

PUENTE DE FONTEJAU SOBRE EL RIO TER EN GERONA: UNA NUEVA TIPOLOGIA DE PUENTES CONTINUOS CON POSTESADO EXTERIOR**

José Antonio Fernández Ordóñez
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Julio Martínez Calzón
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Francisco Millanes Mato*
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
José García-Miguel Morales*
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

1.- El nuevo acceso norte a Girona

El proyecto del nuevo acceso a Girona desde el P.K. 727 de la N-II de Madrid a Francia por La Junquera, por la Demarcación de Carreteras del Estado en Cataluña, con una longitud total de 2600 metros, incluye dos pequeños pasos sobre el río Güell, así como un nuevo gran puente sobre el río Ter que, por su singularidad, merece especial atención.

La naturaleza urbana del trazado ha obligado al retranqueo y modificación de gran número de servicios afectados; esta misma característica urbana de la obra ha llevado a tomar varias medidas correctoras medio ambientales, con especial

*Ideam S.A.

** Recibido en ROP: Mayo de 1993

atención al impacto en el entorno urbano, procurando grandes cualidades estéticas de acabados y cuidando los elementos paisajísticos tales como plantaciones de árboles, hidrosiembra de taludes y reforestaciones en las cuatro glorietas existentes en la obra.

El proyecto se incluye dentro del Programa de Actuaciones en Medio Urbano del Plan General de Carreteras.

2.- El nuevo Puente sobre el río Ter

Las reflexiones expuestas enmarcan el planteamiento previo al proyecto del nuevo puente. Pero existen, asimismo, nuevos elementos a considerar. Desde tiempos romanos, la historia de Girona y la de su río Ter se han escrito a través del re-



Figura 1. Vista general

cuerto de una continua lucha contra la violencia de las aguas. A pesar de su estratégica situación, en la confluencia de los ríos Oñar, Ter, Güell y el pequeño Galliganes, en una de las zonas más prósperas y recorridas de España a lo largo de los tiempos, no han quedado testimonios de los innumerables puentes que en su día se construyeron, símbolos de la lucha secular de esta ciudad "martirizada por el agua y los asedios".

El paso por Girona de la famosa "Vía Augusta", heredera de la "Vía Herculea", en tiempos romanos, no dejó resto alguno del puente que cruzaba el río Ter, en las cercanías de la ciudad, probablemente donde hoy se levanta el Puente Mayor. Según F. Casado, tenía nueve arcos de medio punto con arquillos de aligeramiento sobre pilas.

Desde 1367 hasta nuestros días la ciudad catalana ha sufrido más de 50 inundaciones graves que han acabado, de forma sucesiva, con no menos de 6 puentes: puente de S. Francisco sobre el

río Oñar, puente de S. Jaime sobre el río Ter, puente entre la plaza de S. Agustín y la calle Argenteria, etc., algunos de ellos hundidos antes de terminarse su construcción.

Al contrario de lo que sucedió en otras ciudades de próspera historia, en Girona no ha quedado ningún puente paradigmático, testimonio de su pasado.

Por otra parte, es una afortunada coincidencia que este nuevo puente se vaya a construir a través del Parque de la Dehesa, el gran parque de Girona, cuya construcción se comenzó justamente en aquellos tiempos de la Ilustración, hace dos siglos cuando se empezó en nuestro país a tomar conciencia de la importancia económica y cultural de las Obras Públicas.

Todas estas consideraciones condujeron al planteamiento del proyecto y construcción del nuevo Puente sobre el río Ter como testimonio histórico de los puentes que en su día se levanta-

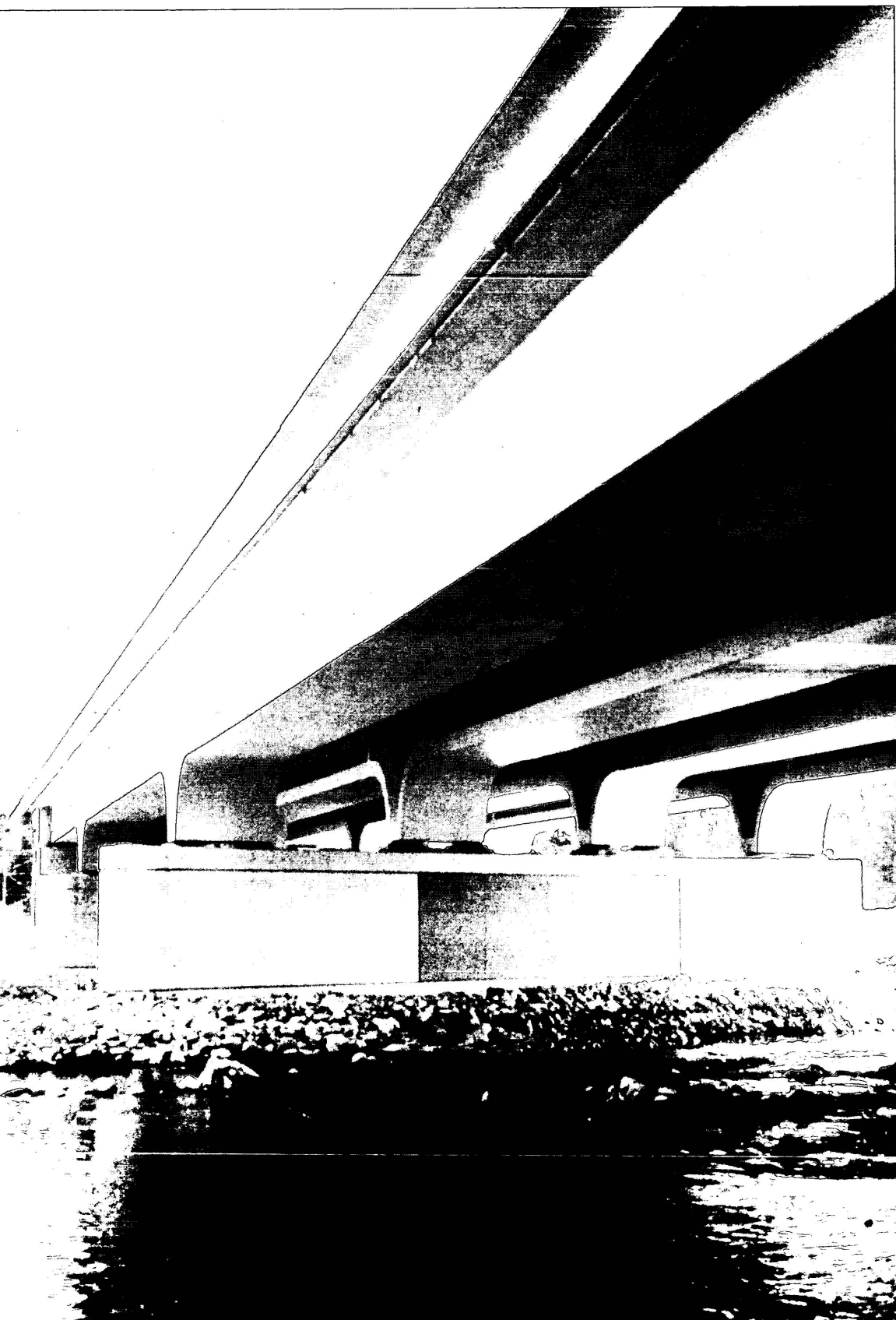


Figura 2. Vista general

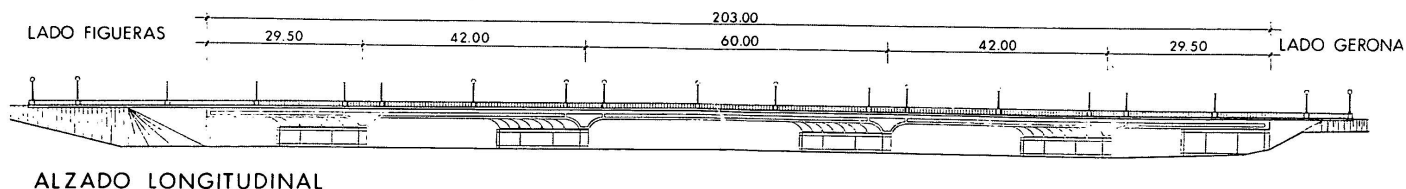


Figura 3. Alzado

ron y cayeron y, a la vez, símbolo de la próspera y moderna Girona de nuestros días.

Alejado de cualquier costoso alarde poco justificado, el nuevo puente de Fontejau, tratándose de una solución formal y tipológicamente clásica de dintel continuo, moderada en sus luces y planteamientos, presenta una serie de innovaciones tecnológicas y conceptuales de interés que pueden abrir un ámbito nuevo de gran futuro en el campo de las luces medias.

Conceptualmente, el diseño del nuevo puente presenta una serie de características que le confieren una cierta singularidad.

1) Un carácter netamente horizontal. Esta horizontalidad no sólo se manifiesta en su rasante sino en el espíritu de su estructura. En efecto, en vez de recurrir al tradicional canto variable de los puentes de viga continua de hormigón pretensado, en nuestro puente el cambio de canto se materializa en unas piezas cortas y nítidas sobre los apoyos, con fronteras y límites definidos, de forma que el resto del tablero queda completamente horizontal, acentuándose aun más esta impresión con leves rehundidos de los alzados de las vigas que forman unos marcos cerrados, y con los dos colores diferentes con que se rematan los 2 planos de superficies resultantes en los alzados.

2) Una técnica de pretensado con cables exteriores al hormigón, alojados en el interior de los cajones. Esta es una de las primeras utilizaciones en España de la técnica del postesado exterior. En este caso combinada con una utilización de

las técnicas más avanzadas de prefabricación, con el empleo de grandes piezas de gran oblicuidad hasta formar, por medio de juntas húmedas una superestructura de tablero continuo de hormigón pretensado de 204 m. de longitud total.

3) Una intención claramente urbana en el diseño del puente, lo que significa unos acabados no estructurales de gran calidad y de gran importancia estética por constituir precisamente aquellos elementos que no sólo están más a la vista, sino más en contacto con los ciudadanos. Por ejemplo, unas piezas de imposta de gran potencia, en sección y longitud, que rematan los alzados; unas balaustradas de aspecto clásico con una albardillas de gran sección; y unas farolas de hormigón pretensado especialmente diseñadas por el gran artista levantino Eusebio Sempere - recientemente desaparecido - que sin duda constituyen uno de los elementos de más originalidad y belleza del nuevo puente.

4) Una gran importancia concedida al color, huyendo del gris-hormigón vulgar y aburrido, de la mayoría de los puentes. Se ha decidido la utilización final de 2 colores para la pintura de las superficies vistas del puente. Un color gris perla y otro en tono siena-rojizo, semejante a los clásicos de las fachadas de las casas que se asoman al río Oñar, colores típicamente gerundenses. Para ello, se utilizan como límite o frontera entre colores los rehundidos y berenjenos con que se forman los marcos superficiales de los alzados de vigas y pilas, aplicándose los colores una vez terminada la construcción del puente.

3.- Descripción de la Estructura

Es un puente continuo de 22 m. de ancho y 204 m. de longitud total y planta esviada, formado por 5 vanos con luces 30, 42, 60, 42 y 30 m.

La plataforma presenta un fuerte esviaje de 53.5° , constante en todos los ejes de apoyo de pi-

las y estribos, con objeto de reducir al máximo las interferencias al cauce del río Ter.

La sección transversal se distribuye en 2 carriles de 3.5 m., unos arcenes laterales e inferiores de 1 m. para cada sentido, dos arcenes de 2.25 m. y una mediana central de 1 m.

El tablero se resuelve mediante 4 nervios cajón de 2.05 m. de canto, salvo en las proximidades de las pilas donde alcanza 3.85 m.

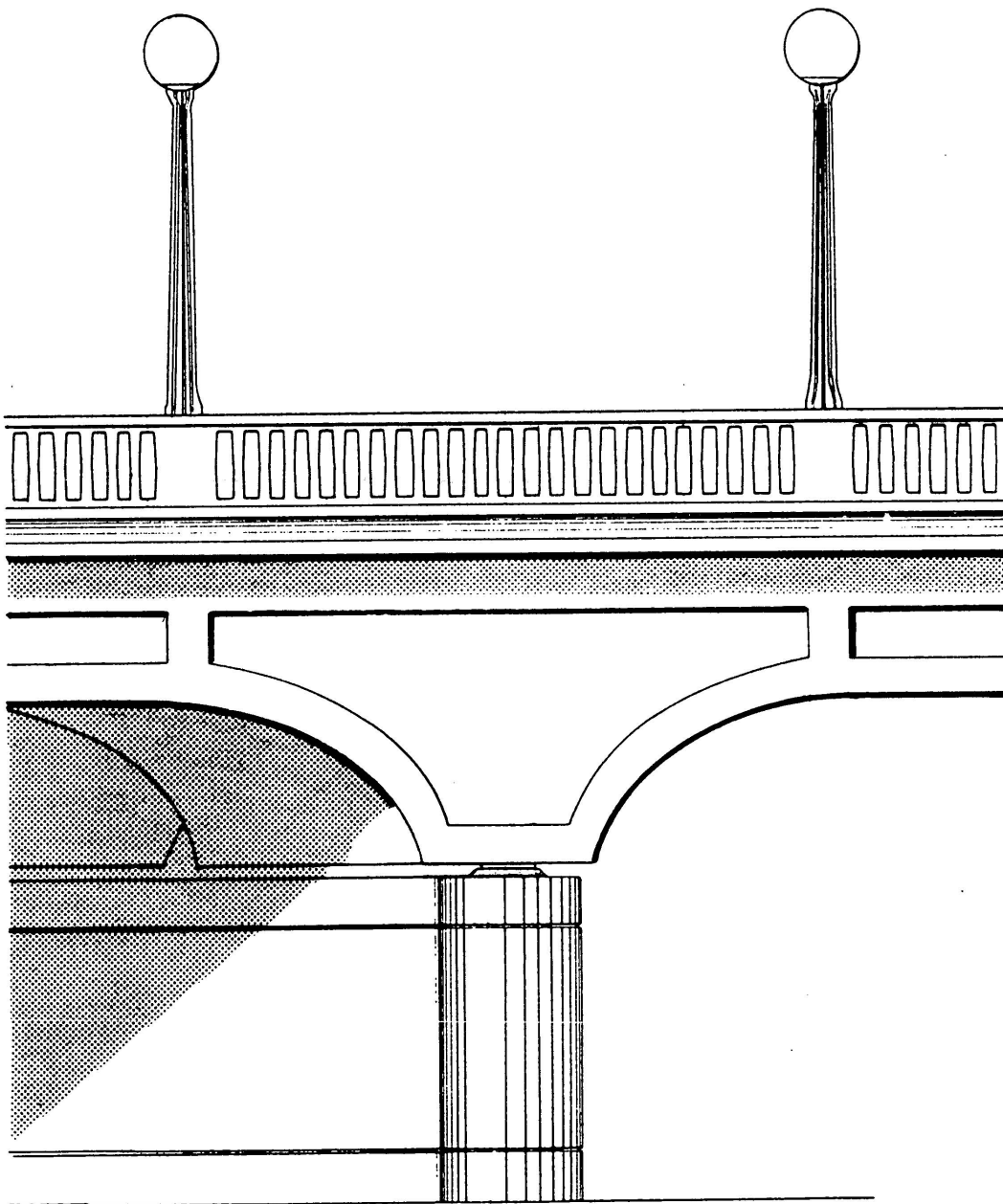


Figura 4. Detalle de esviaje en pila

Figura 5. Sección transversal

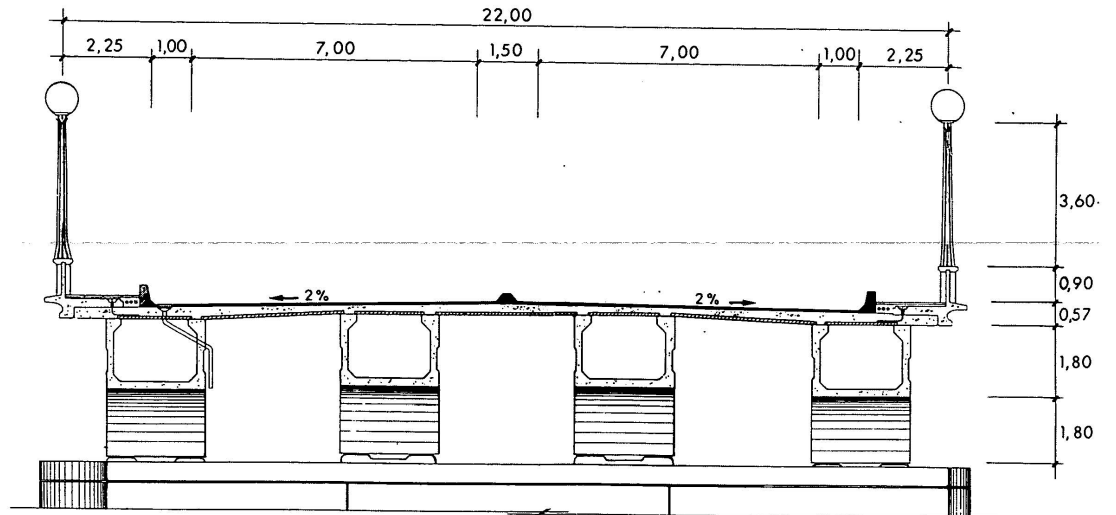
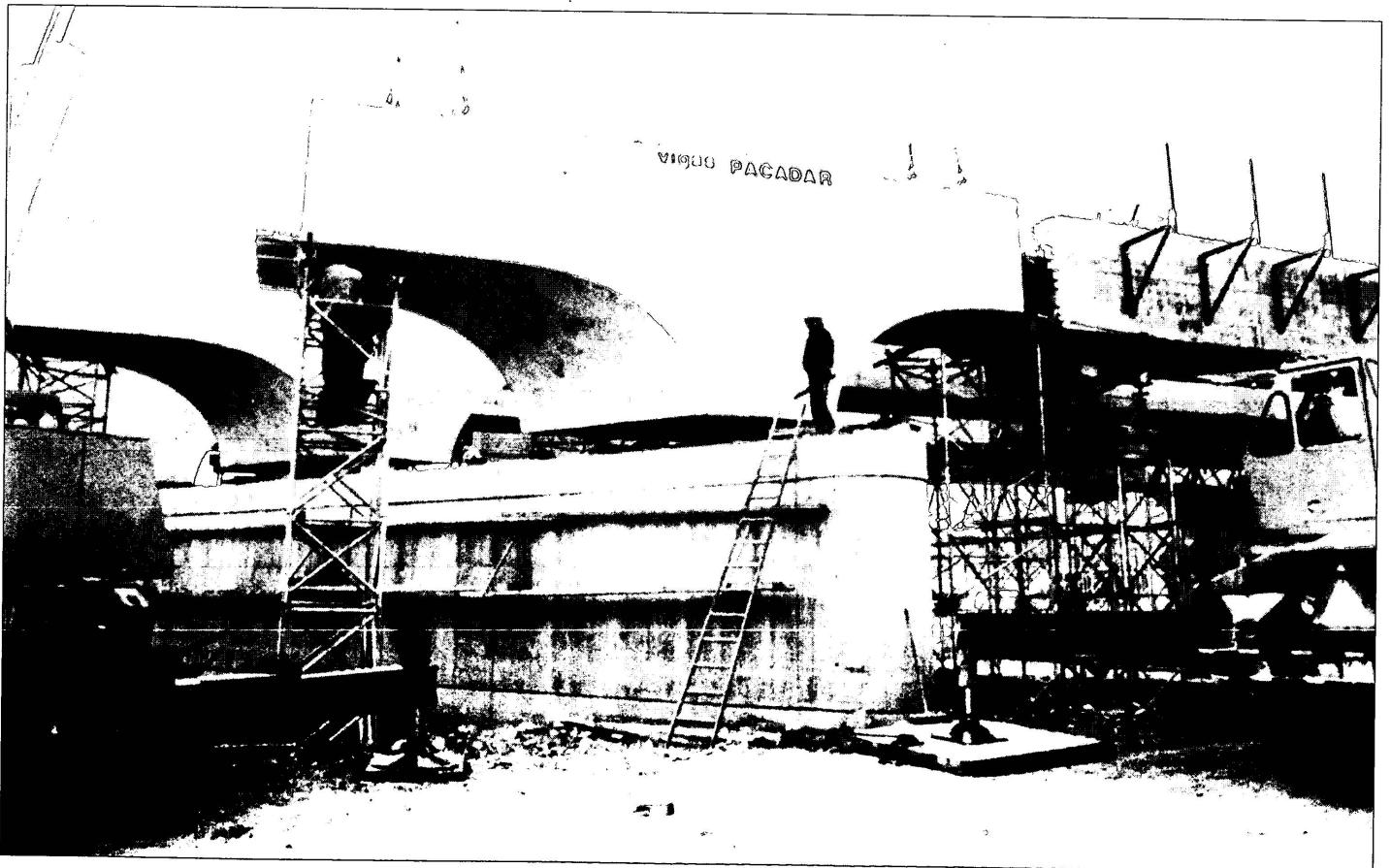


Figura 6. Pieza gaviota



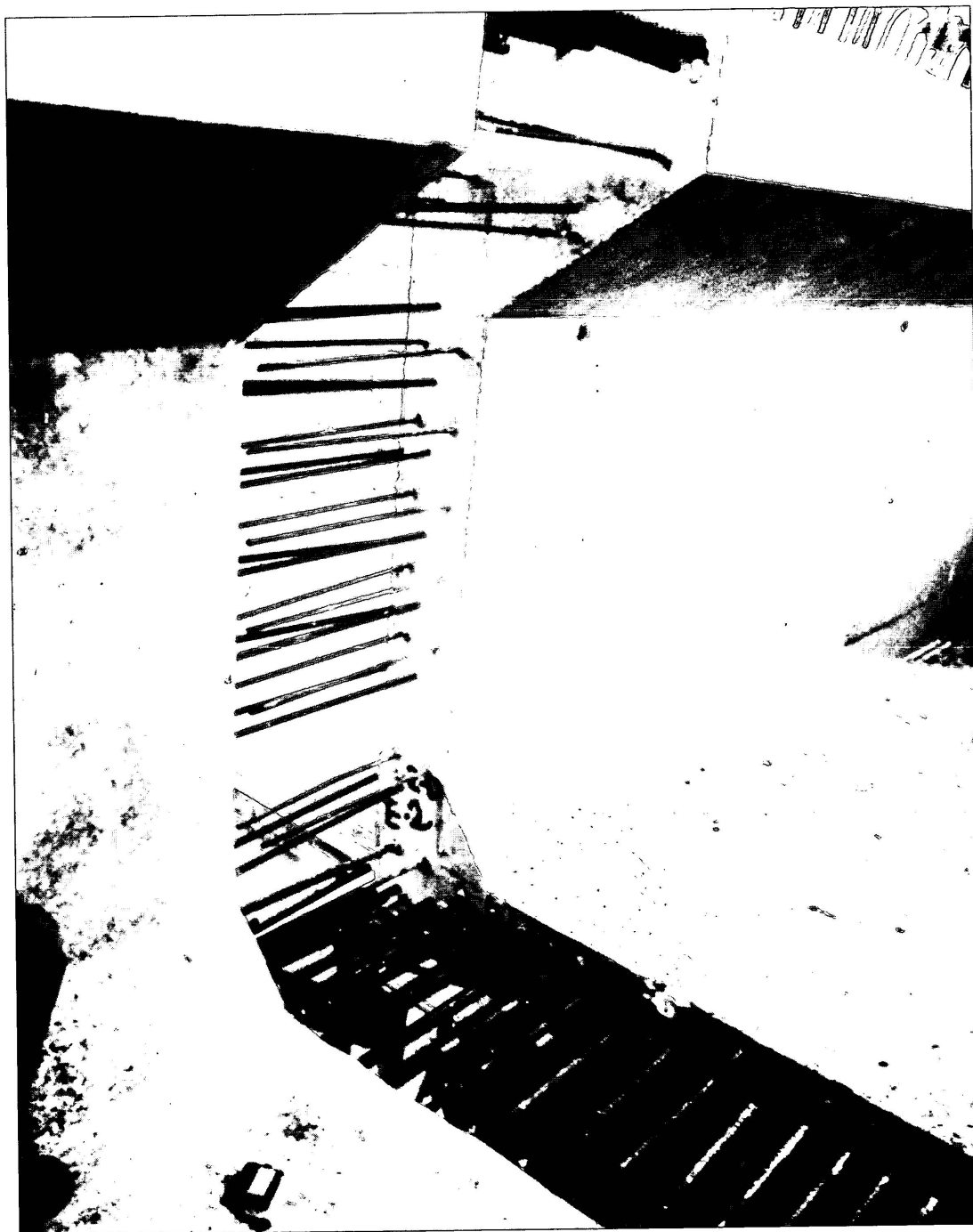


Figura 7. Junta húmeda mediante grout

Los cajones se forman a partir de las dovelas prefabricadas en sección abierta en U de hormigón armado sobre las que se vierte una losa de hormigón "in situ" de 0.25 m. de canto que completa la sección. Las dovelas van unidas mediante juntas húmedas con armaduras pasantes y posteadas por cables exteriores alojados en el interior de los cajones.

Las pilas son corridas, con tajamares curvos y cimentados sobre pilotes. Los estribos, también corridos y sobre pilotes, tienen prevista una cámara interior para revisión y tesado de los cables de postesado.

El despiece y dimensiones de las piezas prefabricadas de hormigón armado es:

Figura 8. Colocación gaviota sobre apoyo

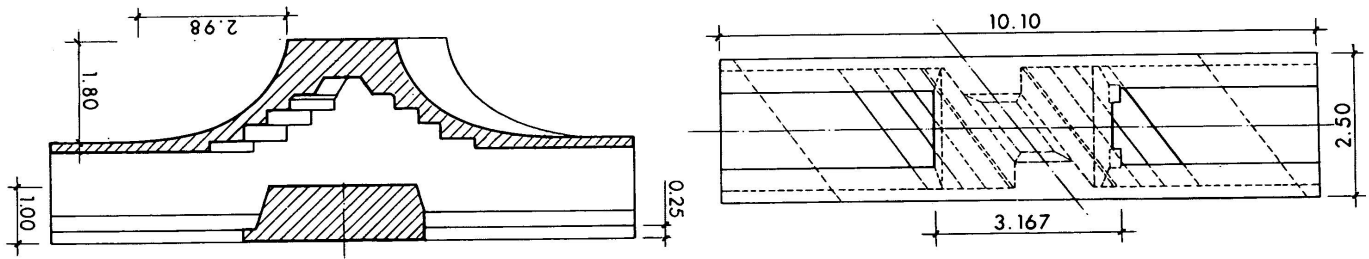


■ 2 x 4 dovelas en U de 24.45 m. de longitud 1.80 m. de altura y 82.5 t. de peso en el vano de 30 m.

■ 2 x 4 dovelas en gaviota de 10.10 m. de longitud, 3.60 m. de altura máxima y de 60.5 t. de peso, colocadas en los vanos de 30 y 42 m.

■ 2 x 4 dovelas en U de 15.20 m. de longitud, 1.80 m. de altura y 48.5 t. de peso en el vano de 42 m. y próximos al vano de 30 m.

■ 2 x 4 dovelas en U de 15.20 m. de longitud, 1.80 m. de altura y 53.7 t. de peso en el mismo vano anterior y próximas al vano de 60 m.



■ 2 x 4 dovelas en gaviota de 10.10 m. de longitud, 3.60 m. de altura y 73.60 t. de peso los vanos de 42 y 60 m.

■ 2 x 2 x 4 dovelas en U de 24.70 m. de longitud, 1.80 m. de altura y 85.80 t. de peso en vano de 60 m.

Estas piezas van unidas mediante juntas húmedas de 50 cm. de longitud, que se hormigonan

“in situ” con mortero tipo grout de 450 kg/cm² y retracción nula, se sitúan a partir de 5.05 m. a ambos lados de las pilas y en el eje de los vanos de 42 m. y 60 m., disponiéndose perpendiculares a la viga.

El mortero presenta una adherencia suficiente, 100 kg/cm², para lograr la correcta transmisión de esfuerzos, dando continuidad a las armaduras longitudinales en los 50 cm. de junta, colocándo-

Figura 9. Semisección y planta de gaviota

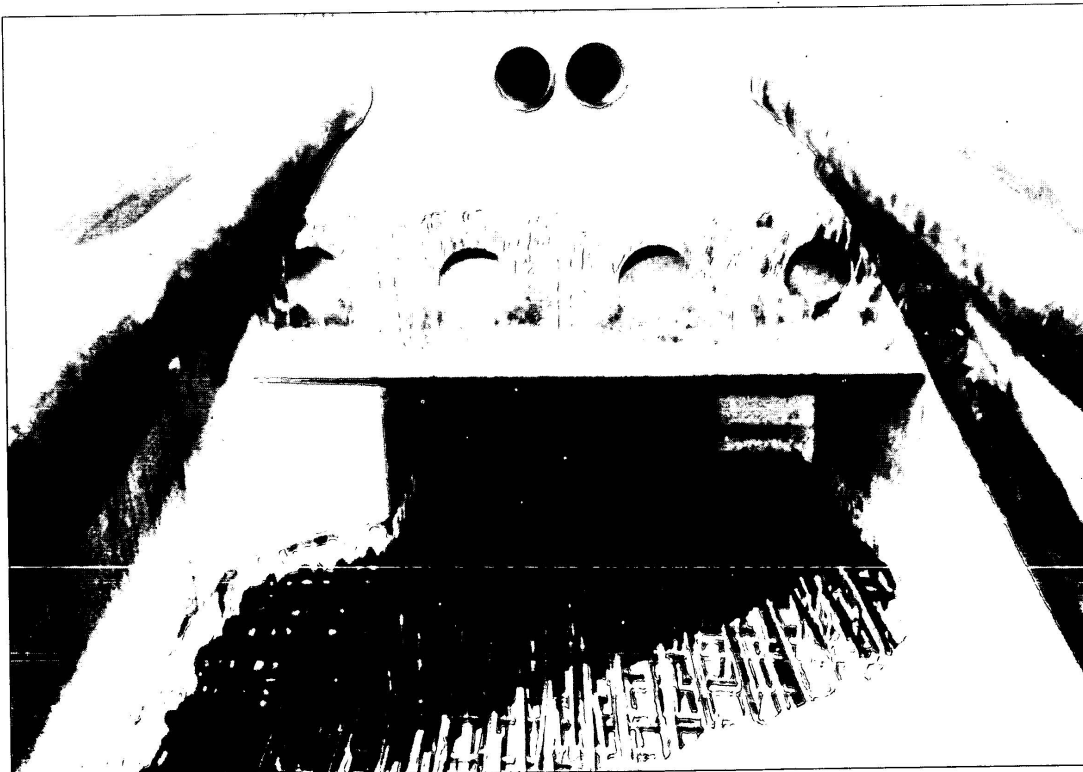


Figura 10. Ferrallado en segunda fase de fondos de gaviota

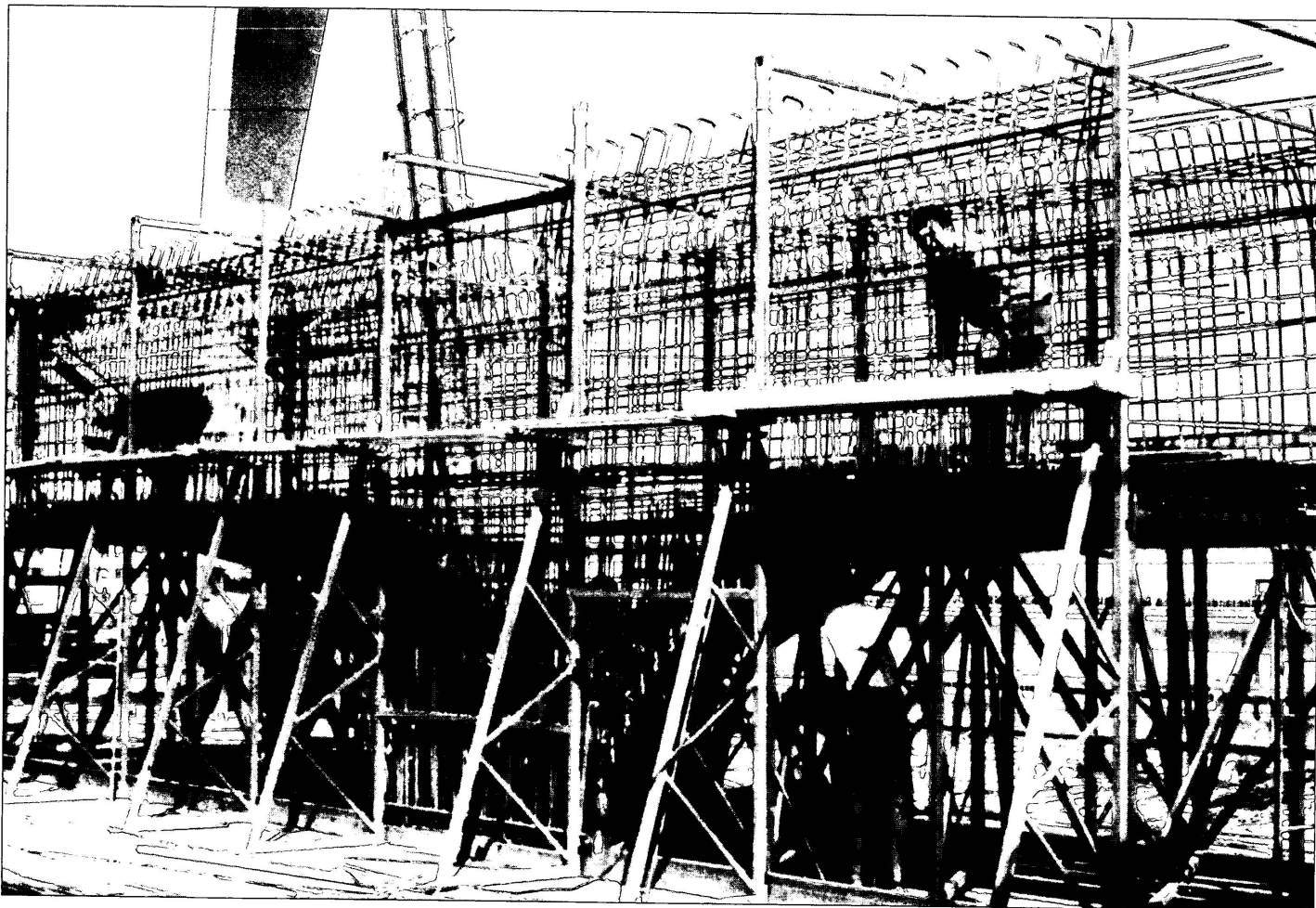


Figura 11. Ferrallado de la gaviota en taller

se en obra los cercos y armaduras transversales correspondientes.

Las piezas en gaviota absorben completamente el efecto de la oblicuidad sobre pilas de manera que las juntas, con las dovelas que materializan las zonas de centro de vano, se proyectan rectas y normales a directriz, lógicamente decaladas en planta para los 4 cajones a causa del esviaje. Se concentran así los problemas de la oblicuidad de las dovelas de la zona de apoyos de pila, simplificándose sensiblemente las transmisiones de esfuerzos: axiles, flectores, cortantes y torsores, a través de las juntas húmedas, así como los procesos de fabricación, montaje y replanteo de cables del resto de las piezas.

El tamaño de las gaviotas, junto con la presencia de grandes volúmenes de hormigón debidos a los mamparos y desviadores de cables de la zona de los apoyos, aconsejó aligerar la zona del fondo de cajones, donde se produce el rápido incremen-

to de canto. Para ello se planteó una reducción mediante escalones que creaban un recinto hueco para su hormigonado en 2ª fase, una vez colocada la pieza en obra. La confluencia de la fuerte oblicuidad y la rápida variación de canto planteó condicionantes geométricos que impidieron orientar las juntas de escalones en sentido normal a la directriz, tal y como aconsejaban las razones de tipo estructural.

Así pues fue necesario realizar un cuidadoso análisis para justificar el dimensionamiento de las armaduras en espera que debían dejarse en los escalones, con objeto de garantizar el adecuado cosido de los planos oblicuos de discontinuidad.

Dichas armaduras debían garantizar la compleja transmisión del siguiente conjunto de esfuerzos:

- compresiones de la tabla interior del cajón bajo flexiones negativas;

- flujo de torsiones del cajón debido a oblicuidad y cargas excéntricas;

- fuerzas de desvío debidas a la fuerte curvatura de la tabla inferior.

- rasantes de unión alma - tabla inferior.

Las dovelas prefabricadas se proyectan únicamente armadas, la armadura pasiva se dimensiona para hacer frente por sí sola a las situaciones de transporte y montaje de las propias piezas y, en colaboración con las armaduras activas, a los controles de fisuración en servicio y de agotamiento bajo cargas mayoradas.

No se disponen cables inyectados en el interior de los cajones, lo que supondría un sobreespesor importante de las tablas de los elementos prefabricados con la consiguiente pérdida de uno de los mayores atractivos de las soluciones con

postesado exterior asociados a la prefabricación: la sensible reducción del peso propio de la estructura.

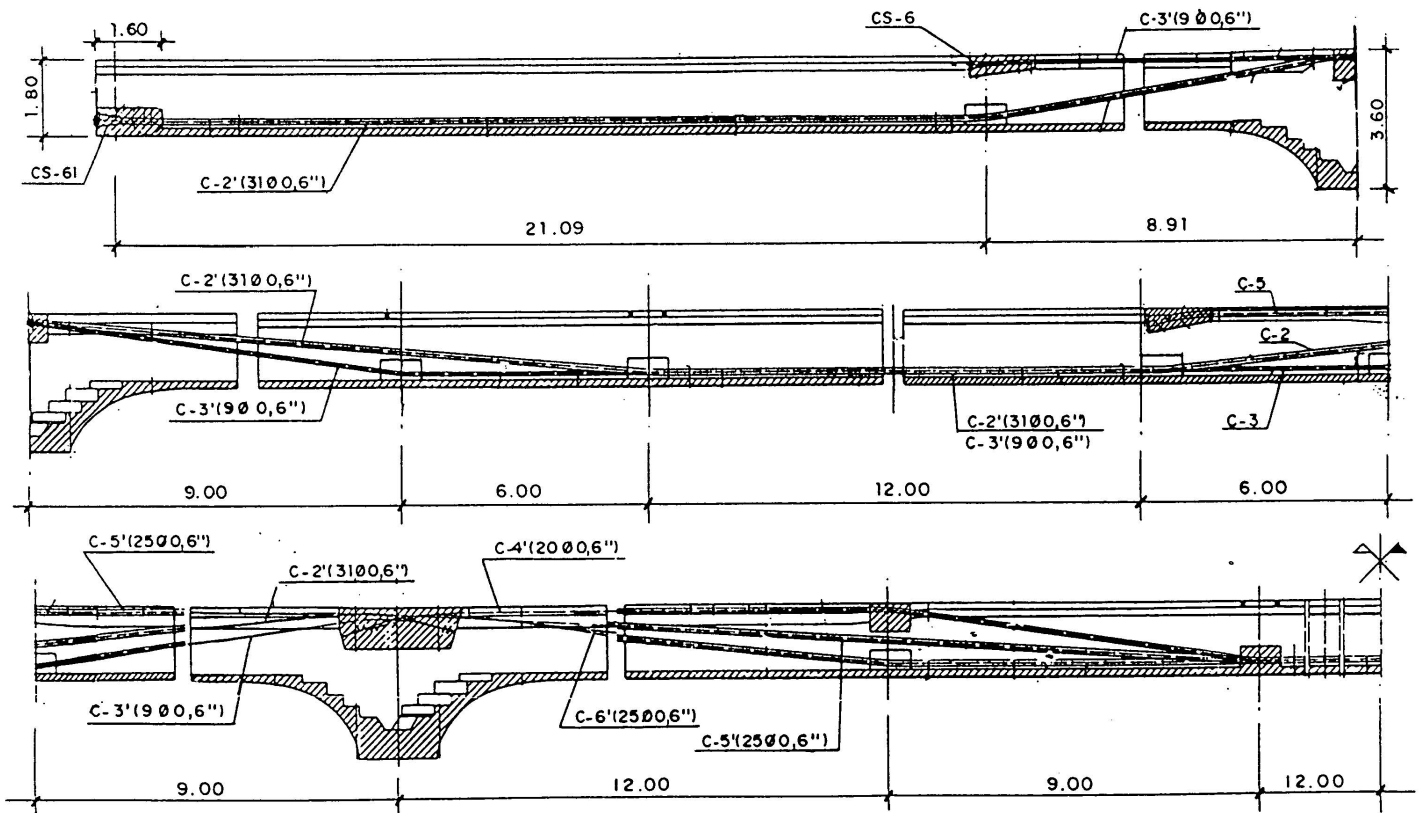
Así pues el tablero va posteado únicamente con cables exteriores de trazado poligonal, anclados sobre los mamparos de apoyo o en vigas traviesas próximas a los mismos y desviados en las zonas de apoyo aprovechando la existencia de zonas de anclaje o en el vano disponiendo los oportunos tacos de desvío adosados a la unión de almas-tabla inferior del cajón.

El postesado exterior consta de las siguientes familias por vano:

Vanos 1 y 2: 2 cables de $31 \varnothing 0,6''$ + 2 cables de $9 \varnothing 0,6''$

Vano 3: 2 cables de $20 \varnothing 0,6''$ + 2 x cables de $25 \varnothing 0,6''$

Figura 12. Trazado longitudinal de cables de postesado



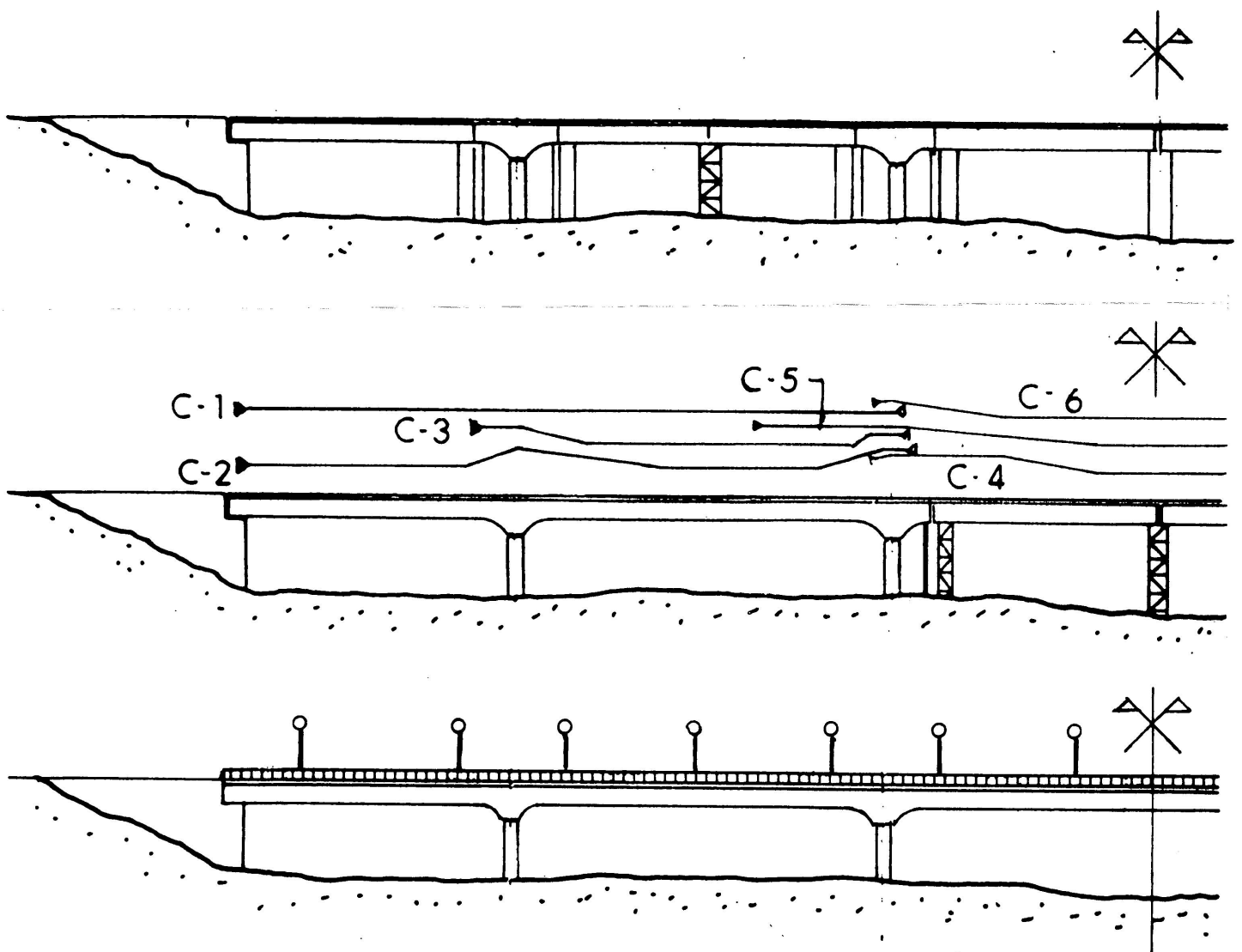


Figura 13. Proceso constructivo previsto en proyecto

Lo que supone unos niveles de compresión máxima en el momento del tesado de 1580 Tn. en vanos 1 y 2 y 2800 Tn en vano 3, con unas pérdidas aproximadas a tiempo infinito del 20%.

Como medida precautoria, siempre aconsejable en puentes de esta tipología, se previeron en proyecto culatas, elementos de anclaje y vainas, capaces de absorber un incremento del 10 % aproximadamente del número de torones proyectado. Esta reserva de seguridad cubría la posible incertidumbre suscitada por factores tales como: incremento de los coeficientes de rozamiento reales y roturas de torones en el elemento del tesado. Por otra parte, se había previsto en fase de proyecto realizar un cálculo evolutivo diferido paso a

paso con objeto de controlar y verificar los resultados de cálculo de proyecto una vez que se dispusiera de datos reales sobre pesos, módulos de deformación de los materiales, edades de fabricación y puesta en carga de las dóvelas, ritmos y secuencias definitivas del montaje, etc. El análisis, realizado con el programa DIFEV durante la Dirección de Obra, confirmó y mejoró ligeramente los niveles de tensiones estudiados en proyecto, no siendo preciso recurrir a un incremento de las fuerzas de tesado.

Los cables van alojados en vainas de polietileno de alta densidad, que posteriormente se inyectan con lechada de cemento. A su paso por los

tacos de desvío las vainas se alojan en tubos metálicos curvados, replanteados especialmente con sumo cuidado, ya que ligeros errores en las coordenadas de la poligonal pueden producir sensibles incrementos de las fuerzas de desvío, dimensionantes de las armaduras de cosido de los tacos. Los extremos de los tubos metálicos se redondearon con objeto de evitar contactos parásitos con los cables que podían crear concentraciones de esfuerzos elevados en los cables, en las esquinas de los tacos y demás elementos de desvío.

En todos los diafragmas y macizados del cajón se dejaron huecos de paso de hombre, de modo que el tablero entero puede ser recorrido e inspeccionado desde un extremo.

Dada la longitud del puente y los fuertes niveles de tesado que se aplican sobre sección abierta, la magnitud de los acortamientos elásticos y diferidos del tablero es muy importante. El punto fijo se dispone en la pila 2, una de las dos que enmarcan el tramo central. Los apoyos de los cajones son de neopreno en la pila 1, situada a 42 m. del punto fijo, y de neopreno teflón en los restantes. En fase de construcción existían dos vanos completos sobre neopreno-teflón y dado que el puente tenía pendiente longitudinal, en el estribo 2 se dispuso un tope provisional antideslizamiento, hasta el momento del tesado de cierre de juntas húmedas del vano central, cuando se materializa la continuidad estructural del conjunto del puente con el punto fijo de la pila 2.

Dada la magnitud de los acortamientos del tablero por efectos instantáneos y diferidos de pretensado y térmico, se previó el montaje con un cierto descentramiento de los apoyos de teflón, con un valor máximo de hasta 7.5 cm. en el estribo 2, en sentido contrario al punto fijo. De esta forma se absorbió la mitad de dicho acortamiento, buscando una posición de equilibrio frente a las situaciones extremas.

4.- Proceso constructivo

El proceso constructivo previsto en el proyecto se esquematiza en la figura adjunta, incluyendo 5 fases:

1ª fase: Comienzo de ejecución de estribos y pilotajes de pilas.

Ejecución de pilas. Cimentación y colocación de apeos provisionales.

a) Colocación de dovelas prefabricadas sobre apeos provisionales.

b) Hormigonado de juntas húmedas con mortero tipo grout.

c) Hormigonado de fondos de cajón de gavio-tas sobre pilas.

d) Hormigonado de la losa del tablero sobre la estructura prefabricada apeada.

2ª fase: Puesta en carga del postesado exterior sobre la sección total y consiguiente desapeo de la estructura.

3ª fase: Pavimentación, aceras, impostas, barandillas y acabados.

Este tipo de montaje permite resistir la práctica totalidad de los importantes esfuerzos de peso propio de la estructura, con la sección transversal completa; ésta, híbrida de elementos prefabricados abiertos y losa in situ materializando el cierre de la sección cajón, posee unas elevadas características inerciales y resistentes. El montaje, por tanto, se concebía de forma convencional, permitiendo una óptima respuesta estructural y trasladando al proceso constructivo los costes de apeos necesarios para ayudar al tablero en las fases intermedias del montaje.

Durante la Dirección de Obra se planteó el interés de estudiar una modificación del proceso constructivo con objeto de reducir a lo estrictamente necesario el número y tiempo de apeo provisional de la estructura sobre el cauce del río Ter, ya que preocupaba evitar el riesgo de crecidas repentinas durante el tiempo de montaje de los elementos prefabricados y el hormigonado de las losas in situ, que unido a las condiciones de socavación del cauce, suponían un riesgo para las condiciones de apeo de la estructura. De hecho, las crecidas acaecidas durante la ejecución de la obra confirmaron el buen criterio de las precauciones adoptadas.

Por todo ello se planteó un montaje por fases, muy estudiado y altamente evolutivo, siguiendo una secuencia que permitía independizarlo al máximo de las condiciones del cauce.

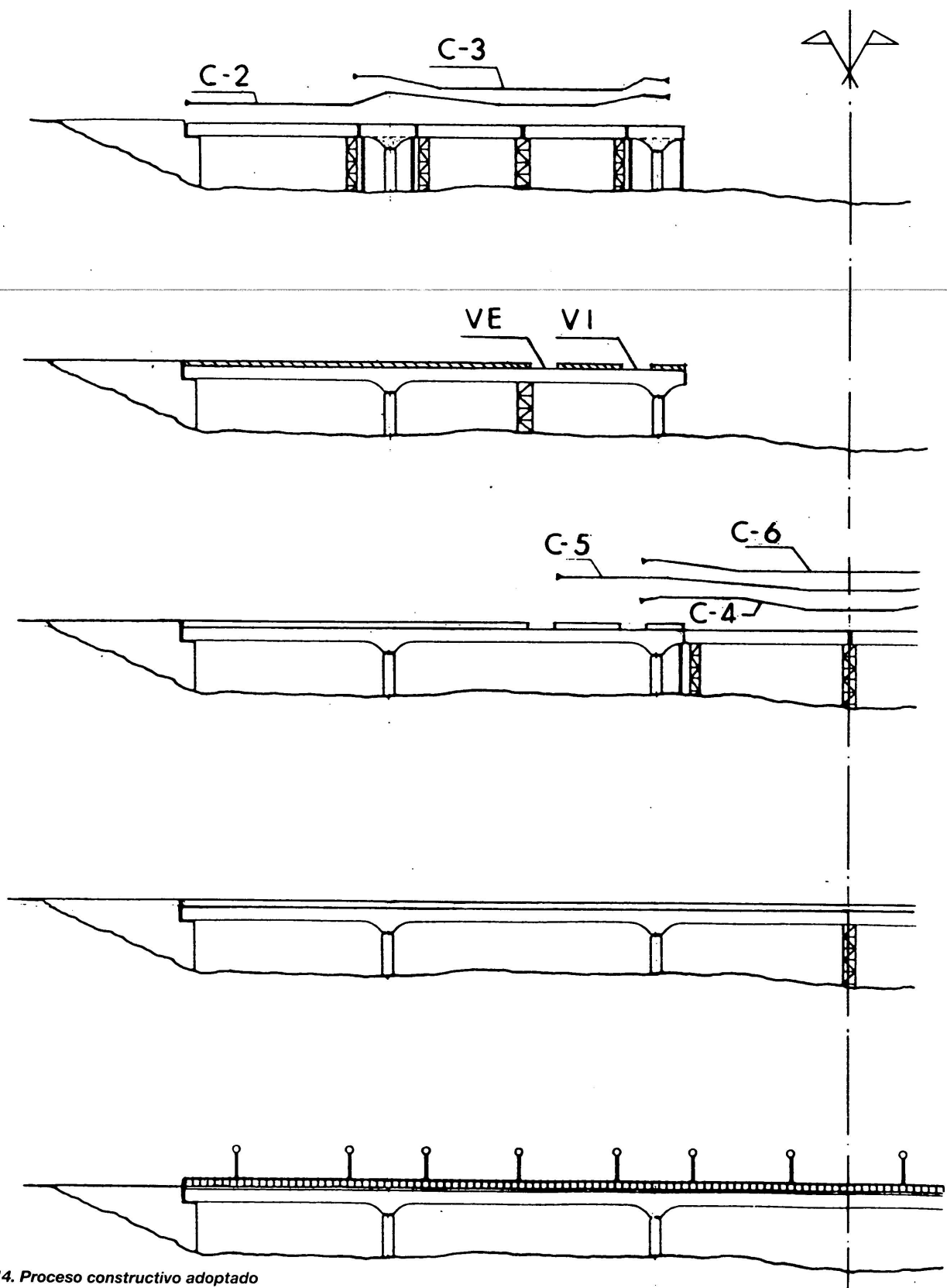


Figura 14. Proceso constructivo adoptado

Mediante una técnica muy desarrollada en el campo de la estructura mixta, que se reveló muy apta para su extensión al ámbito del prefabricado de hormigón, con elementos autoportantes ligeros pero, a su vez, de alta capacidad resistente, se planteó la aplicación del postensado exterior sobre las piezas prefabricadas armadas de sección abierta, antes del hormigonado de la losa superior. De esta forma se conseguía una semiestructura resistente, análoga a la sección metálica de la estructura mixta, ligera y, por tanto, con moderadas exigencias de apeo, pero capaz de resistir por sí sola las cargas del peso propio de la losa, antes de que ésta, una vez endurecida, conformase la sección total cerrada y fuera resistente frente a cargas muertas y a la totalidad de sobrecargas.

En zonas de apoyos, la losa no quedaba presionada a tiempo cero, dimensionándose como losa armada según criterios ya conocidos en el campo de las estructuras mixtas, ya que las condiciones del pretensado quedaban limitadas a la semisección prefabricada. Con el tiempo, la propia fluencia del hormigón acabaría pretensando la losa por transferencia diferida de compresiones desde el elemento prefabricado, obteniéndose, paradójicamente, una mejora de las condiciones resistentes en la zona de apoyos a tiempo infinito.

La variante construida que se acaba de describir demuestra las enormes posibilidades y versatilidad de la técnica del postesado exterior asociada a la prefabricación de elementos ligeros de dimensiones importantes. En este caso permitió realizar un montaje más adecuado a las condiciones del cauce a cambio de una mayor sollicitación de los elementos prefabricados, lo que permite aprovechar al máximo el uso de hormigones de elevadas resistencias y los cuidadosos procedimientos de ejecución de este tipo de piezas.

La técnica de postesar las secciones abiertas y permitir condiciones de tracción en la losa in situ armada sobre apoyos, puesta ya a punto en el puente sobre el antiguo cauce del Turia en Valencia, proyectado por el mismo equipo, permite una cierta reducción de los niveles de pretensado y facilita, al mismo tiempo, las operaciones de puesta en tensión del mismo.

Lógicamente, el marcado carácter evolutivo del proceso constructivo finalmente adoptado, exigió un complejo y preciso análisis del variado proceso de redistribuciones de esfuerzos que tie-

ne lugar entre los diferentes hormigones de la sección y entre las diferentes zonas de la estructura.

Se resumen seguidamente las diferentes fases de montaje de la estructura:

1ª Fase:

Ejecución de estribos, pilotaje de pilas y cimentación de apeos.

Ejecución de pilas y colocación de apeos.

Colocación de piezas prefabricadas sobre apoyos.

Hormigonado de juntas húmedas.

Rellenos de piezas gaviota.

Colocación de cables de postesado de vanos 1 y 2 y tesado parcial (C2, C3)

2ª Fase:

Eliminación apeos fin gaviota.

Postesado cables a valor total.

Hormigonado de losa dejando ventanas para tesado de cableados vano central.

3ª Fase:

Eliminación de apeos centrales.

Colocación de piezas prefabricadas.

Hormigonado de juntas húmedas.

Colocación cables postesado y tesado parcial (C4 y C6).

4ª Fase:

Eliminación apeos fin gaviotas.

Postesado hasta valor final de los postesados C4, C6 y C5.

Hormigonado de losa de compresión.

5ª Fase:

Eliminación apeo vano central.

Colocación de carga muerta: acera, imposta, barandilla, etc.

5.- Conclusiones

El nuevo Puente de Fontejau sobre el río Ter en Gerona, tratándose de una solución clásica en su tipología de dintel continuo, y moderada en sus luces y planteamientos, presenta una serie de innovaciones conceptuales y tecnológicas de interés, que permiten abrir un ámbito nuevo de gran futuro en el campo de las luces medias, mediante el uso conjunto de la prefabricación y el postesado exterior.

En este sentido hay que destacar como aspectos más significativos la prefabricación en ta-

ller de piezas de gran entidad, la técnica del postesado exterior y la prefabricación de elementos ligeros con hormigones de elevada calidad.

En cuanto a la prefabricación en taller y transporte a obra de piezas de gran tamaño, con formas complicadas y fuertes esviajes, ha sido posible gracias al desarrollo de las técnicas de hormigonado, ferralla y encofrados con hormigones de alta resistencia y espesores estrictos de almas y tablas, de manera que se pudieran compatibilizar unos altos rendimientos mecánicos, geométricos y resistentes, de las secciones, con unos niveles de peso aptos para su manipulación, transporte y montaje. Los altos rendimientos mecánicos y los pesos propios estrictos han dejado, a su vez, reducir apreciablemente las cuantías de pretensado.

La técnica del postesado exterior permite adaptar, de forma fácil, sencilla y económica, la prefabricación, generalmente asociada a estructuras isostáticas, a las ventajas que la continuidad representa en el campo de las luces medias. Así, la ausencia de cables de pretensado en las almas de los cajones, la facilidad de puesta en obra y tesado de los anclajes, la sencillez y eficacia de los trazados poligonales, la garantía de calidad de la ejecución en taller de los delicados tacos y mogotes de anclaje y desvío, junto a las ya conocidas ventajas del postesado exterior, admiten un perfecto maridaje entre ambas técnicas, en la línea de las actuales tendencias europeas y americanas.

Finalmente, la prefabricación de elementos ligeros y mecánicamente resistentes, de alta capa-

cidad portante, permite soluciones muy versátiles a las que es posible adaptar toda la variedad de sistemas constructivos propios del campo de la construcción mixta, permitiendo, mediante una mayor sollicitación de los elementos prefabricados, adaptarse y resolver constructivamente los más variados condicionantes de montaje. Asimismo, con la prefabricación se pueden reducir al mínimo los imprevistos propios de cualquier proceso constructivo, abaratando costes y garantizando al máximo los niveles de calidad y acabados previstos en proyecto. ■

FICHA TECNICA

Administración:

Ministerio de Obras Públicas y Transportes

Director de Proyecto y Obra:

D. Francisco Aracil Mira

Autores del Proyecto:

D. José Antonio Fernández Ordóñez.

D. Julio Martínez Calzón.

D. Francisco Millanes Mato. IDEAM S.A.

D. José García-Miguel Morales. IDEAM S.A.

Empresa Constructora:

LAIN S.A.

Jefes de Obra:

D. Joaquín Salvador

D. Rafael Carreira

Prefabricación:

PACADAR

Longitud total

204 m.

Anchura Plataforma

22 m.

Superficie total

4.488 m²