

CONSTRUCCION Y MONTAJE DE 22 VIGAS DE HORMIGON PRECOMPRIMIDO, DE 24 M. DE LUZ PARA UNA CUBIERTA

Por LUIS JANINI CUESTA y RAFAEL SOLER BOIX,
Ingenieros de Caminos.

En el presente artículo se da cuenta del importante trabajo de construcción y montaje de vigas de hormigón precomprimido, cuya descripción y detalle consideramos de interés para nuestros lectores.

La Compañía Valenciana de Cementos Portland, S. A., está llevando a cabo una serie de obras, para la modernización y ampliación de su fábrica de Buñol (Valencia), hasta una producción de 230 000 Tn. anuales.

Entre ellas figura la nave de materias primas, de planta rectangular, de 84,50 metros de longitud por 25,25 de anchura, cuya sección transversal figura a continuación.

La separación entre ejes de pilares es de 4,00 m., y la cubierta está constituida por 21 vigas de hormigón precomprimido, de 24,10 m. de luz de cálculo; sobre éstas se apoyan viguetas de hormigón precomprimido "Freyssi", con separación entre ejes de 0,95 metros, y sobre ellas, bovedillas de hormigón cerámico, enrasándose con hormigón de escorias, y, como última capa, una de 3 cm. de espesor ligeramente armada, con las correspondientes juntas de dilatación. Para enlazar las vigas principales, se ha proyectado una viga cumbreira.

El proyecto, tanto de esta cubierta como de todas las estructuras de hormigón armado de la ampliación de la citada fábrica, ha sido redactado por el Ingeniero Industrial, de la misma Compañía, D. Francisco Ruvira Senent, quien ha colaborado de forma muy activa en la construcción de las obras.

Las obras han sido ejecutadas por la Sociedad Ibérica de Construcciones y Obras Públicas, S. A. (S.I.C.O.P.).

Las vigas son de inercia variable, con las secciones de los dibujos núms. 2, 3 y 5.

La viga termina en una placa de cabeza con la sección del dibujo núm. 4.

Del proyecto tomamos los siguientes datos:

Contando con un 15 por 100 de pérdida de tensión por fluencia y plasticidad, la tensión total en los cables para una viga debe ser de 165 Tn., que se dan a 7 cables con 12 hilos de diámetro, 5 cada uno.

El cálculo de la viga dió los valores del cuadro del dibujo núm. 6.

En la sección de apoyo, el c. d. g. coincide con el de los cables y $\sigma_{hc} = 55 \text{ Kg./cm.}^2$.

Para el esfuerzo cortante se estudió la sección a 1,08 m. de los apoyos, donde, al cambiar la sección, era más peligrosa, y teniendo en cuenta los esfuerzos por peso propio, sobrecarga y precompresión, se llega a unas tensiones principales de $\sigma_{tm} = 3 \text{ Kg./cm.}^2$ y $\sigma_{tm} = 2,77 \text{ Kg./cm.}^2$ en las fibras $m - m'$ y $n - n'$, o sea que no precisaba armaduras.

Construcción de las vigas.

Para la altura a que van apoyadas, de 21 m., no era virtualmente posible ejecutarlas *in situ*. Se estudió la posibilidad de construirlas sucesivamente en un extremo, a la altura definitiva, pero resultaba muy costosa la plataforma de trabajo.

Ya con la base de construirlas sobre el terreno y después elevarlas y transportarlas, por las condiciones del obrador, no pudo hacerse un solo taller a un extremo de la nave, sino que se han tenido que construir en dos talleres a ambos extremos.

Se han importado de Francia los conos de anclaje y los gatos para la tensión, suministrados por la S.T.U.P.

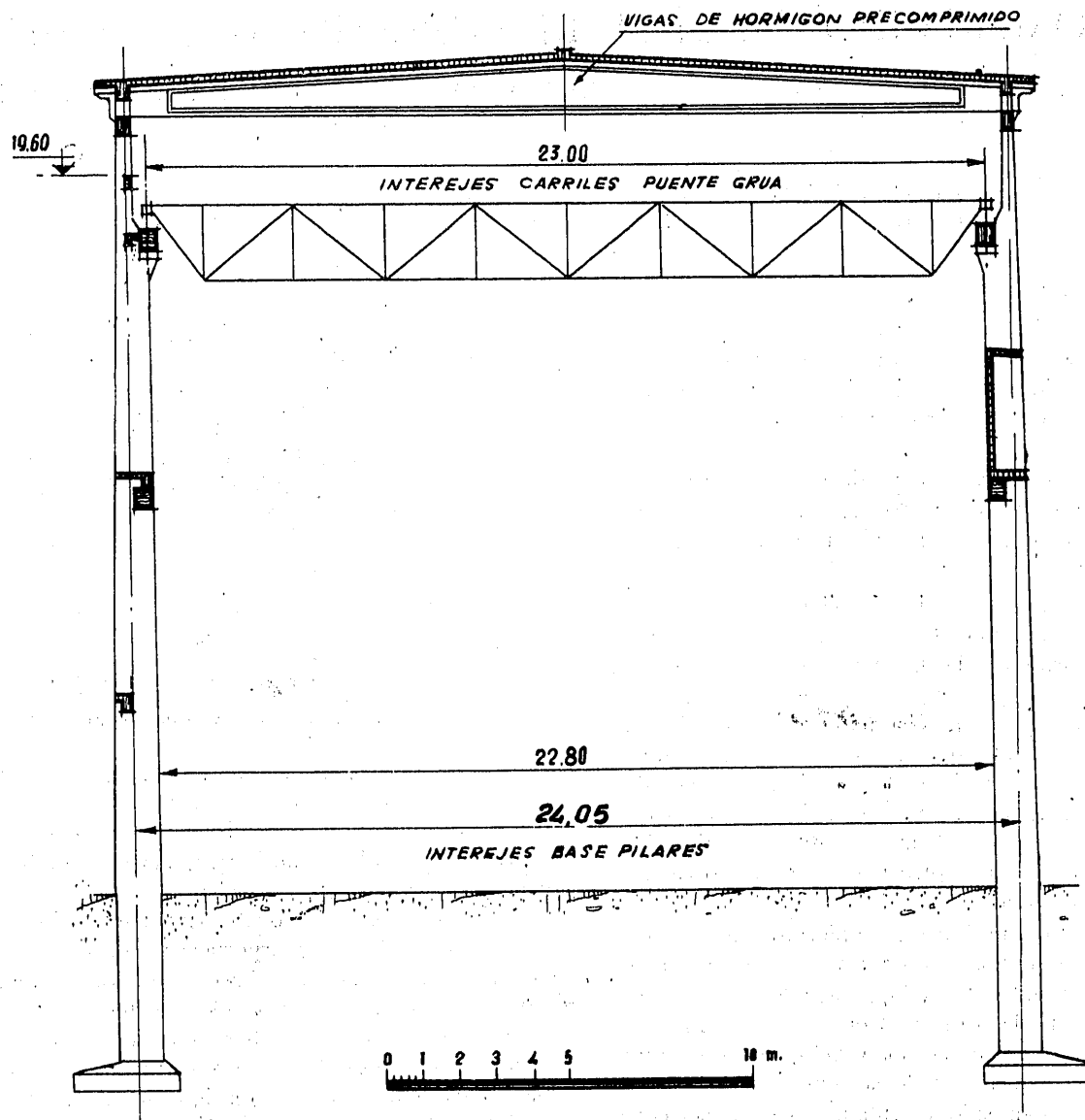
La bomba para dar presión, así como la de inyección posterior han sido fabricadas en Valencia.

El acero de alto límite elástico de 5 mm., ha sido adquirido a D. José M. Quijano, S. A.

Los cables se formaban con una espiral de alambre de 1,5 mm. de sección y sobre ella 12 hilos de 5 mm., resultando un diámetro de 27 mm.

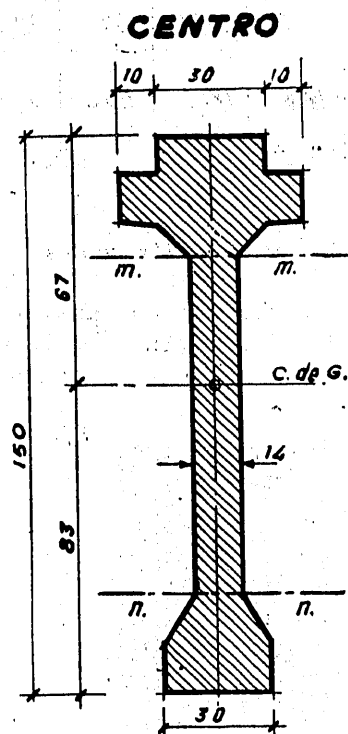
Como funda se han construido unos tubos de hojalata, estañada, resultando el cable de un diámetro de 37 mm.

Por no disponer oportunamente de la máquina de

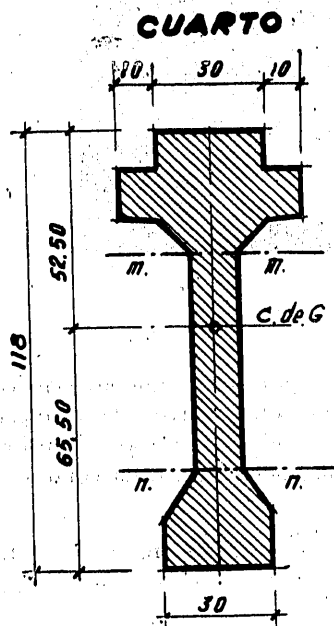


Dibujo núm. 1. — Datos del proyecto de las vigas de 24,10 m. de luz. Características y tensiones admitidas: Peso propio: $g = 755 \text{ Kg./m.l.}$ Peso propio forjado y piso $= 160 \text{ Kg./m.}^2$. Sobrecarga viento y nieve $= 90 \text{ kilogramos/m.}^2$. Tensiones máximas de trabajo para el hormigón: a compresión, $\sigma_{hc} = 120 \text{ Kg./cm.}^2$; a tracción, $\sigma_{ht} = 10 \text{ Kg./cm.}^2$. Tensión de trabajo para el acero de alto límite elástico: $\sigma_a = 8\,500 \text{ Kg./cm.}^2$.

fabricar tubos con soldaduras continuas, se construyeron unas matrices para la fabricación de las fundas de los cables, con pestaña aplastada, pero todavía



Dibujo núm. 2.



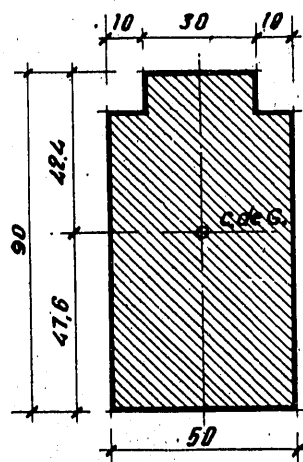
Dibujo núm. 3.

la dificultad de encontrar chapas de acero de 0,2 milímetros de espesor trabajable, sin estar demasiado acerada, motivó el empleo de la hojalata citada.

Se han construido dos encofrados de madera, muy robustos, para ser sometidos a los efectos de la vibración energética.

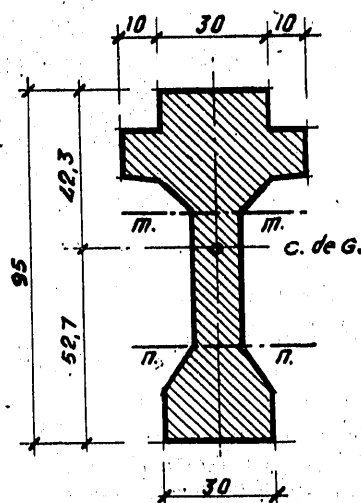
Como consecuencia de una serie de ensayos con distintas clases de áridos, se ha construido con la siguiente dosificación por m.³:

Cemento	500 Kg.
Arena, dimensiones	< 0,7 cm.
Gravilla	≤ 25 »



Dibujo núm. 4.

(a 1,08 m/r: **DEL APOYO**



Dibujo núm. 5.

El tamaño máximo del árido venía impuesto por los espacios entre cables en las zonas extremas, que eran de 28 mm.

La gravilla se ha lavado previamente para mejor composición.

SECCION	Area (cm. ²)	W, W _p (10 ⁴)		M _p M _g (m.ton.)		e (cms.)	Tensiones en kg. cm. ²			
							montaje		carga	
							σ_s	σ_c	σ_s	σ_c
Centro	3,158	11,6	9,35	72	54,2	68	2,3	105,2	71	12,1
Cuarto	2,710	7,64	6,12	54	40,7	47	12,6	121,1	89,4	4,7

Dibujo núm. 6.

La cantidad de agua para el amasado se ha cuidado sobremedida, con objeto de tener la consistencia adecuada, variando con las distintas vigas, por las condiciones de humedad de los áridos, siendo del orden de 0,40 la relación agua/cemento.

Tensado de los cables.

Al cabo de los diez días se ha procedido a la tensión de los cables. Teniendo en cuenta las pérdidas de tensión debidas a fluencia, plasticidad, deformación

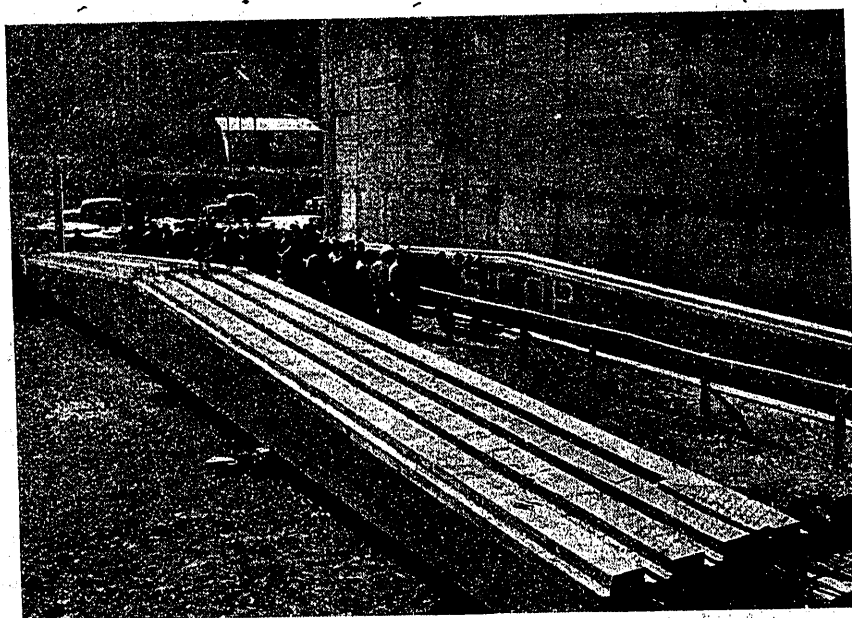


Foto núm. 1.— Vigas fabricadas en uno de los talleres.

Para la vibración enérgica se han empleado dos pervibradores de aguja y cuatro de superficie sujetos al encofrado y cuya posición iba modificándose al hormigonar la viga.

El hormigón de los cubos de 20 × 20 para ensayo estaba sujeto a las mismas condiciones y vibrado y curado que el de la viga correspondiente, mediante la sujeción al encofrado.

Se ha desencofrado al cabo de tres días.

Los resultados medios de las probetas han sido del orden de:

A los 7 días ± 215 Kg./m.²

A los 28 días ± 300 »

lenta del hormigón, acortamiento elástico del hormigón y detalles constructivos de la ejecución, se ha sobrepasado en un 15 por 100 la tensión de cálculo.

La tensión inicial para cada cono será, pues:

$$\frac{20 T_n}{0,85} = 23,50 T_n \gg \sigma_a = E \frac{\lambda}{l};$$

$$10\,000 = 21 \times 10^6 \times \frac{\lambda}{2\,440} \gg \lambda = 11,6 \text{ cm.}$$

Teniendo en cuenta el diámetro del pistón de la bomba, para la tensión inicial correspondía 290 kilogramos/m.² en el manómetro.



Foto núm. 2.

En la puesta en carga del cono se llegaba a 450 kilogramos/cm.².

Fijados estos alargamientos con los gatos del tipo Freyssinet, accionados por una bomba, se procedió al tensado.

Al tensar los cables, las vigas tomaban una contraflecha de 10 mm., despegándose de la capa de yeso sobre la que se construían.

Una vez tensados, mediante unos gatos hidráulicos de 10 Tn., se levantaban para apoyarlas a continuación sobre unos carretones que circulaban sobre dos vías de 0,60 a ambos lados de cada taller de fabricación, y que las transportaban hacia el centro del taller, para dejar espacio para la construcción de otra viga.

La inyección se ha realizado con una lechada de 30 por 100 de cemento, a una presión de 7 Kg., con toda normalidad.

A continuación se hormigonaron las ménsulas en que termina cada extremo de viga.

Prueba de las vigas.

Apoyándose en dos puntos fijados al muro de cierre de la nave se instalaron dos gatos capaces de producir una sollicitación por dos cargas puntales ligeramente superior a la carga uniforme real.

Los gatos eran de 10 Tn. y la indicación de 500 kilogramos/cm.² en los manómetros, teniendo cuenta de las reducciones de los mecanismos.

Aunque se puso especial cuidado en la descarga simultánea, en ocasiones se produjeron sobrecargas accidentales superiores que motivaron indicaciones mayores de las de 500 Kg./cm.² en uno de los gatos por la diferente recuperación elástica de las secciones de la viga.

Datos medios de rendimiento.

Además de las instalaciones de preparación de los talleres, traslado de las vigas, movimientos de las mis-

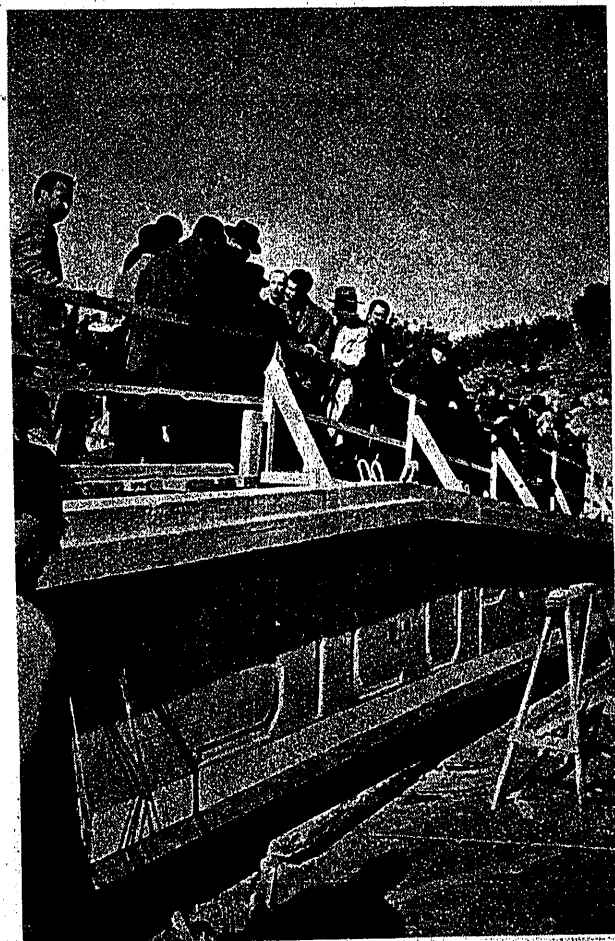


Foto núm. 3. — Vista parcial de una viga.

mas para su acopio, etc., las operaciones definidas en su fabricación han dado los costes siguientes:

Encofrado	3,5 h./m. ² .
Fabricación de cables y montaje de estribos	0,65 h./m. ¹ .
Hormigonado con vibración	23,8 h./m. ³ .
Fabricación de placas de cabeza	11 h./u.
Fabricación de las piezas prefabricadas de montaje y separación	2,3 h./m. ³ .
Tensado e inyección	8,6 h./cable.

Elevación de las vigas.

Las operaciones tenían que ser las siguientes:

- Transporte de cada viga hasta el pie del piñón.
- Elevación mediante cabrestantes y pescantes.
- Traslación de la viga por encima de la estructura hasta apoyarla en los pilares del piñón.
- Transporte de la viga, durante 3,60 m., hasta el centro del puente-grúa de servicio en la nave.



Foto núm. 4.

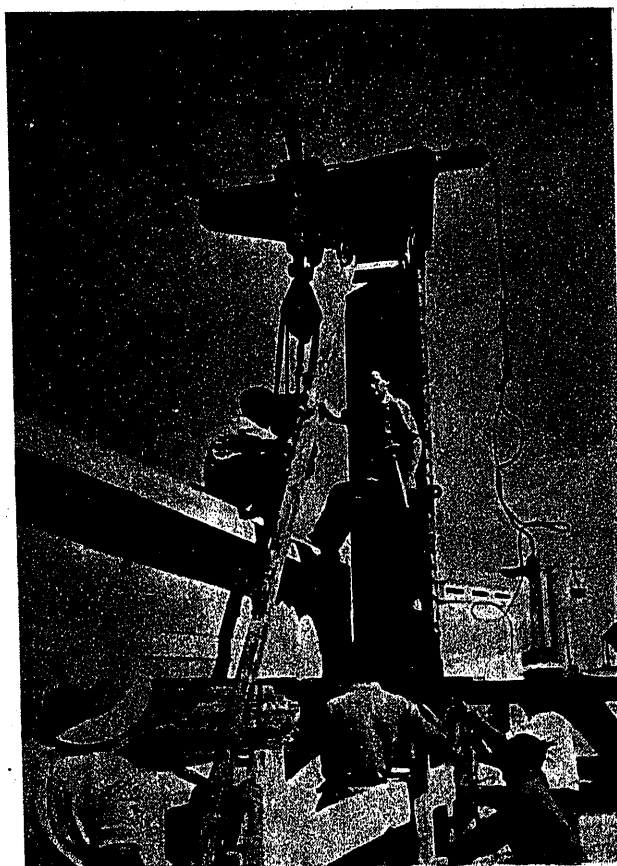


Foto núm. 5.

- Transporte de la viga, ya encima del puente-grúa, hasta su emplazamiento definitivo.

Las operaciones a) y e) estaban perfectamente definidas en cuanto al medio de ejecutarse.

La dificultad estaba en las señaladas con b), c) y d).

Se estudiaron con detalle diversas soluciones. Venía a complicar más, que con los voladizos extremos de las vigas resultaba un saliente por fuera de la cara extrema del pilar, de 0,80 metros.

Se escogieron dos soluciones en principio: la adoptada, pescantes por dentro de la estructura, abatibles para dejar paso a la viga, y otra, puntales fijos por la parte exterior, pero con forma especial para dejar paso, con lo que los esfuerzos de torsión en ellos eran importantes.

A continuación concretamos los detalles que permitan darse cuenta cabal del conjunto de la operación:

- Como durante la fabricación, ya descrito.
- Elevación mediante cabrestantes y pescantes.

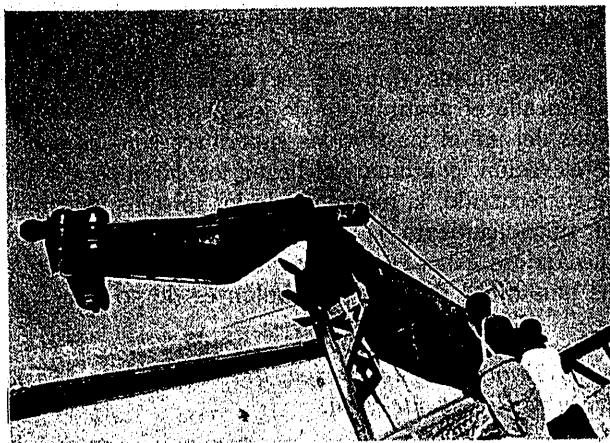


Foto núm. 6.

Elementos empleados.

I. CABRESTANTES, POLIPASTOS Y POLEAS DE DIRECCIÓN.

Se han utilizado dos cabrestantes de 2 Tn., corrientes, a los que se bloqueó el embrague de tipo cónico, inmovilizando la palanca de maniobra e introduciendo unos pernos con bridas entre ambos acoplamientos.

Se les acoplaron unos motores-reductores monoblock de 9 CV., 61 r. p. m., 220 amperios, trifásico, de tipo de inducción asíncrono, utilizando el mismo sistema de poleas y correas trapezoidales originales de los tornos.

Como mando eléctrico, un interruptor general y un inversor.

Cada polipasto está formado por seis tiros de cable o sea, que la carga por cable era, aproximadamente, $\frac{10 \text{ Tn.}}{6} = 1,66 \text{ Tn.}$

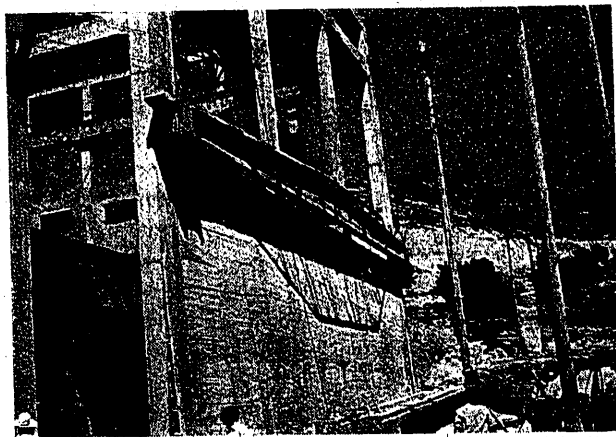


Foto núm. 8.

Con un 10 por 100 por rozamiento, rigidez cables, etc., la tracción efectiva era de $1,10 \times 1,660 = 1,834 \text{ Kg.}$

Los cables empleados han sido de $\phi 13,5$ y $6 \times 91 \times 1$, núm. 4, con acero de 140 Kg./mm.^2 .

La resistencia total del cable a la rotura es de 9 600 Kg., siendo, por lo tanto, el coeficiente de seguridad de 5,2, suficiente para una instalación provisional.

La velocidad de elevación, teniendo en cuenta los elementos que intervienen, era de 0,42 m./minuto.

Siendo 21 m. la altura, el tiempo de elevación resultaba de unos 50 minutos.

Se ha proyectado poleas direccionales eclipsables en un pequeño foso (para permitir el corrimiento de las vigas), con la separación suficiente para que el cable no interfiera con la viga en la última fase de ascenso, y mínima para no originar tracciones de importancia sobre los carritos de deslizamiento de los pescantes de elevación, al producirse la operación c).

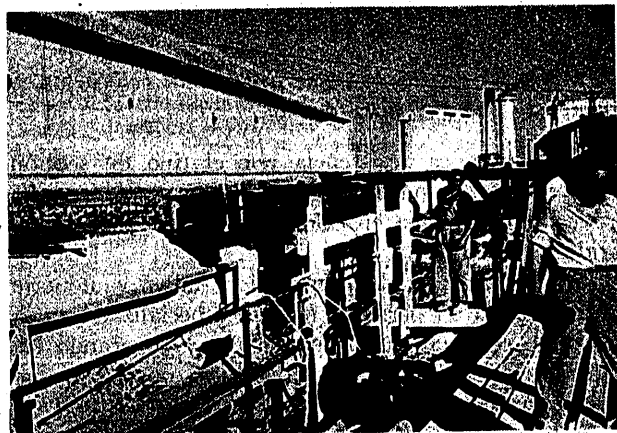


Foto núm. 7.

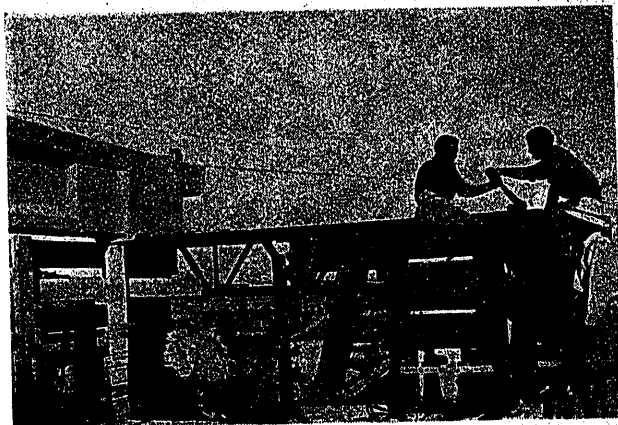


Foto núm. 9.

2. PESCANTE DE ELEVACIÓN.

Están contruados por un puntal vertical (de sección formada por un alma de 500×10 , cuatro angulares de $80 \times 80 \times 10$ y dos platabandas de 200×10 , una a cada parte), cuyo tramo inferior se sujeta a la estructura de hormigón con unos pernos y el superior es abatible, unidos entre sí por un sistema de bisagra.

En el extremo superior se han proyectado unas ménsulas, sobre las que desliza un carrito de rodillos, para efectuar la traslación de la viga hasta apoyarla encima del piñón.

Estas ménsulas están articuladas, para poderse quedar en la posición de prolongación del puntal, cuando se abate, con objeto de no tropezar con la viga recién apoyada en el piñón.

El extremo superior del puntal queda fijo mediante un tornapuntas que se trinca con unos tornillos, sobre el dispositivo de guía del mismo tornapuntas, cuando mediante poleas y cabrestantes a mano se efectúa el abatimiento y elevación posterior del pescante.

Cada puntal está sometido al peso de media viga, la tracción del cable y el peso de trócolas, media cerca de arriostramientos, etc., $\pm 12\,400$ Kg.

El coeficiente de trabajo, teniendo en cuenta también el pandeo, es de 885 Kg./m.^2 .

Articulación:

El bulón posterior sometido a tracción es de 70 milímetros de diámetro y el anterior de 100 mm., y las chapas, de 14 mm. de espesor.

c) Traslación de la viga hasta apoyarla en el piñón.

Para el desplazamiento de la viga, todavía suspendida de los pescantes, se utilizan dos quinales de palanca y cadena Galle, de 1 500 Kg., con doble tiro

para duplicar el esfuerzo, ya que el que se produce es $F = \mu \times 12\,400 = 0,15 \times 12\,400 = 1\,860 \text{ Kg.}$

Estos mismos quinales se utilizan para una vez comenzado el abatimiento de los pescantes y suspensiones del piñón las trócolas superiores con los cables de elevación, continuar, al llegar los carrillos al final de su recorrido, la maniobra de los mismos, entrando en funcionamiento la articulación de la ménsula y quedándose éstas en la dirección de la parte abatida del puntal. El diámetro del bulón es de 50 mm.

d) Transporte de la viga, durante 3,60 m., hasta el centro del puente-grúa.

A fin de no cargar sobre las vigas de arriostramiento y permitir el deslizamiento, se construyeron unas vigas metálicas con una  en su cabeza, donde se desliza un taco de madera dura, mediante sebo, sobre la que apoya la viga precomprimida. Estas vigas metálicas se apoyaban en los dos primeros pilares de la estructura.

El coeficiente de rozamiento es de 0,15, lo que nos da un esfuerzo de 1 500 Kg., que también se hace con los quinales reseñados anteriormente.

e) Transporte al emplazamiento definitivo mediante el puente-grúa de servicio de la nave.

En el puente-grúa se montaron unos apoyos de madera, con unos gatos de botella, de los empleados para levantar locomotoras, con los cuales se movieron las vigas precomprimidas.

Al puente-grúa se le ha puesto un motor de 9 HP., de tipo análogo a los cabrestantes, y con 101 r. p. m.

La velocidad de traslación es del orden de 8 metros por minuto.

Durante el transporte se apuntalaba la viga, para evitar su vuelco.

Una vez en su emplazamiento definitivo, mediante los gatos de botella, se deja la viga.

f) Refuerzo de la viga durante la elevación y transporte hasta el puente-grúa.

Dada la poca resistencia por el tipo de sección transversal al pandeo, para mayor seguridad se ha proyectado una viga en celosía que le proporciona la rigidez necesaria.

En los trabajos de preparación, taller y montaje ha intervenido el personal técnico especializado en la Sociedad, rivalizando en entusiasmo y superando las dificultades de puesta a punto en una operación que no es corriente.

A todos ellos se debe la feliz realización de este trabajo.



Foto núm. 10.