,288	12	1 y 2	Paso superior Paso superior	0,460	0,836
1954 Garden State Parkway	Trenton, N.J. Egg Harbor, N.J.	5,486-8,839-5,466 12,192	1 1	3 42	Arroyo Desembocadura	- 0,184	0,6348 0,621
1954 Hampton Roads	Norfolk, Va.	15,240	1	128	Desembocadura	0,149	0,391
1954 Hampton Roads	Norfolk, Va.	24,384	1	37	Desembocadura	0,225	0,506

El acceso norte se proyectó a base de hormigón pretensado, con tramos de 15,24 m de luz, siete vigas o apoyos continuos longitudinales para sostener el tablero que está formado por losas de hormigón de 15 cm de espesor. El acceso sur, también de hormigón pretensado y con tramos de 15,24 m de luz, tiene una longitud de 990 m. Los restantes 902 m de este último acceso se proyectaron con tramos de 24,4 m de luz, pudiendo el contratista optar por una estructura metálica o de hormigón pretensado. A estos dos sistemas constructivos se les denominó respectivamente Solución 1 y Solución 2. El postor más bajo proponía 19.050.461 dólares para el coste total de ejecución. Se eligió la Solución 2. Para la Solución 1 no se recibieron propuestas.

El tipo de viga pretensada para los tramos de 24,40 metros de luz, de sección en doble T, tenía 1,40 m de altura, 0,50 m de anchura entre extremidades de alas, tanto para la cabeza superior como para la inferior, y 13 cm de espesor de alma. Cada viga se armó con seis cables, cada uno de ellos compuesto de 12 alambres de 6,35 mm de diámetro. En cada una de las terceras partes de la luz, la estructura debía pretensarse transversalmente con la ayuda de dos cables de 6,35 mm de diámetro.

Las vigas pretensadas de 24,40 m de longitud se ofrecieron a 1.000 dólares por unidad; el hormigón para la losa del tablero a 78 dólares por metro cúbico, y el acero para las armaduras a 0,22 dólares por kilo. El coste de las vigas pretensadas era de 26,6 dólares por metro cuadrado de tablero. Tomando la superestructura en conjunto, el coste medio resultó ser de 60 dólares por metro cuadrado.

Para los tramos de 15,24 m de luz (fig. 16), las vigas pretensadas se ofrecieron a 414 dólares por unidad; el hormigón para el tablero a 72 dólares por metro cúbico, y el acero para las armaduras a 0,24 dólares por kilo. El coste de las vigas pretensadas era de 17 dólares por metro cuadrado de tablero, y el de la superestructura resultó

ser de 46 dólares por metro cuadrado.

Los pilotes que debían soportar el puente, constituyendo pilas o apoyos, se proyectaron de hormigón pretensado para los tramos de 15,24 m de luz. Estos pilotes son de sección cuadrada, de 0,60 x 0,60 m, y van provistos de un tubo hueco de 0,35 m de diámetro en el centro. La longitud media de estos últimos elementos es de 21,40 m, y para ésta o mayor longitud se emplearon 32 cables para el pretensado vertical. Cada uno de estos cables se compone de siete cordones de 9,5 mm de diámetro.

Después de ser aprobada la propuesta, el contratista pidió se le autorizara para reducir los vanos de 24,40 m a 15,24, con objeto de normalizar las vigas. También se revisaron los cimientos en la parte correspondiente a aguas profundas, y se acordó el empleo de pilotes huecos, pretensados, de 1,40 m de diámetro. Las paredes de estos pilotes circulares tienen 13 cm de espesor, y las armaduras para su pretensado consisten en 12 cables con una sección metálica de 2,20 cm² para cada cable.

Los pilotes y vigas pretensadas se prefabricaron, por el contratista, en la ciudad de Norfolk. Para esta prefabricación se instalaron cuatro bancos de unos 127 m de longitud cada uno.

La recopilación de precios del CUADRO III demuestra que los puentes de hormigón pretensado ofrecen una economía respecto a otros tipos convencionales de construcción.

El número de talleres de prefabricación, cada día creciente, capaces de fabricar piezas pretensadas de varios tipos, permiten a ciertos contratistas poderse interesar en las obras de esta naturaleza sin tener que prever instalaciones especiales. Actualmente, es de 18,30 m la longitud máxima que parece se ha admitido para el transporte de estas vigas por carretera desde el taller a la obra.

Las vigas de mayor longitud se podrían transportar por ferrocarril o por agua, siempre que tanto el taller como la obra se presten a ello.

La prefabricación en obra se ha venido utilizando con efectividad en varios proyectos pertenecientes a la región del E. de los Estados Unidos. Este procedimiento se empleaba, generalmente, debido al número de piezas que debía emplearse y del espacio disponible para su almacenamiento. El coste relativo del alquiler de una gran superficie para el taller de prefabricación próxima a la obra puede, en muchos casos, resultar más económico desde el punto de vista contratista, que el empleo de un taller en el que sólo se cuenta con facilidades limitadas de almacenamiento.

Actualmente, la tendencia parece se inclina hacia la normalización de los elementos pretensados. En un futuro próximo será posible la adquisición de elementos pretensados para puentes de tramos de diferentes luces, vigas de distinta longitud y losas para tableros.

Los procedimientos constructivos empleados para la ejecución de los puentes de la autopista Garden State Parkway abren un campo para una normalización aún más acentuada de dichos elementos. Al tratarse de puentes de pequeñas luces, los talleres de prefabricación podrán suministrar losas pretensadas, sólidas y huecas, para varias luces y condiciones de carga. Las recientes inundaciones del E., en las que varios puentes fueron destruidos, puso de relieve la necesidad de elementos de esta clase para la reconstrucción de dichas obras en un corto período de tiempo.

Los elementos pretensados ofrecen, desde el punto de vista constructivo, una solución económica y eficiente para la reconstrucción de puentes. Valiéndose del procedimiento que emplea las lo

Las pretensadas se pueden ir sustituyendo los elementos del viejo puente sin que se tenga que interrumpir la circulación durante la reconstrucción. Para tramos de mayor luz, el empleo del hormigón pretensado elimina muchos de los problemas del bombeado cuando se construye una banda parcial de la anchura total en una sola operación. También se elimina la necesidad de prever la curvatura de arranques en los encofrados para las losas. Puesto que las vigas pretensadas son más rígidas que las correspondientes a otros tipos compuestos y flectan menos, se pueden disminuir los entramados de apoyo durante la construcción y, además, la vibración motivada por la circulación es menos perceptible para los peatones.

Aún queda mucho por hacer en el campo de las estructuras continuas pretensadas, tanto en lo que se refiere a la parte teórica como a la constructiva. Las posibilidades que se le abran a este método para puentes de grandes tramos pretensados parecen ser prometedoras. Actualmente, los contratistas presentan propuestas para obras de hormigón pretensado con casi las mismas condiciones que para otros proyectos de tipo convencional.

Como cualquier nuevo material o método, el hormigón pretensado debe demostrar sus posibilidades, aun por encima de su función normal, antes de poder explotar su propio potencial.

457-9-9 COSTE DE PUENTES DE HORMIGÓN PRETENSADO

Por: J.C. Rundlett, ingeniero

Highway Research Board, Bulletin 144

La intención original al preparar este trabajo, tratando sobre el coste de puentes de hormigón pretensado, consistía en dar, con todo detalle, el coste de las obras de este tipo que se han emprendido en Massachusetts desde que el Departamento se lanzó, por vez primera, en 1951, a esta clase de obras; pero la urgencia de los trabajos de reparación, debido a las inundaciones, así como la necesidad suplementaria de tener que acelerar el programa sobre construcción de carreteras, han sido la causa de no poder completar dicho análisis.

En este trabajo, sin embargo, se enumeran los proyectos de tipo postesado; se da una breve descripción de ellos; se incluyen los costes por metro cuadrado, y se extiende sobre los puentes recientes de hormigón pretensado para asegurar el paso en zonas inundables. Estos trabajos han sido recopilados en el cuadro Nº 1.

La primera contrata, en 1951, se refiere a un paso superior sobre una línea de ferrocarril en Danvers. Se trata de una estructura con tramos de 8,20 m de luz que tiene 47 vigas, de sección en forma de T invertida. A estas vigas se les ha dado 35 cm de canto y 30 cm de anchura total de alas. En los apoyos las vigas se colocaron a tope, y los huecos que se dejan y forman entre alas y almas se rellenaron después con hormigón, consiguiendo así lo que pudiéramos llamar una losa compuesta. Esta es la única estructura postesada construida por el Departamento en la que los cables no se inyectaron en obra. Las vigas se prepararon bajo una contrata diferente, resultando el coste del tablero a 81,5 dólares por metro cuadrado.

Las otras seis estructuras, también postesadas, tienen vigas con sección en forma de doble T, espaciadas generalmente a 1,35 m, y sobre ellas se ha hormigonado una losa en la misma obra. Los tramos de estos puentes tienen luces que varían de 17,70 m a 20,40 metros.

Las vigas para los cuatro puentes de Newbury y Newburyport sobre la autopista de Newburyport se prefabricaron bajo un contrato aparte; las correspondientes a Wenham y Bridgewater se premoldearon incluyéndolas en la contrata general.

Todas las vigas para estos puentes, a excepción de las de Scotland Road Bridge, tienen un canto de 0,91 m, anchura total de alas inferiores de 0,61, 0,50 m para las superiores y un espesor de alma de 0,15 m. El canto de las vigas de Scotland Road Bridge era de 1,10 m, pero se mantuvieron iguales las otras dimensiones.

El coste del tablero del puente Wenham resultó ser de 141 dólares por metro cuadrado; el de Bridgewater, 120; el de Scotland Road, 108; el de Hale Street, 104; el de Storey Avenue, 92; y el de Pine Hill Road, 115 dólares por metro cuadrado.

Los proyectos anteriores fueron muy conservadores, y no sacaron provecho de la alta resistencia del hormigón. Si se proyectasen hoy las mismas estructuras, se podría obtener una reducción del 15% de su precio relativo original.

Todas las vigas empleadas en el sistema postesado se premoldearon por una sola empresa, mientras que las demás, a excepción de las del proyecto de Danvers, se prefabricaron en un taller al aire libre y bajo adversas condiciones atmosféricas.

La tempestad de 1955, cuyo eje coincidió aproximadamente con la línea Massachusetts - Connecticut, destruyó o produjo defectos en unos 220 pequeños puentes correspondientes a 80 pueblos

y ciudades de Massachusetts.

El coste estimado para la sustitución de estas estructuras y sus accesos inmediatos se eleva a unos 9.000.000 de dólares. El trabajo de este programa de rehabilitación se sufragará con una emisión de bonos, que se reembolsará al Estado por medio del Bureau of Public Roads en lo referente a la ayuda federal para estos proyectos, y por el Army Engineers respecto a la asignación para puentes provisionales si es que su construcción no es necesaria.

Los desperfectos que debían repararse se limitaron, en principio, a los puentes sobre pequeños cauces. Muchas de estas obras fueron destruidas debido a la ineficacia de viejas presas, incapaces de resistir una onda de inundación de tal magnitud.

Con objeto de acelerar los trabajos para la preparación de proyectos de puentes que debían reconstruirse, salieron al campo 17 equipos de perforación, y, poco después, 22 ingenieros se encargaron de la redacción de proyectos para los nuevos puentes y sus accesos. La parte devastada del Estado se subdividió en 22 zonas geográficas, constituidas, generalmente, por agrupaciones de ayuntamientos, contando cada uno de estos grupos con un ingeniero.

Un ligero estudio sobre la zona afectada por las inundaciones demostró que la mayoría de los puentes que debían reconstruirse tendrían luces de menos de 12,20 m, y que los elementos rectangulares pretensados presentaban condiciones particularmente apropiadas para esta variación de luces.

Se llegó a la conclusión de que debían sustituirse todos los puentes de luces de 6 a 12,20 m con superestructura de este tipo, encargándose el Departamento de la preparación de planos y de anunciar concursos separados para el suministro de elementos. Cuando se tomaron estas decisiones no se conocía ni el número exacto de puentes ni su posición, dentro de los comprendidos en esta escala de luces; sin

embargo, se previó se anunciase la construcción de los tableros de unos cincuenta puentes.

Para mantener las exigencias de encofrados unificados y el coste lo más bajo posible se eligieron dos tipos de canto de vigas; uno de 0,43 m para luces de 6 a 9,15 m y otro de 0,53 m para luces de 9,15 a 12,20 metros.

La proporción entre vigas de 0,43 m de canto y de las de 0,53 m, tomada arbitrariamente y basada en una información insuficiente, era del orden de tres para las primeras y de una para las segundas, es decir, de tres a una.

La mayoría de estos puentes se hallan situados sobre carreteras de segundo orden, en las que, en general, la calzada tiene una anchura de 7,9 a 9,15 m. Atmitiendo 0,30 m para la anchura del encintado, una anchura de 1,20 m para las vigas satisfaría las exigencias de la calzada y de los andenes. Por consiguiente, se adoptó esta anchura, con lo que se consiguió reducir a un mínimo el número de unidades necesarias para cada puente.

Para cada canto se previeron dos tipos distintos de secciones de vigas; uno, llamadas tipo A, para empleo en la calzada; y otro, tipo B, reservada para el encintado. Otro tipo de viga, de 0,43 metros de canto, se proyectó para los andenes de toda clase de luces.

Todas las vigas de 0,43 m de canto van provistas de tres huecos circulares de 0,20 m de diámetro, y las de 0,53 m de canto disponen de otros tres de estos huecos llamados de economía que, en este caso, tienen 25 cm de diámetro. Estos huecos circulares van rellenos en las extremidades y en la parte central de la viga, con objeto de permitir el paso de manguitos tubulares, transversales, en cuyo interior se alojan barras de 22 mm de diámetro.

Puesto que la mayoría de estas vigas tienen que colocarse en obra en pleno invierno, en un momento en que no se pueda hormigonar, debe dejarse un espacio entre vigas del orden de 2,5 cm en toda la profundidad de la viga con objeto de evitar las acumulaciones de agua entre vigas y preverse contra los desperfectos que pudiera ocasionar la helada.

Donde las vigas se colocan en obra antes de la primavera, se extenderá una capa de grava sobre el tablero, y se abrirá el puente a una circulación limitada. Cuando el tiempo lo permita se quita la grava; se hormigonan los espacios huecos que se habrán dejado; se extiende una capa de impermeabilización, y sobre ésta se coloca un afirmado de hormigón asfáltico.

La única variable de consecuencia en las vigas es la cantidad de acero para armaduras de pretensado que se necesita. Debido a la variación de las luces, de 6 a 12,20 m, y de las cargas tipos H15 a H20 S16, modificada para necesidades militares, se preparó una tabla para el empleo de cables de 9,5 mm de diámetro, en la que se indican las necesidades para luces que van aumentando por incremento de 1,50 m, sometidos a cuatro tipos de carga y para los dos cantos diferentes a que anteriormente nos referimos, así como para las vigas de los andenes. Así, pues, aunque las dimensiones de las vigas se limitan a dos cantos diferentes, el número de cables para las vigas de 0,43 m de canto varía de 27 a 48, y para las vigas de 0,53 m de canto de 36 a 61 cables. La viga tipo prevista para los andenes se ha armado con 32 cables.

Los cables superiores en las vigas correspondientes al encintado se alojan unos 5 cm por debajo de la parte superior de la losa, pero la tensión creada en la parte superior de la viga, correspondiente al encintado, premoldeado con la propia viga, necesita que se lleven cables a esa parte y, además, añadir un cable suplementario

Para el suministro de las vigas correspondientes a unos 50 puentes se preparó un Pliego, el cual contenía cinco particularidades y serviría de base para el concurso. En octubre se recibieron proposiciones, partiendo de precios por metro, para vigas de los tipos A y B y para cada uno de los cantos. En dicho Pliego se previó un apartado particular para los cables del pretensado, cuyo pago se haría por kilogramo. Como los lugares actuales de los centros de suministro no se conocían aún para los distintos puentes, los precios que se fijaron eran sobre vagón en Worcester.

En el momento de abrir el concurso se sabía claramente que por lo menos treinta puentes más, dentro de la escala prevista, podrían ser construidos utilizando el hormigón pretensado, y en noviembre se recibieron proposiciones referentes a estas vigas adicionales. Para la primera contrata se recibieron cinco proposiciones y cuatro para la segunda. Para la primera contrata la proposición más baja fué de 185.000 dólares, y de 102.000 para la más baja de la segunda.

Los precios medios detallados correspondientes a las proposiciones más bajas, en unión con los referentes al coste medio del montaje hasta la fecha, se han resumido en el Cuadro III. Del estudio de este Cuadro se deduce que el coste de la segunda contrata es, aproximadamente, el 6% más bajo que el de la primera, pero los dos son muy económicos.

El coste medio por metro cuadrado de tablero colocado en obra para luces de 6 a 9,15 m en el Contrato N° 1 es de 62,7 dólares, y en el Contrato 2 de 60. Para luces de 9,15 a 12,20 m este coste es de 69,20 dólares por metro cuadrado de tablero colocado en el Contrato 1, y de 65 para el Contrato 2. El 65% del coste corresponde, aproximadamente, a la preparación y transporte a Worcester, y el 35% resta

to al transporte desde Worcester y montaje sobre los soportes del puente.

Debido a la situación geográfica de los talleres, así como los arreglos para el transporte entre los contratistas generales y las empresas que los suministran, las entregas se harán directamente a los lugares de emplazamiento de la obra, y el coste del transporte se enjuagará en las proposiciones de los suministradores. Operando de esta forma, la proposición del contratista general se podrá considerar como correspondiente a los gastos de montaje, recibir con mortero y colocación del arriostramiento transversal. Por término medio, el 10% del coste total corresponde a los cables del pretensado.

Un análisis de la propuesta con un coste de 0,53 dólares por kilogramo de cable da un coste de 4,8 dólares por metro cuadrado de tablero utilizando vigas de 0,43 m de canto, calculadas para el tipo de carga H15 y de 6 m de luz, y 8,5 dólares para vigas de igual canto, de 9,15 m de luz y cargadas según la norma H20 S16. Para cargas similares y para luces máximas y mínimas con vigas de 0,53 m de canto, el coste varía de 6,4 a 10,8 dólares por metro cuadrado.

CUADRO I

RECOPIACION DE COSTES DE LA SUPERESTRUCTURA. ARMADURAS POSTESADAS

Municipalidad	Emplazamiento	Fecha de construcción	Luz	Coste por m ²
Danvers	Endicott Street over B. & M. R. R.	1951	8,230	0,6905
Wenham	Grapevine Road over Route 128	1952	2 a 18,288	1,2650
Bridgewater	Pleasant Street over Fall River Expressway	1953	2 a 20,422	1,0212
Newbury	Newburyport Turnpike over Scotland Road	1953	19,812	0,9290
Newbury	Hale Street over Newburyport Turnpike	1953	2 a 19,507	0,8832
Newburyport	Storey Avenue over Newburyport Turnpike	1953	2 a 17,678	0,7820
Newburyport	Pine Hill Road over Newburyport Turnpike	1953	2 a 17,983	0,9660

CABLES NECESARIOS EN LAS VIGAS DE SECCION RECTANGULAR

Tipo de viga	Carga	Canto 0,43 m Nº de cables ϕ 9,5 mm Luces de 6 a 7,60 m	Canto 0,53 m Nº de cables ϕ 9,5 mm Luces de 9,15 a 10,60 m
A normal B con encintado	H-15 H-20 H-20-S16 H-20-S16(III)	5 parte sup. 22 parte inf. 5 parte sup. 26 parte inf. 6 parte sup. 26 parte inf. 8 parte sup. 30 parte inf.	6 parte sup. 30 parte inf. 8 parte sup. 34 parte inf. 8 parte sup. 40 parte inf. 8 parte sup. 40 parte inf.
C Acera	Acera	Todos los tramos de 0,43 m de canto - 6 cables superiores, 26 inferiores todos los cables ϕ 9,50 mm	
<p>H - 20 - S16 (III) - Modificado para exigencias militares. En 15-XII de 1955 revisión del número de cables en vigas tipo B. Si más de 5 cables ϕ 9,50 mm superiores, llévase 2 a la parte superior del encintado y añádase uno formando bordillo de 3 cables. Si sólo 5 cables ϕ 9,50 mm superiores, llévase un cable a la parte superior del encintado y añádase uno formando bordillo de 2 cables.</p>			

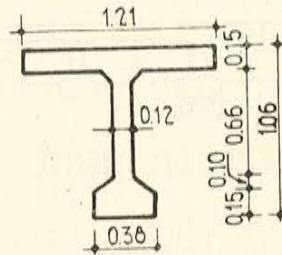
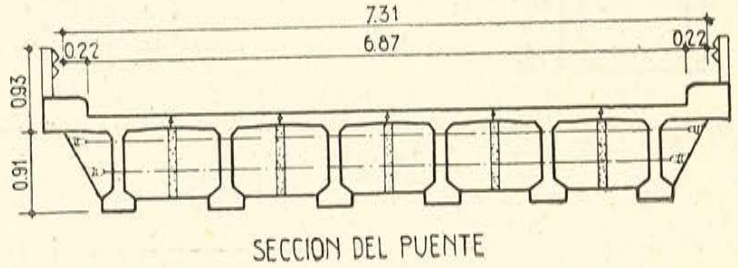
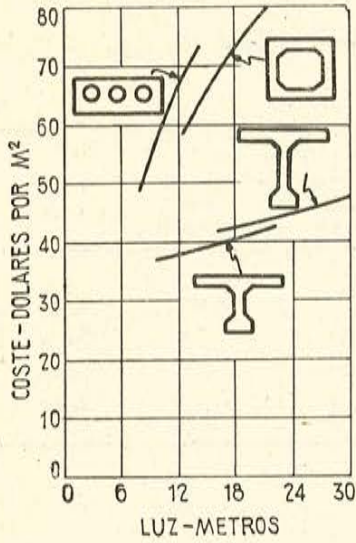
COSTE MEDIO EN 1955 DE PUENTES CON TABLERO PRETENSADO DESTINADOS A ZONAS INUNDABLES

Lucas	Dimensiones de las vigas	Tipo de vigas	Contrato N° 1; 50 puentes; coste dólares por m ²			Contrato N° 2; 30 puentes; coste en dólares por m ²				
			Vigas suministradas	Cables	Montaje	Total	Vigas suministradas	Cables	Montaje	Total
6,096-9,144	1,21 x 0,431	Calzada y andenes	3,09	0,0437	0,1720	0,50968	3,02	0,0478	0,1720	0,4977
	1,21 x 0,431	Bordillo	3,92	0,0437	0,1720	0,58604	3,02	0,0478	0,1720	0,4977
9,144-12,192	1,21 x 0,533	Calzada	3,32	0,0708	0,1876	0,56396	3,25	0,0634	0,1876	0,650
	1,21 x 0,533	Bordillo	4,18	0,0708	0,1876	0,64308	3,25	0,0634	0,1876	0,650

NOTA: Coste sin vallado y superficie de rodadura

COSTE MEDIO EN DOLARES POR M² DE TABLERO

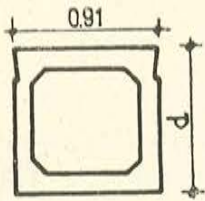
Lucas	Contrato n°1	Contrato n°2
6,096 - 9,144	5,308	0,4977
9,144 - 12,192	0,586	0,4501



CUADRO I

Coste de las vigas en T, ligeras — TB 48/42

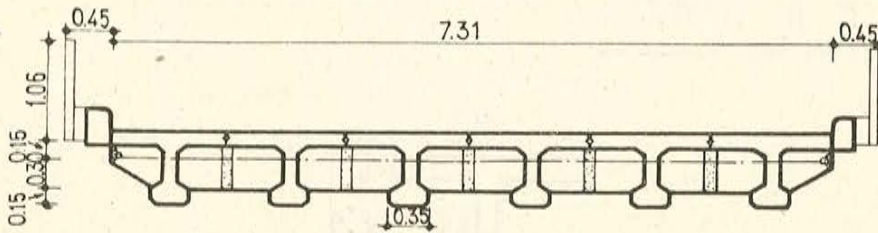
Luz — (m)	Hormigón por m ³ — (m ³)	Armadura ordinaria por m ² — (kg)	Cable de pretensado 9,5 mm por m ² — (m)	Coste (Dólares por m ²)			
				Hormigón	Armadura ordinaria	Cables de pretensado	Total
15	0,296	14,65	11,50	34,90	4,80	3,80	43,50
18	0, 96	14,65	15,60	34,90	4,80	5,15	44,85
21	0,246	14,65	18,90	34,90	4,80	6,25	45,95
24	0,296	14,65	23,00	34,90	4,80	7,60	47,30
27	0,296	14,65	27,90	34,90	4,80	9,20	48,90
30	0,296	14,65	32,80	34,90	4,80	10,80	50,50



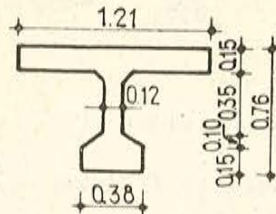
CUADRO II

Coste de las vigas cajón tipo BPR

Luz — (m)	d — (cm)	Hormigón por m ² — (m ²)	Armadura ordi- naria por m ² — (kg)	Cable de pretensado 9,5 mm por m ² — (m)	Coste (Dólares por m ²)			
					Hormigón	Armadura ordinaria	Cables de pretensado	Total
12	61,0	0,436	24,40	20,70	45,80	8,05	6,85	60,70
15	76,0	0,504	25,15	27,40	52,90	8,30	9,05	70,25
18	91,5	0,565	26,60	30,70	59,30	8,80	10,15	78,25
21	106,5	0,609	27,10	35,05	63,95	8,95	11,55	84,45



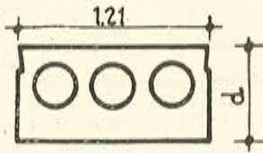
SECCION DEL PUENTE



CUADRO III

Coste de las vigas en T, ligeras — TB 48/30

Luz — (m)	Hormigón por m ² — (m ²)	Armadura ordi- naria por m ² — (kg)	Cable de pretensado 9,5 mm por m ² — (m)	Coste (Dólares por m ²)			
				Hormigón	Armadura ordinaria	Cables de pretensado	Total
9	0,263	14,65	7,40	31,—	4,80	2,45	38,25
12	0,263	14,65	11,50	31,—	4,80	3,80	39,60
15	0,263	14,65	16,40	31,—	4,80	5,40	41,20
18	0,263	14,65	21,35	31,—	4,80	7,05	42,85
21	0,263	14,65	27,10	31,—	4,80	8,95	44,75



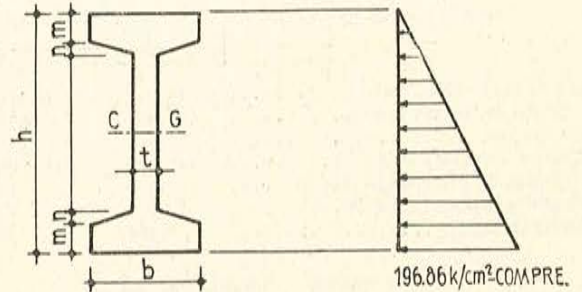
CUADRO IV

Coste de las vigas-losa tipo BPR

Luz (m)	d (cm)	Hormigón por m ² (m ³)	Armadura ordinaria por m ² (kg)	Cable de pretensado de 9,5 mm de diámetro por m ² (m)	Coste (Dólares por m ²)			
					Hormigón	Armadura ordinaria	Cables de pretensado	Total
7,5	35,5	0,366	12,70	24,60	38,40	4,20	8,10	50,70
9,0	40,5	0,411	12,20	32,85	43,15	4,00	10,85	58,00
10,5	48,0	0,470	12,40	36,10	49,35	4,10	11,90	65,35
12,0	53,0	0,477	12,50	37,75	50,95	4,10	12,45	66,00
13,5	61,0	0,551	13,40	42,70	57,85	4,40	14,10	76,35

CUADRO V

Datos para el cálculo de las vigas en I, de hormigón pretensado, propuestas por la «Concrete Technology Corp.»

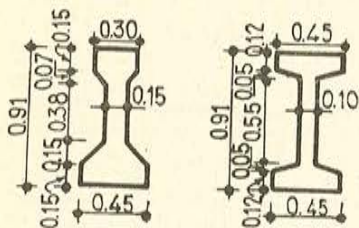


Designación de la viga	Peso (kg/m)	Area de la sección (cm ²)	b (cm)	h (cm)	Momento resistente (cm ³)	Momento de inercia respecto al c. d. g. (cm ⁴)	Luz crítica L _{cr} (m)	Momento máximo M _s ⁺ (m.t)	t (cm)	m (cm)	n (cm)
IB 12/24	231	955	30,5	61,0	15,0	45,8	16	29,6	7,5	9,0	4,0
IB 12/28	248	1.032	30,5	71,0	19,2	68,1	18	39,0	7,5	9,0	4,0
IB 12/32	266	1.110	30,5	81,0	23,6	95,7	20	46,5	7,5	9,0	4,0
IB 12/36	292	1.187	30,5	91,5	28,2	129,1	23	55,6	7,5	9,0	4,0
IB 15/32	369	1.535	38,0	81,0	32,0	129,5	22	62,8	10,0	10,0	5,0
IB 15/36	394	1.639	38,0	91,5	38,3	175,2	23	75,5	10,0	10,0	5,0
IB 15/40	418	1.742	38,0	101,5	45,2	229,4	25	89,0	10,0	10,0	5,0
IB 18/36	484	2.013	45,5	91,5	48,9	223,8	22	96,6	10,0	12,5	5,0
IB 18/40	509	2.116	45,5	101,5	57,6	292,4	24	113,3	10,0	12,5	5,0
IB 18/44	533	2.219	45,5	111,5	66,7	371,9	25	131,1	10,0	12,5	5,0
IB 18/48	558	2.322	45,5	122,0	76,0	463,3	27	150,0	10,0	12,5	5,0
IB 18/52	583	2.426	45,5	132,0	85,9	566,8	28	169,3	10,0	12,5	5,0
IB 18/56	607	2.529	45,5	142,0	96,0	681,8	29	188,8	10,0	12,5	5,0
IB 24/48	814	3.387	61,0	122,0	111,8	681,9	27	220,2	12,5	15,0	7,5
IB 24/52	845	3.516	61,0	132,0	126,5	834,8	28	249,3	12,5	15,0	7,5
IB 24/56	875	3.645	61,0	142,0	141,7	1.006,2	29	278,7	12,5	15,0	7,5
IB 24/60	908	3.774	61,0	152,5	156,7	1.195,0	30	308,8	12,5	15,0	7,5

CUADROS VI, VII Y VIII

Coste de las vigas resistentes para estructuras compuestas

Para tramos de 18 m de luz



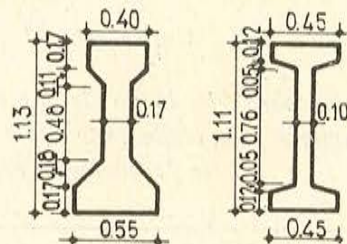
AASHO-PCI.—Viga tipo II		CTC.—Viga tipo IB 18/86
Area de la Sección (cm ²)	2.381,0	2.013,0
Momento de inercia (cm ⁴)	212,2	223,8
Peso (kg/m)	571,0	484,0
Esfuerzo de pretensado (t)	187,0	160,0
Armadura de pretensado (kg/m)	13,9	11,0
Armadura ordinaria (kg/m)	11,9	11,9
Hormigón (m ³ /m)	0,238	0,200
<i>Costes (Dólares por m)</i>		
Armadura de pretensado	13,90	11,00
Armadura ordinaria	3,95	3,95
Hormigón	25,00	21,00
TOTAL	42,85	35,95

AASHO-PCI.—Viga tipo III

CTC.—Viga tipo IB 18/11

Area de la Sección (cm ²)	3.613,0	2.219,0
Momento de inercia (cm ⁴)	521,9	371,9
Peso (kg/m)	871,0	533,0
Esfuerzo de pretensado (t)	240,0	195,0
Armadura de pretensado (kg/m)	17,9	11,6
Armadura ordinaria (kg/m)	14,9	14,9
Hormigón (m ³ /m)	0,361	0,222

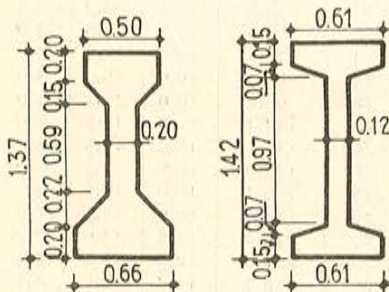
Para tramos de 23 m de luz



Costes (Dólares por m)

Armadura de pretensado	17,90	11,60
Armadura ordinaria	4,90	4,90
Hormigón	37,90	23,30
TOTAL	60,70	39,80

Para tramos de 30 m de luz



AASHO-PCI.—Viga tipo IV

CTC.—Viga tipo IB 21/56

Area de la Sección (cm ²)	5.090,0	3.645,0
Momento de inercia (cm ⁴)	1.085,2	1.006,2
Peso (kg/m)	1.228,0	875,0
Esfuerzo de pretensado (t)	383,0	299,0
Armadura de pretensado (kg/m)	28,6	22,3
Armadura ordinaria (kg/m)	17,9	17,9
Hormigón (m ³ /m)	0,509	0,364

Costes (Dólares por m)

Armadura de pretensado	28,60	22,30
Armadura ordinaria	5,90	5,90
Hormigón	53,45	38,20
TOTAL	87,95	66,40



Fig. 1.—Puente número 10, en Orangeville (Nueva York).

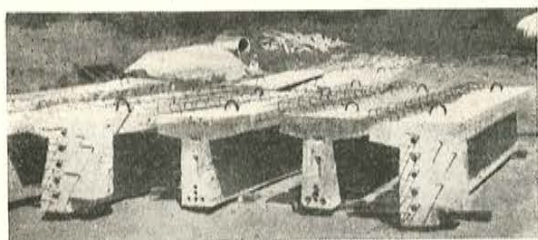


Fig. 2.—Vigas prefabricadas para el puente número 7, en Pike (Nueva York).



Fig. 3.—Puente número 7, en Pike (Nueva York).



Fig. 4.—Puente número 14, en Perry (Nueva York).

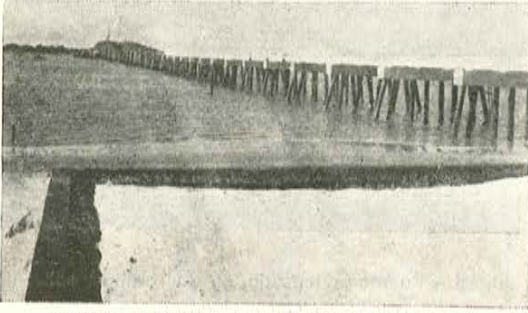


Fig. 13.

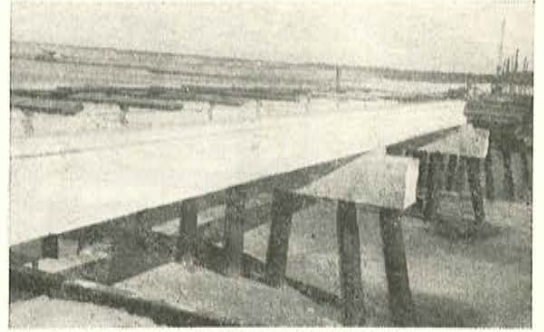


Fig. 14.

Fig. 13.—El puente Great Egg Harbor Bay Bridge.
 Fig. 14.—Él puente sobre el Drag Channel.
 Fig. 15.—Prefabricación de encofrados para el hormigonado de la losa del puente de Great Egg Harbor.
 Fig. 16.—Vigas para el proyecto de puentes en Hampton.

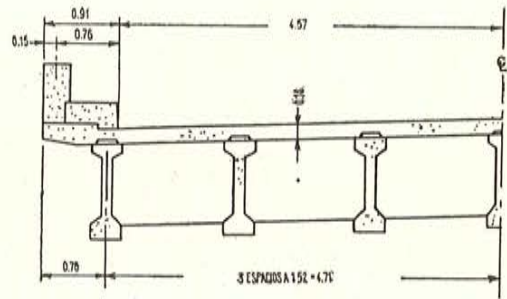


Fig. 15.

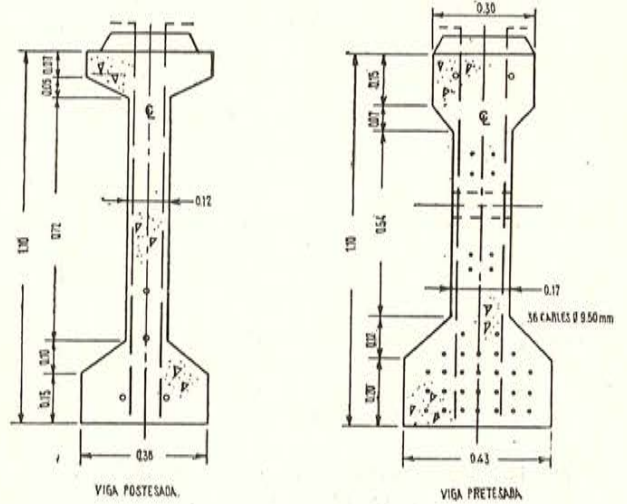


Fig. 16.

457-9-7

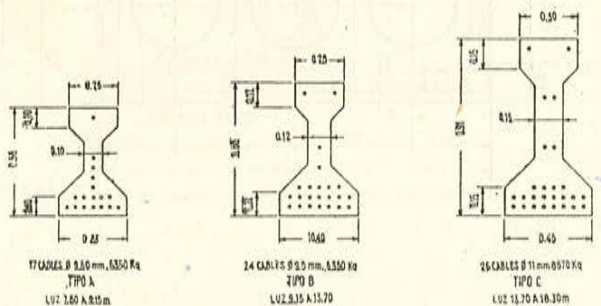


Fig. 1.—Tipos normales de vigas pretensadas.

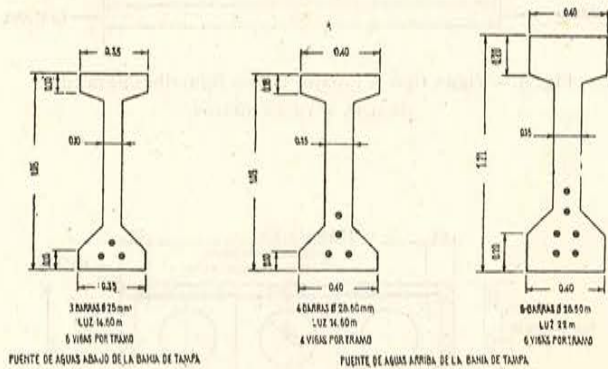


Fig. 2.—Vigas pretensadas. Sección en la mitad de la luz.

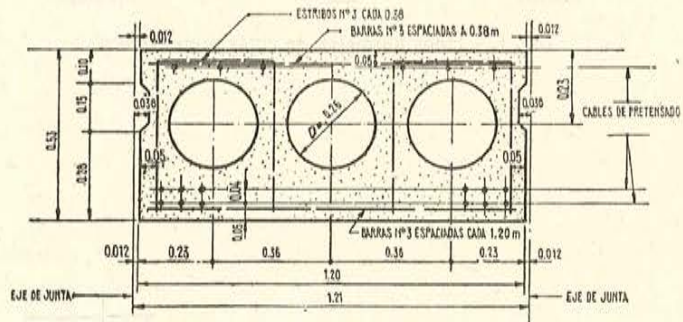
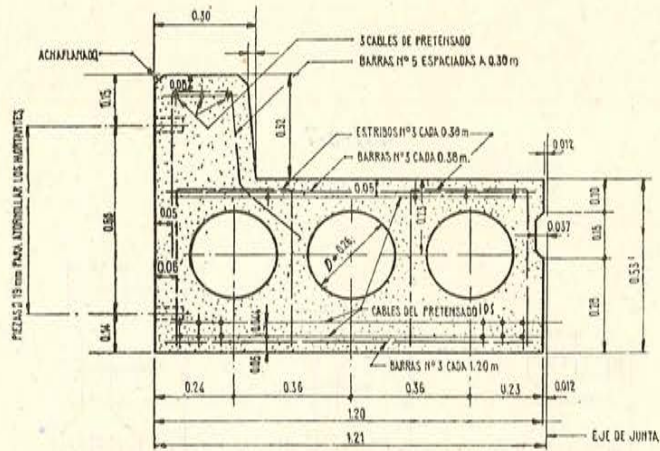


Fig. 3.—Vigas tipo A (abajo) y tipo B (arriba) para luces de 9,15 a 12,20 metros.

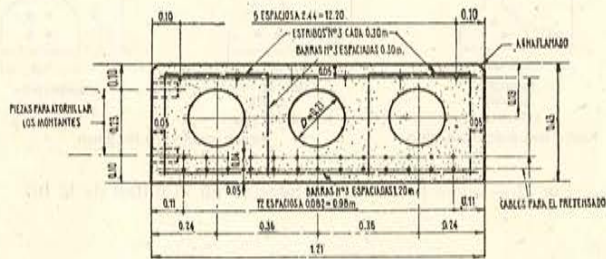


Fig. 5.—Viga tipo C para aceras, de 6 a 12,20 m de luz.

457-9-9 (RUNDLETT)

VALLA PARA CARRETERA DE 2ª
POSTES A 1.60 m
VALLA TIPO C
(MODIFICADO)

VALLA PARA CARRETERA DE 1ª
POSTES ESPACIADOS A 1.60 m
VALLA TIPO A
(MODIFICADO)

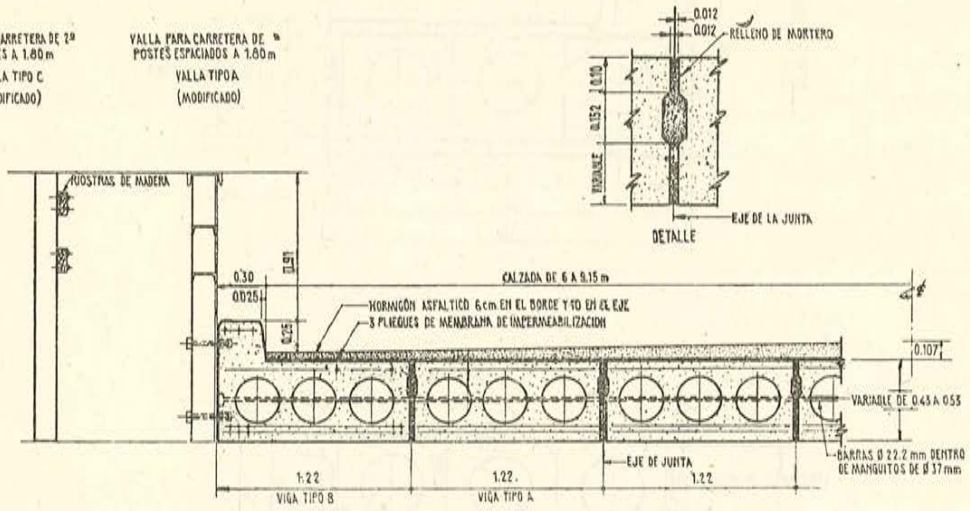


Fig. 1.—Semisección de tablero pretensado.

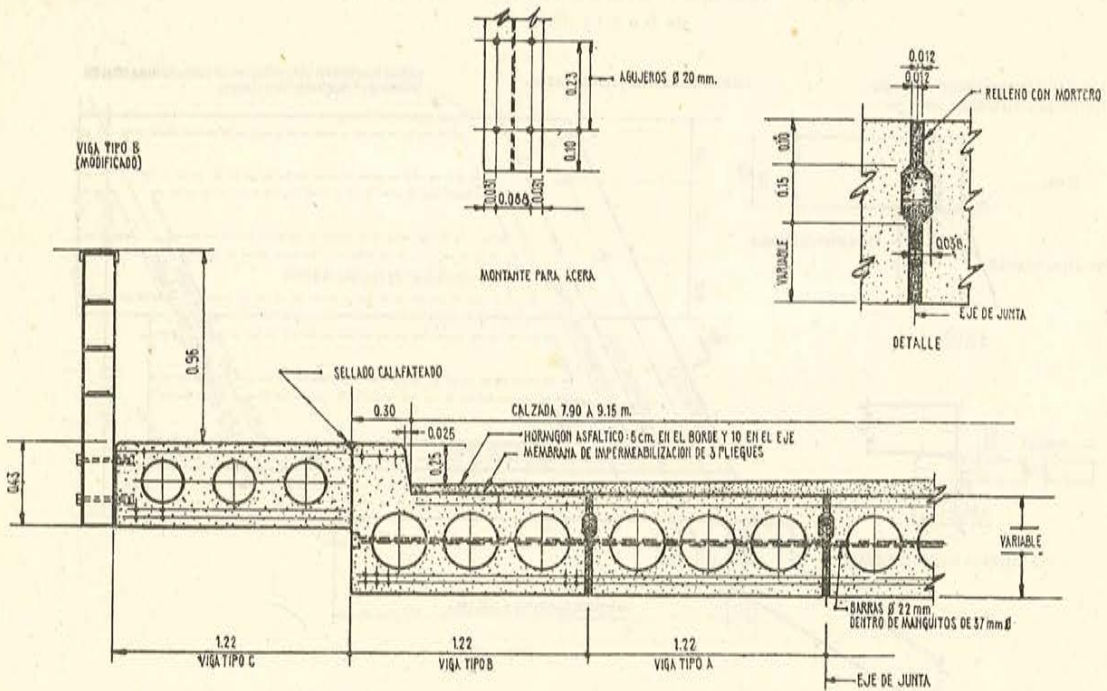


Fig. 2.—Semisección con vigas formando bordillo.

