

VIADUCTO SOBRE LA RÍA DEL ASÓN

Florencio del Pozo Vindel.

Dr. Ingeniero de Caminos Canales y Puertos.

Catedrático Cálculo de Estructuras E.T.S.I.C.C. y P. de Madrid. PROES S.A.

José M^a Arrieta Torrealba.

Dr. Ingeniero de Caminos Canales y Puertos e Ingeniero Industrial.

Profesor Titular Cálculo de Estructuras E.T.S.I.C.C. y P. de Madrid. PROES S.A.

NOTA DE LA REDACCIÓN

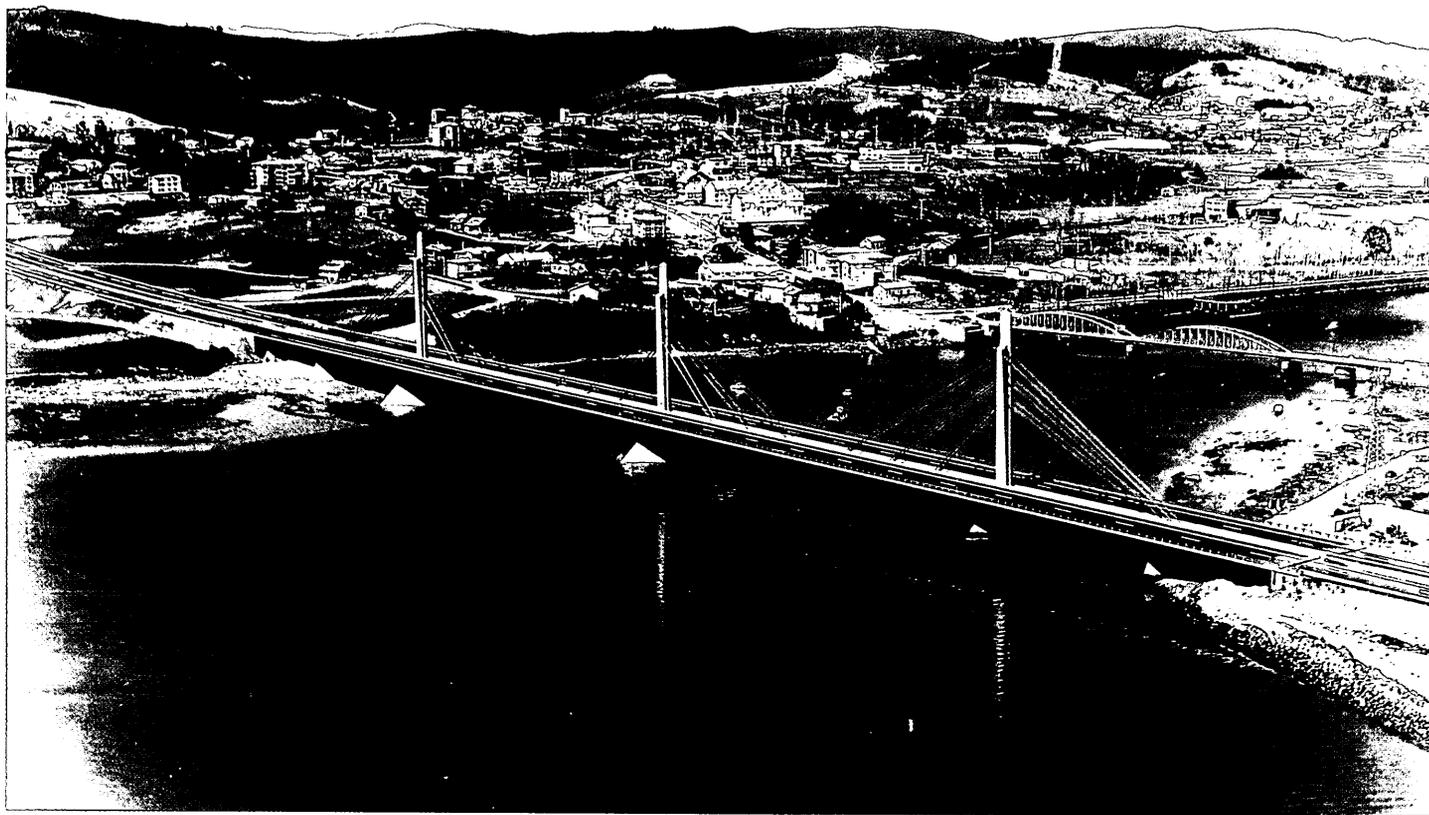
Florencio del Pozo Frutos fué una de las personalidades más prestigiosas y conocidas dentro del mundo de la ingeniería, especialmente en el de las estructuras. Catedrático en la ETS de Ing. de Caminos de Madrid durante muchos años, investigador destacado al frente del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del Centro de Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), proyectista de nivel internacional, Presidente de la Asociación Técnica Española del Pretensado, son títulos más que suficientes para que la ROP recoja en este número dedicado a la Autovía del Cantábrico, y como homenaje a su memoria, la descripción técnica de una de sus obras más importantes, el Viaducto del Asón, inaugurado apenas unos meses antes de que, de manera prematura, la ingeniería civil española perdiese a uno de sus más indiscutidas figuras.

RESUMEN

Se describe en este artículo un Viaducto que permite el paso de la Autovía del Cantábrico sobre la Ría del Ason entre Santoña y Laredo en la provincia de Santander. Se trata de un Puente con dos tramos atirantados desde tres pilonos de hormigón armado de fuste único situados en el eje del tablero, y dos vanos laterales de aproximación en cada extremo. El tablero tiene una sección tetracelular de hormigón pretensado, es un dintel recto continuo de canto constante de 2,2 metros, con luces de 34-50-125-50-34 metros y una longitud total de 420 metros. Los tirantes, que se anclan en la mediana, presentan una disposición de arpa corregida. La construcción se realizó mediante hormigonado in situ, por tramos, con cimbrado convencional apoyado sobre rellenos parciales del cauce de la ría.

ABSTRACT

This paper describes the viaduct that takes the Cantabrian motorway over the Ason estuary between Santoña and Laredo in the province of Santander. The two spans of the bridge are suspended from three reinforced concrete pylons in the centre of the deck, with an approach rise at either end. The pretensioned four-sided platform is a straight continuous slab of 2.2 m. edge, 420 meters long, with spans of 34-50-125-125-50-30 m. The suspension cables, anchored in the centre, are harp-like in their arrangement. The concrete beams were cast "in situ" and supported during construction on partial refill of the bed of the estuary.



Fotografía 1.

1. INTRODUCCIÓN

Este viaducto permite el paso de la Autovía del Cantábrico en el tramo "Variante de Colindres" sobre la Ría del Asón que desemboca en el Cantábrico entre Santoña y Laredo.

La obra fue adjudicada a la Empresa Constructora CUBIERTAS Y MZOV, S.A. el 13 de diciembre de 1989 y fue inaugurada oficialmente en el mes de mayo de 1993.

2. CONSIDERACIONES GENERALES

2.1. EL ENTORNO

El puente (fotografía 1) se halla ubicado en un paisaje horizontal, con suaves curvaturas y sin elementos próximos de altura relevante.

El fondo de la ría, en la zona de la obra, es un lecho de fangos de muy escasa pendiente. El puente se encuentra situado en una alineación recta en planta con una pendiente longitudinal del 1%. La altura de la rasante sobre el nivel medio de marea oscila entre 9 m y 13 m que, en relación con sus 420 m de longitud, establece un nuevo factor de horizontalidad en el entorno.

2.2. LA TIPOLOGÍA DE LA ESTRUCTURA

La elección de la tipología del puente estaba sometida a dos condicionantes, en principio contrapuestos:

- ▼ La excesiva repetición de líneas de apoyo asfixiaría el fondo de la ría, por lo que había que recurrir a luces de cierta importancia.
- ▼ Sin embargo, las luces adoptadas no debían imponer al canto del tablero una dimensión

que produjera el mismo efecto que se pretendía evitar.

Se optó por estudiar tipologías estructurales que proporcionaran rigidez al conjunto mediante elementos portantes situados por encima del tablero; la más adecuada para el ámbito de luces considerado (entre 100 m y 140 m) es la atirantada.

Decidida dicha solución, surgía la opción de atirantar desde los bordes o desde el centro del tablero. Se optó por una solución atirantada desde el centro porque, aunque se generan fuertes sollicitaciones torsoras en el tablero, la penalización en las dimensiones efectivas del mismo, dada la forma de la sección transversal y las luces previstas, era relativamente pequeña. Por el contrario, se percibe el conjunto con una mayor sensación de ligereza, al construir los pilonos con fuste único, en lugar de con dos fustes.

En cuanto a la selección de las luces, la solución con dos pilonos tenía como consecuencia la aparición en el paisaje de elementos con una elevación sobre la rasante próxima a los 65 m, difi-

La selección de las luces, la solución con dos pilonos tenía como consecuencia la aparición en el paisaje de elementos con una elevación sobre la rasante próxima a los 65 m, difíciles de encajar en un paisaje tan horizontal y bajo como el existente

les de encajar en un paisaje tan horizontal y bajo como el existente.

Teniendo en cuenta las consideraciones expuestas, se optó por una solución de puente con dos tramos centrales atirantados desde tres pilonos y dos vanos laterales de aproximación en cada extremo, que respondía equilibradamente a todos los requerimientos planteados.

Las luces resultantes (figura 1), 34 m - 50 m - 125 m - 125 m - 50 m - 34 m, crecientes desde las orillas, toman valores importantes en los vanos centrales del puente, proporcionados respecto a su longitud total y no tan grandes que la relación entre la altura sobre el agua y la longitud del vano resulte demasiado horizontal y "aplastada". La aparición de una estructura sustentante superior al tablero permite reducir el canto de éste al mínimo.

La disposición de tres pilonos tiene consecuencias beneficiosas a la hora de integrar la obra en su entorno; por un lado, la altura resultante de los pilonos, 40 m, es de un orden de magnitud tal que el entorno puede acogerla sin estridencias; por otro, se establece una serie, algo continuo que recorre uniformemente la totalidad del puente, en

Figura 1.

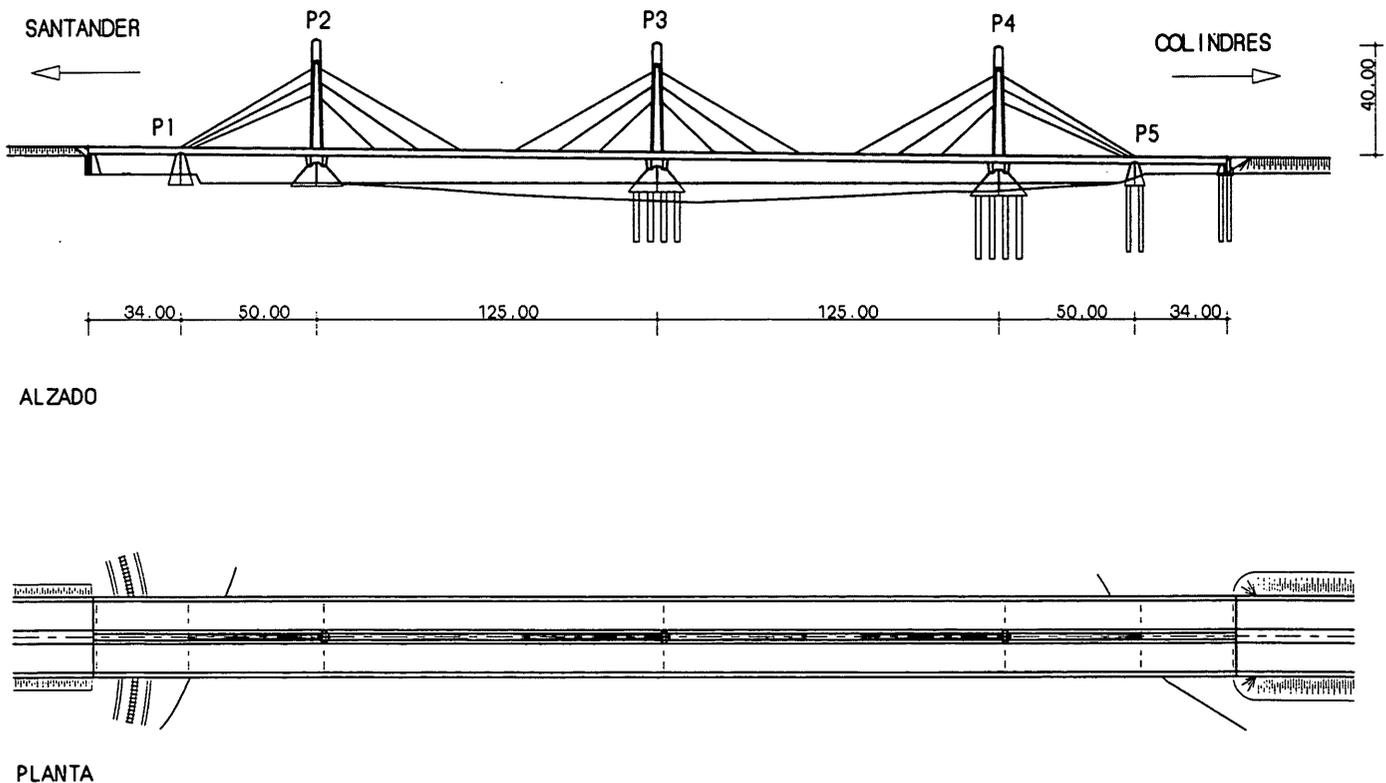
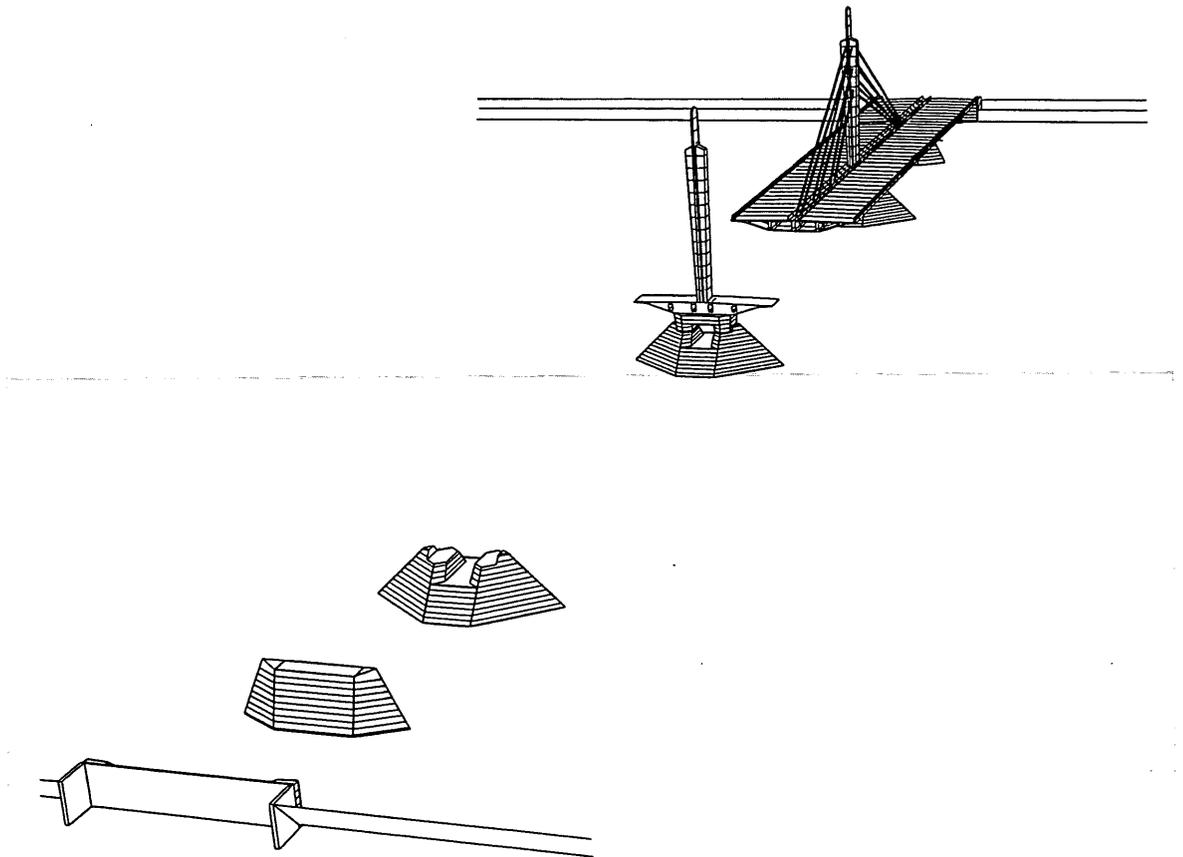


Figura 2.



oposición a la focalización que en las orillas hubiera supuesto la aparición de sólo dos pilonos.

2.3. LAS PILAS

Se proyectaron en primer lugar las tres pilas centrales, debido a su mayor complejidad; las pilas laterales y los estribos fueron generadas como simplificaciones de las pilas centrales.

Se quería proyectar un puente con una fuerte sensación de firmeza, que se fuera haciendo más ligero a medida que ganaba altura. Existía una gran dificultad para percibir claramente las pilas, dada la relación entre el ancho del tablero, 30 m, y la altura media del mismo sobre el nivel medio del agua, 12 m.

El diseño de un puente con pilas muy esbeltas hubiera producido una sensación visualmente desagradable y equívoca desde el punto de vista estructural. Las pilas serían casi imperceptibles, a pesar de estar fuertemente señaladas por los pilonos; estructuralmente, desde el punto de vista de la coherencia forma-función, los fuertes momentos que se transmiten longitudinalmente a la

cimentación requieren la presencia de elementos de dimensiones importantes en ese sentido.

Como consecuencia de ello, se proyectaron las tres pilas centrales como islas artificiales, que cumplen simultáneamente la función de pila y zapata/encepado de pilotes (figura 2). Un único elemento, que surge del fondo de la Ría, recibe y abraza al travesaño del tablero, subrayando la posibilidad de desplazamientos longitudinales relativos entre ambos.

Con forma troncopiramidal de base hexagonal, sus pendientes relacionan estrictamente la dimensión de los apoyos bajo el travesaño, con las del encepado de pilotes, mucho mayores.

El resultado final es un elemento sencillo, con una fuerte caracterización formal. Las inclinaciones de sus planos enfatizan el cambio de forma de la pila a medida que las mareas suben y bajan, aspecto muy importante en esta obra, al ser el recorrido de las mareas 4.5 m y la altura libre media sobre la marea más alta del orden de 7.0 m.

Las pilas laterales (P1 y P5) son una simplificación de las centrales y obedecen a los mismos principios: refuerzo de su presencia y adecuación estructural. Al ser sus vanos colindantes menores

que los centrales y no haber pilonos sobre ellas, las acciones verticales son mucho menores y no resulta necesario el travesaño bajo el tablero. De esta forma, se mantiene la dimensión transversal, para poder abrazar la parte central del tablero, y se reduce drásticamente la longitudinal, ajustándose a las dimensiones mínimas necesarias, tanto desde el punto de vista estructural como constructivo.

2.4. EL TABLERO

La elección de una sección de hormigón para el tablero, se debió a su mayor durabilidad sin apenas gastos de conservación en comparación, por ejemplo, con las soluciones metálicas. Además, se diseñó una sección en cajón multicelular (figura 3), cuya gran inercia torsional, permitió llevar el atirantamiento a la mediana de la calzada.

2.5. LOS TIRANTES

Dos fueron los parámetros principales a la hora de proyectar los tirantes: su número y su disposición.

▼ Número de tirantes

Está relacionado, tanto con su resistencia, como con la rigidez del tablero. Ante la elección entre una solución con gran número de tirantes y tablero flexible, y otra con pequeño número de tirantes y tablero rígido, se optó por la segunda, por

considerar mayor la ligereza ganada al reducir el número de tirantes aumentando su separación, que la que se conseguiría al reducir el canto del tablero, siempre relativamente menor, por estar sustentado desde la mediana.

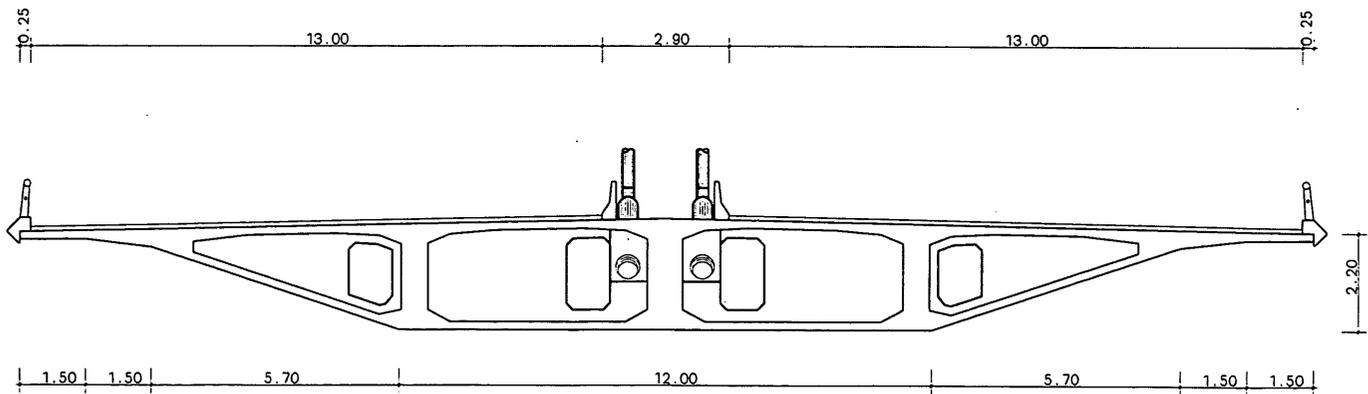
▼ Disposición

Se adoptó una disposición en arpa corregida, término medio entre la de abanico, que hubiera focalizado la atención en el vértice superior de los pilonos, distorsionando la idea de continuidad perseguida para el conjunto, y la de arpa, que resultaría demasiado monocorde.

Así, desde el pilono central (figura 4), dos haces simétricos de cables en arpa corregida sustentan los vanos centrales colindantes. Desde los pilonos laterales, los haces de cables son asimétricos (fotografía 2); por un lado, atirantan los vanos centrales y, por el otro, se anclan en la pila lateral adyacente, realizando a la vez funciones de contrarresto y de rigidización de los pilonos laterales.

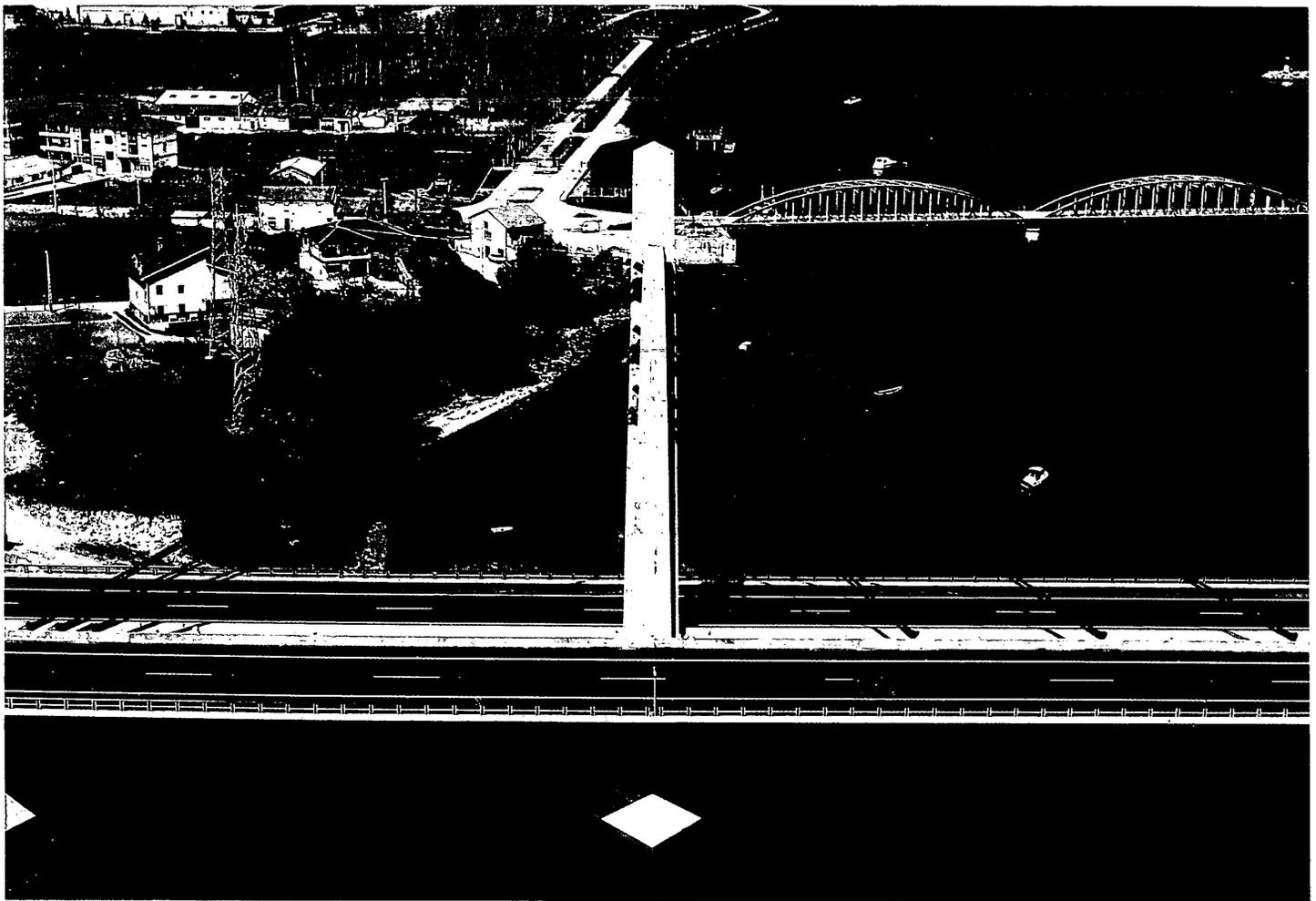
Esa disposición, que mejora la eficacia estructural, redundando además en una mayor claridad formal del puente, estableciendo a la vez dos secuencias visuales (Fotografía 3). La primera surge desde el fondo de la ría y avanza hacia arriba, ganando en ligereza, precisión y transparencia. La segunda, partiendo desde cualquiera de las dos orillas se desarrolla en horizontal hacia el centro del puente, aumentando las luces de los vanos, y se refuerza con los haces de cables que surgen de un punto en el tablero y se van abriendo hacia el centro, consiguiendo una máxima coherencia entre forma y función.

Desde el pilono central dos haces simétricos de cables en arpa corregida sustentan los vanos centrales colindantes



SECCION TRANSVERSAL

Figura 3.



Fotografía 2.

2.6. MATERIALES Y ACABADOS

Se ha introducido una graduación de los materiales, desde la tosquedad del hormigón en contacto con el agua, hasta la precisión tecnológica de los tirantes.

Al hormigón de pilas y estribos, fabricado con cemento siderúrgico, se le añadió un colorante negro, para conseguir una tonalidad más oscura que la del tablero y los pilonos, con la doble finalidad de:

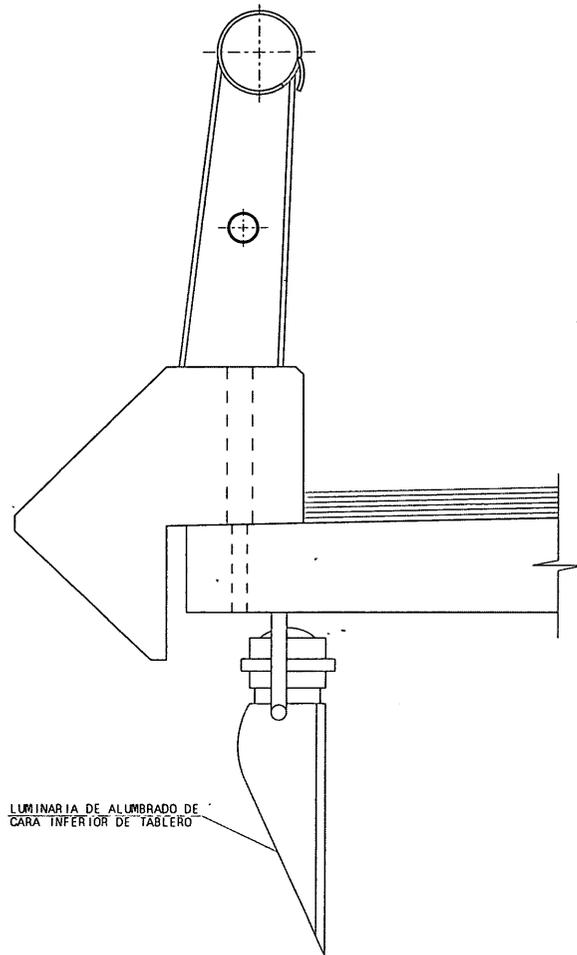
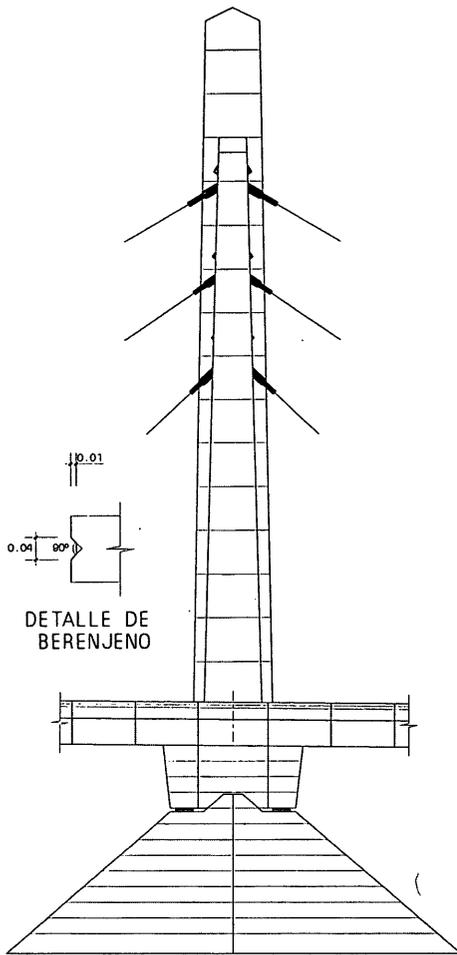
- ▼ Señalar la distinta naturaleza de los elementos que surgen del fondo de la ría, y de los apoyados sobre ellos.
- ▼ Construir pilas, cuyo aspecto no aparezca deteriorado en el espacio entre mareas. Al tratarse de hormigón oscuro, los moluscos y algas que se adhieran a la pila no modificarán excesivamente su aspecto a lo largo del tiempo, en todo caso lo mejorarán, al convertirla

prácticamente en un elemento natural, que emerge de la ría como una pequeña isla.

El hormigón del tablero y pilonos posee una coloración gris clara. Para señalar la forma del tablero, cuyas suaves curvaturas resultarían difícilmente perceptibles, se han remarcado, mediante hendiduras, las juntas transversales de los encofrados situadas cada 4 metros, a excepción de la zona del travesaño, donde su separación es 5 m.

Por análogos motivos, también en los pilonos (figura 4) se remarcó, mediante un berengeno, la junta de encofrado, pero aquí cada 2.5 m, con objeto de que ninguna fuera interrumpida por los tirantes, ni por sus anclajes.

Para rematar los bordes del tablero (figura 5), se proyectó una pieza prefabricada de hormigón, de la misma naturaleza que el resto del puente, con la doble función de bordillo e imposta. Su forma angulosa, hacia el exterior, fragmenta su masa en dos partes, una en luz y otra en sombra, ha-



Figuras 4 y 5.

ciéndola más esbelta (fotografía 4). Sobre estas piezas, se anclan unos perfiles de sección variable, que alojan un tubo de 16 cm de diámetro. Dicho elemento actúa de barrera rígida y ha sido pintado del mismo color que el recubrimiento de los tirantes.

Para permitir la visión nocturna de la estructura, realzando su presencia, se han proyectado tres tipos de luminarias, colocadas en los paramentos laterales del tablero, producen una iluminación difusa del mismo, generando una banda horizontal continua. Asimismo se han dispuesto otras dos familias, una que ilumina las caras laterales de los pilonos y la otra que proyecta sus haces sobre cada uno de los tirantes de la estructura.

Al haberse reducido al mínimo el número de tirantes, su color cobra una importancia capital para conseguir que, con su escasa presencia física, pueda equilibrarse el conjunto de la obra.

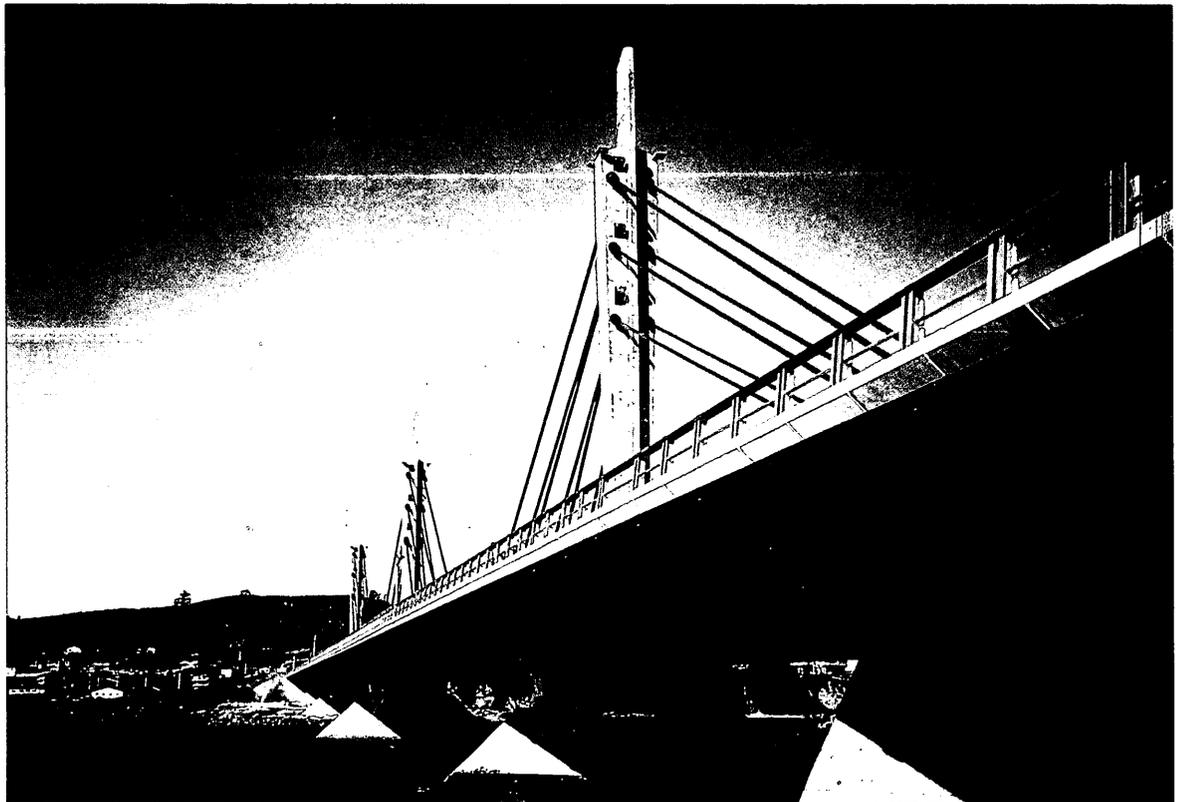
Los colores de las gamas azul y verde habrían desaparecido contra el cielo o las montañas próximas, cubiertas de vegetación. Los colores claros, blancos y amarillos, habrían aligerado la forma, ya de por sí ligera. Se necesitaban colores fuertes, masivos, con gran capacidad de contraste contra los fondos allí existentes, es decir, negro o rojo. El negro tiene una eficacia contrastada ante los requerimientos expuestos, pero hubiera introducido un carácter excesivamente sobrio. Se optó por un color rojo fuerte, que contrastara con igual fuerza contra el cielo que contra las montañas próximas, introduciendo además la alegría de un color vivo.

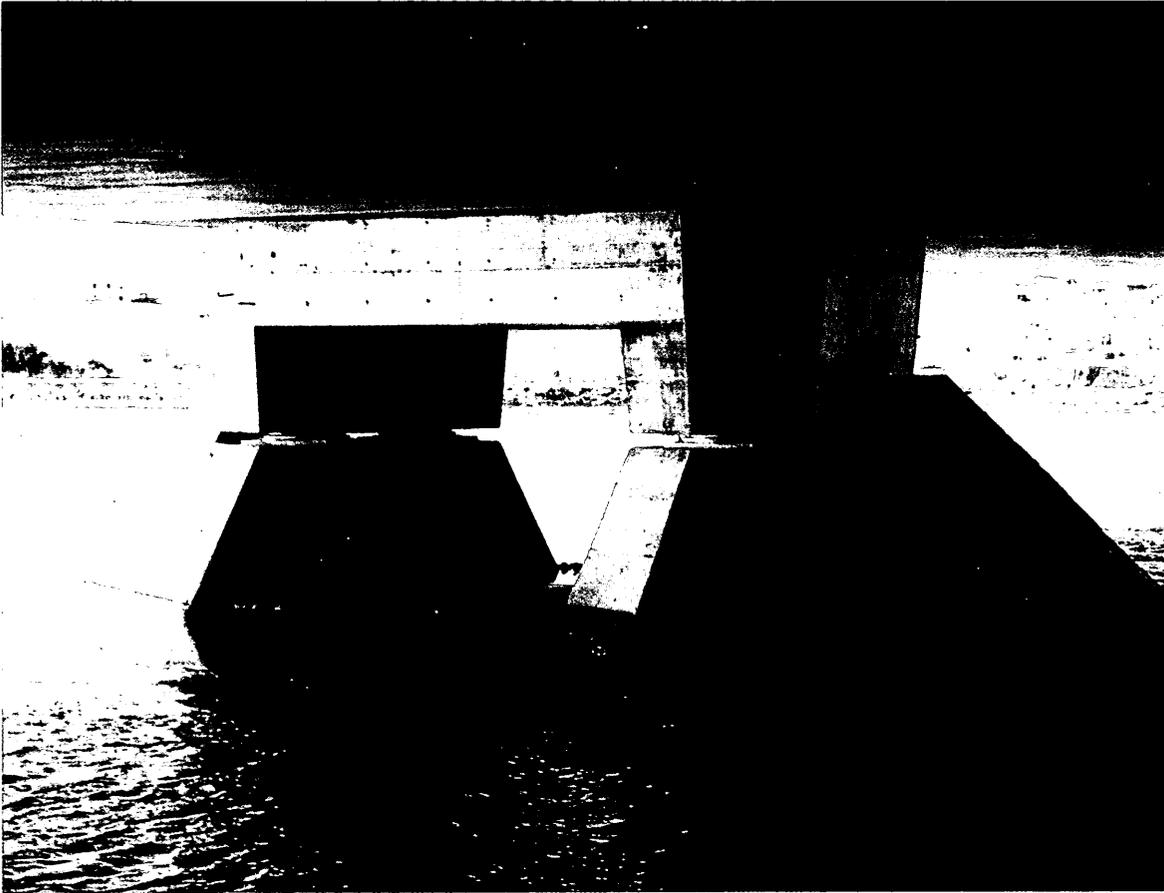
3. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

La estructura, como ya se ha dicho, está constituida por un dintel recto continuo de canto constante de hormigón, con luces de 34 m - 50 m -



Fotografías 3 y 4.





Fotografía 5.

125 m - 125 m - 50 m - 34 m. Los dos tramos centrales están sustentados mediante tirantes anclados en tres pilonos de hormigón armado de 40 m de altura, situados en el eje longitudinal del tablero y empotrados al mismo. Los pilonos laterales se equilibran frente a acciones horizontales longitudinales mediante tres tirantes de contrarresto convergentes, que se anclan en las traviesas del tablero situadas sobre las pilas P1 y P5. La inmovilidad vertical de las secciones de anclaje rigidizan el sistema estructural, disminuyendo los esfuerzos.

En las secciones de ubicación de los pilonos, correspondientes a las pilas P2, P3 y P4, se disponen, por debajo del tablero, unos travesaños (fotografía 5) que transmiten las acciones de la superestructura a las pilas. La disposición de dos líneas de apoyo, separadas longitudinalmente 4.00 m, produce un empotramiento efectivo del conjunto pilono-tablero en dichas secciones.

Los vanos laterales, que se unen a los centrales en las secciones correspondientes a las pilas P2 y P4, están sustentados a su vez por las pilas intermedias P1 y P5, y por los estribos.

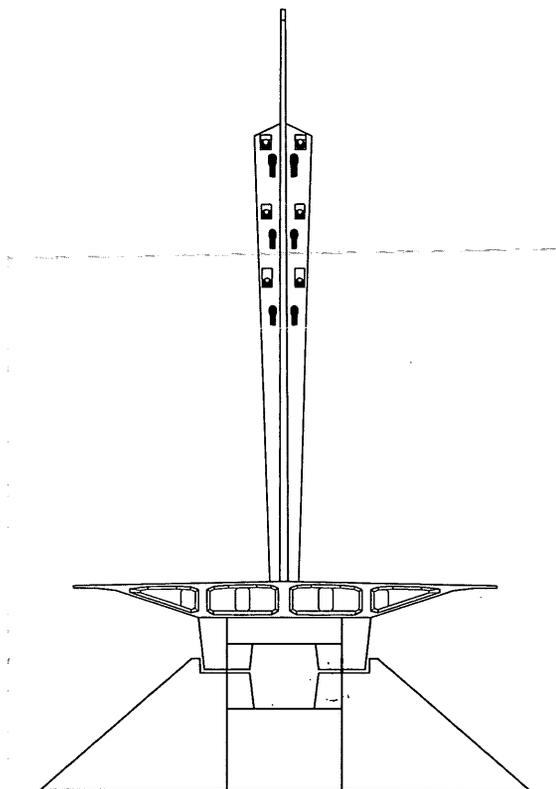
Los tirantes han sido dispuestos según dos planos paralelos separados entre sí 1.70 m y simétricos respecto al eje longitudinal del puente. Su disposición es en arpa corregida, con una separación vertical tal que permita la colocación de los anclajes en los pilonos. Los anclajes regulables se colocan en los pilonos, mientras que los fijos se sitúan en el tablero.

Al anclar los tirantes en la mediana del tablero, la torsión debida a las cargas excéntricas queda confiada a la rigidez torsional del mismo; no obstante, dada la tipología de sección transversal adoptada (cajón multicelular), dicha rigidez es elevada.

3.1. TABLERO

La plataforma está constituida por dos calzadas de tres carriles de 3.50 m cada uno, que se completan con un arcén interior de 1.00 m y otro exterior de 1.50 m. La sección transversal dispone de una mediana de 2.90 m, en la que se anclan los tirantes, protegidos del tráfico mediante dos

Figura 6.



barreras rígidas, que los separan de la calzada. En los bordes exteriores de la plataforma, se disponen elementos de protección constituidos por un bordillo-imposta de hormigón prefabricado anclado al tablero y una barrera rígida metálica. La anchura total de la plataforma es 29.40 m.

El tablero, de hormigón, tiene una sección transversal tetracelular de canto constante de 2.20 m, que se completa mediante dos voladizos extremos. La sección posee 3 almas verticales; una central de 80 cm de ancho, en cuyos laterales se anclan las parejas de tirantes, y dos laterales simétricas de 60 cm de ancho.

En sentido longitudinal, coincidiendo con los ejes de anclaje de los tirantes, se dispone, cada 16 m, una traviesa de 25 cm de espesor, con objeto de transmitir las acciones inducidas por los tirantes e impedir la distorsión de la sección transversal.

3.2. TRAVESAÑOS

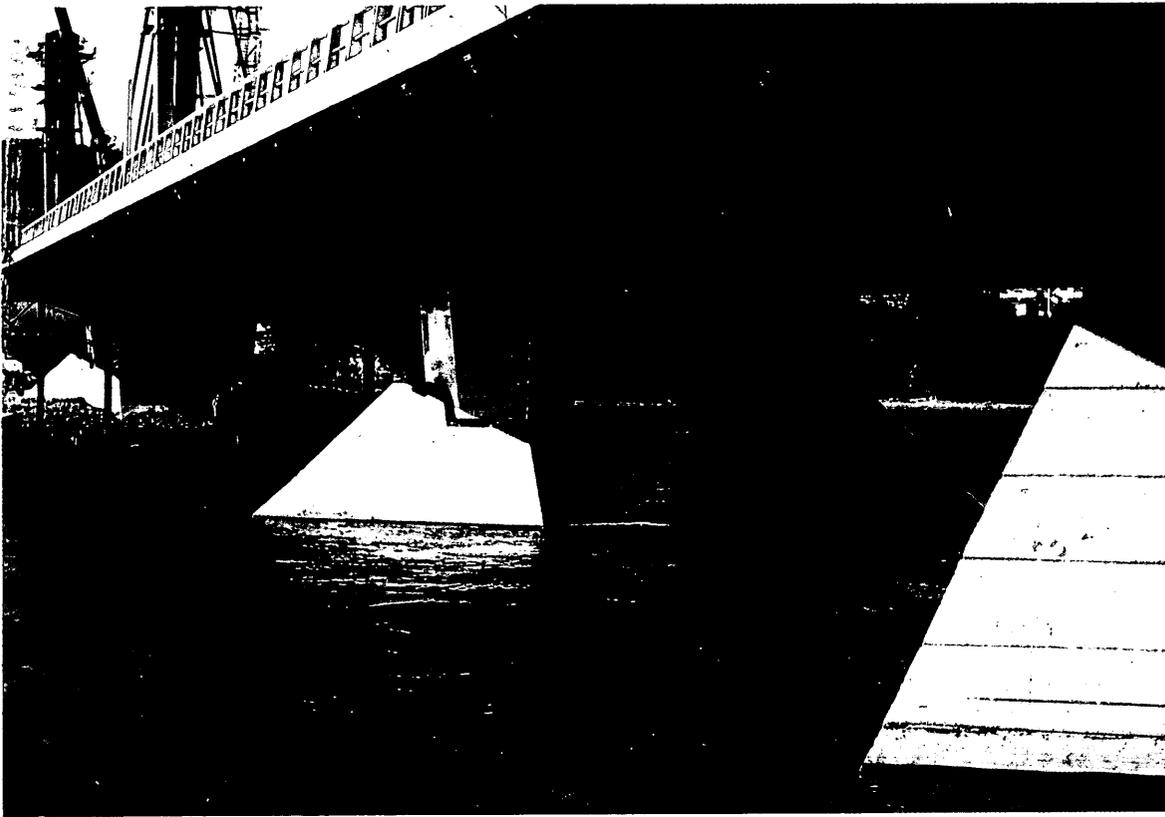
Los tres pilonos se unen rígidamente a la zona central del tablero; la transmisión de las acciones concentradas del pilono en esta zona requiere, por una parte, el macizamiento del tablero y, por otra, el regresamiento del mismo en su cara inferior (figura 6). Se origina, por tanto, una especialización del tablero, generándose un nuevo elemento que denominamos travesañó (fotografía 6). Este elemento presupone, por una parte, el aumento del canto del tablero en 1.80 m y, por otra, su diversificación en dos remates donde se ubican los aparatos de apoyo, dos en cada uno de dichos remates. En el pilono central no existen aparatos de apoyo y las acciones se transmiten a la pila mediante una unión rígida del travesañó a la misma, lo que inmoviliza el tablero en esta zona.

3.3. PILONOS

Los tres pilonos, desde los que se atiranta el tablero, se empotran en un travesañó; dicho travesañó se encuentra apoyado en las pilas P2 y P4, y empotrado en la P3. Los pilonos, de hormigón armado, presentan una sección transversal cruciforme maciza, de dimensiones variables y están constituidos íntegramente por paramentos planos.

La forma del pilono (figura 7) se adapta a las condiciones geométricas y estructurales en cada sección. La anchura de la mediana condiciona una de las dimensiones de la sección en la base, que para proporcionar rigidez suficiente, adopta una forma sensiblemente rectangular de 2.00 x 3.30 m. El desarrollo en altura del pilono obedece a la macia de dos cuerpos:

- ▼ a) Una ménsula en sentido longitudinal al puente, que partiendo de una base rectangular de 4.50 x 0.60 m, va disminuyendo su sección en ambos sentidos a medida que va ganando altura.
- ▼ b) Un cuerpo de anclaje de los tirantes que, con una dimensión mínima en la base de 2.00 x 3.30 m, se va ampliando en el sentido transversal a ambos lados de la ménsula central, para poder albergar el anclaje de los tirantes (figura 8) a las alturas de 20.00, 25.00 y 30.00 m sobre el tablero. El aumento de dimensión en el sentido transversal que ello supone, se atenúa disminuyendo la dimensión en el sentido longitudinal.



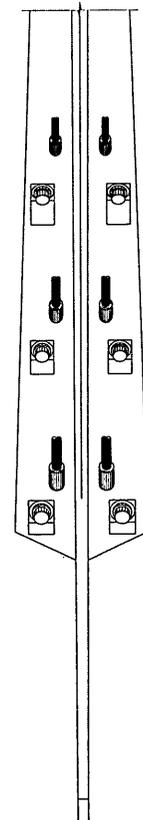
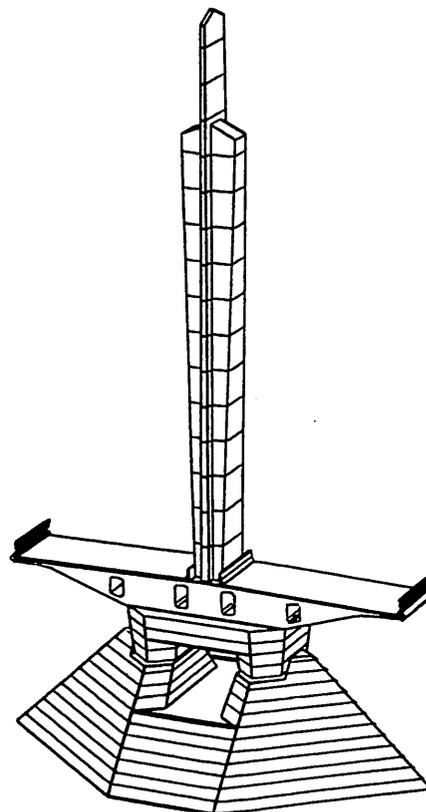
Fotografía 6.

La ménsula se prolonga 10.00 m por encima del último anclaje, señalando así su preponderancia estructural sobre el cuerpo de anclaje de tirantes.

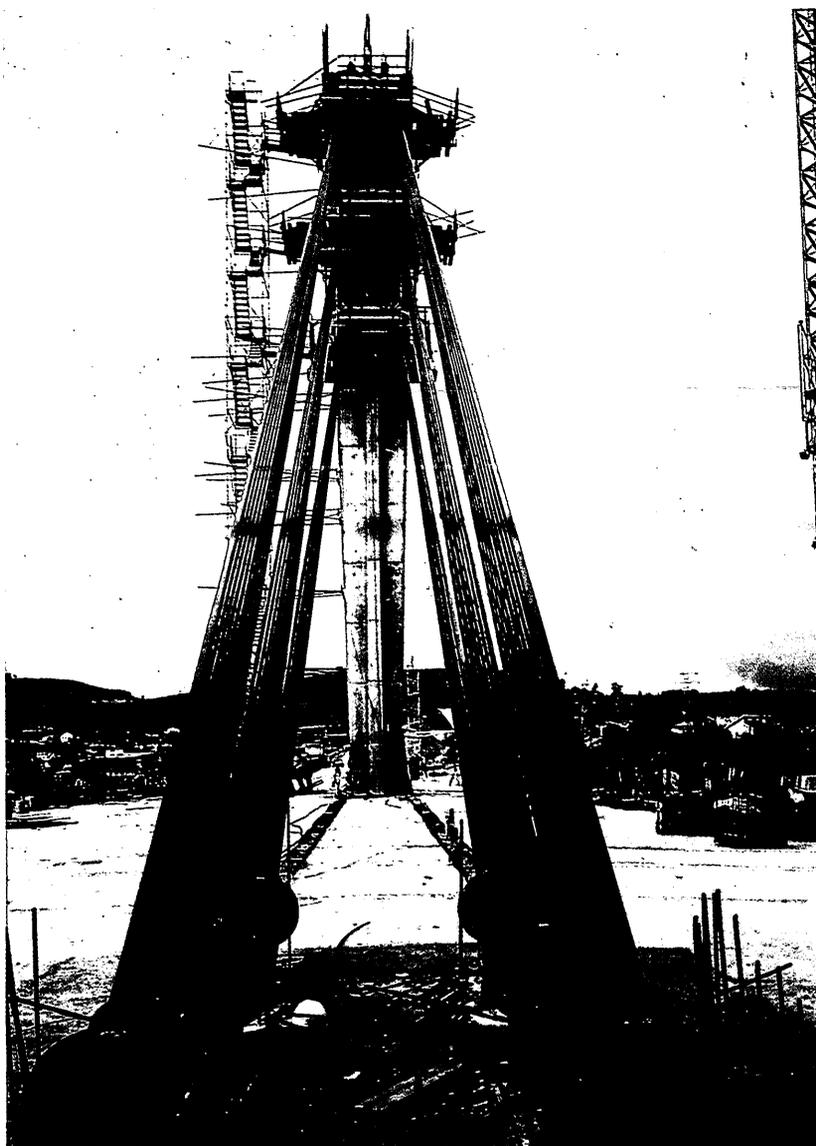
3.4. TIRANTES

Cada tirante está constituido (fotografía 7) por un haz paralelo de cordones de acero de alto límite elástico y 15 mm de diámetro, contenidos en una vaina metálica de protección. Los cordones se anclan en cada uno de sus extremos en una cabeza única, cuya misión es transmitir el esfuerzo de los tirantes a la estructura.

La protección del acero de los tirantes frente a la corrosión se consigue mediante una triple barrera. El empleo de cordones autoprottegidos proporciona una doble barrera, mediante el uso de una cubierta exterior de polietileno de alta densidad (HDPE) y un relleno de cera petrolera. La tercera barrera está constituida por la vaina externa de acero que proporciona no sólo una protección frente a acciones físicas (agua, rayos UV, etc.), sino además una protección frente a acciones mecánicas (viento, abrasión, etc.). La vaina exterior se coloca por tramos en media caña (fotografía 8),



Figuras 7 y 8.



Fotografía 7.

unidos mediante remaches, comenzando por la parte inferior de los tirantes (fotografía 9) y empujando el conjunto ya montado hacia arriba.

Se disponen 6 parejas de tirantes por pilono, cuya composición varía para cada uno de ellos, entre 48 y 83 cordones. El esfuerzo de cada tirante se transmite al hormigón del pilono o del tablero por medio de placas de acero embebidas en el mismo. Un forro metálico separa el tirante del hormigón, en la zona en que atraviesa el pilono o el tablero (fotografía 10), de modo que pueda realizarse el montaje de los tirantes y su sustitución eventual posterior, sin necesidad de demoler parcialmente la estructura. A la salida del pilono y del tablero se ha colocado un dispositivo elástico de guía y amortiguación, materializado por un man-

guito de neopreno confinado en un alojamiento metálico. La tensión de cada tirante debe poder ajustarse, tanto durante la construcción del puente, como en servicio, a lo largo de la vida de la obra; para ello, se ha previsto que los anclajes de la pila sean regulables. El reglaje se obtendrá por tracción del anclaje con un gato hidráulico calibrado, obteniéndose el ajuste mediante el giro de un anillo roscado al cuerpo del mismo. El anclaje inferior, en el tablero, es fijo y no se prevé ninguna intervención posterior, salvo la inspección y mantenimiento normales.

3.5. APARATOS DE APOYO

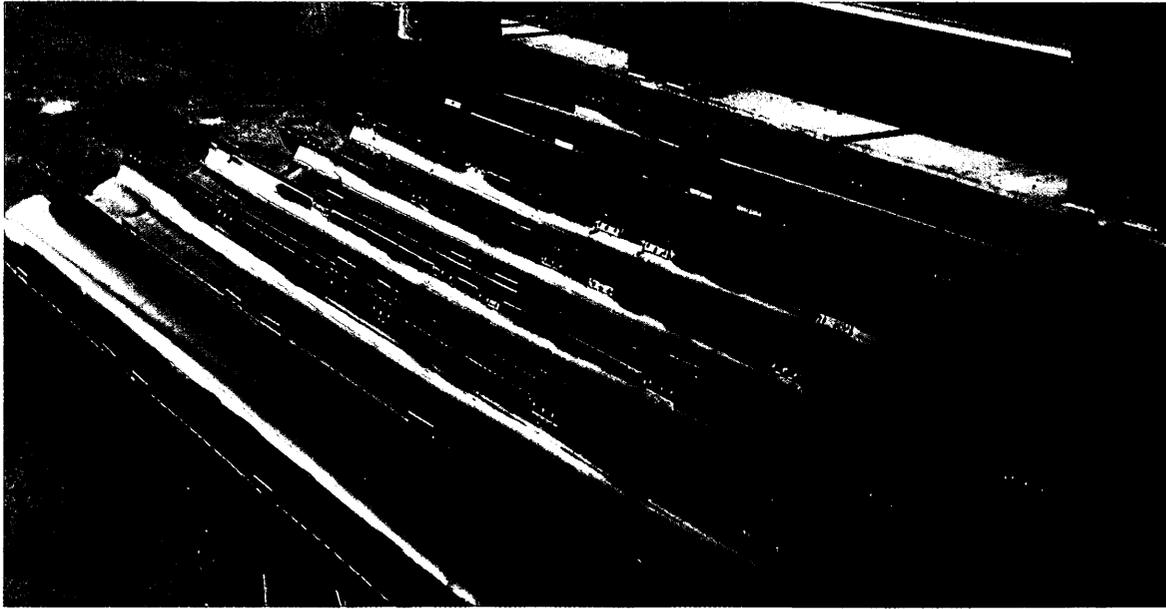
En todas las secciones de apoyo, a excepción de la correspondiente a la pila central, se han dispuesto aparatos de apoyo de neopreno confinado-teflón, con objeto de transmitir las cargas verticales, permitiendo los giros y movimientos longitudinales, que de otra forma inducirían grandes esfuerzos, dada la rigidez de la subestructura.

En cada línea de apoyos se han colocado transversalmente dos aparatos, uno de los cuales tiene impedido el movimiento transversal, mientras que en el otro es libre.

3.6. PILAS

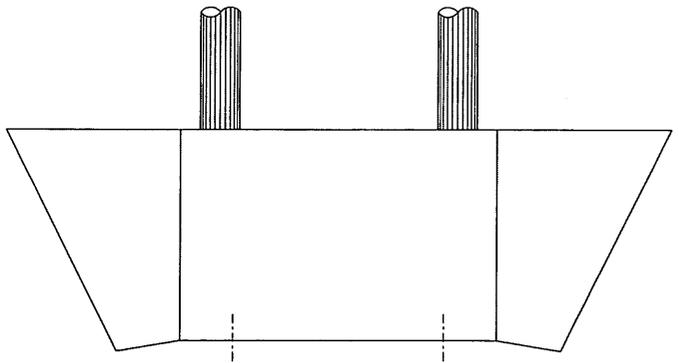
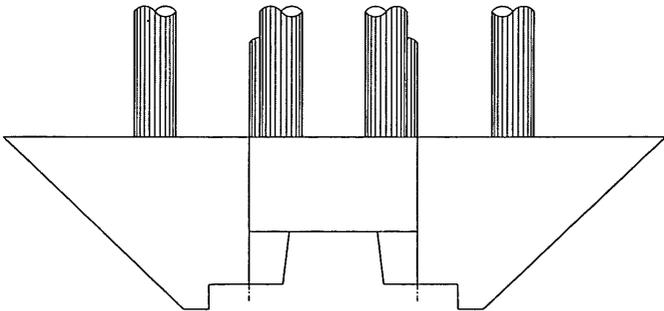
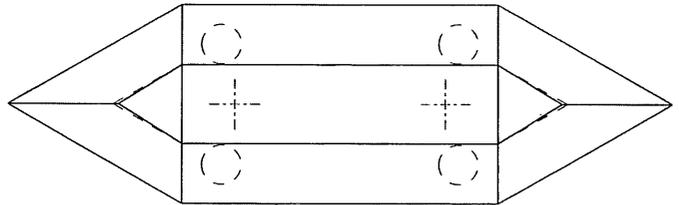
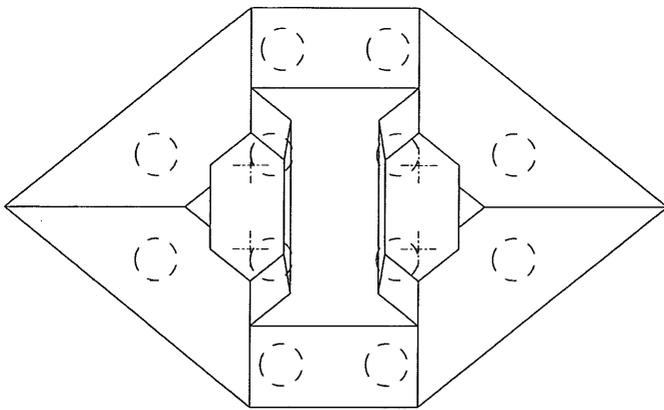
Las pilas centrales (P2, P3 y P4), de hormigón armado, adoptan una forma de tronco de pirámide hexagonal y transmiten directamente las cargas producidas por la superestructura al terreno o a los pilotes (figura 9), realizando simultáneamente las funciones de pila y zapata/encepado de cimentación. Las dimensiones de la base superior son las necesarias para albergar los cuatro aparatos de apoyo dispuestos bajo los travesaños, en las pilas P2 y P4, o la unión directa del travesaño, en la pila central P3. La base inferior está situada en el interior del terreno, en la pila P2, y 1.00 m por debajo de la máxima bajamar, en las pilas P3 y P4. Sus dimensiones han sido determinadas para garantizar una adecuada transmisión de las cargas al terreno, en el caso de la pila P2, o para encepar los pilotes necesarios para la cimentación de las pilas P3 y P4.

Las pilas laterales (P1 y P5) presentan (figura 10 y fotografía 11) la misma configuración general descrita para las centrales, adaptando sus dimensiones a la existencia de una sola línea de apoyos



Fotografía 8.

Figuras 9 y 10.



Fotografía 10.



Fotografía 9.

en cada una de ellas y a las menores cargas transmitidas.

En todos los casos, en la base superior por encima de la cota del plano de apoyos, se han dispuesto unos remates que abrazan al tablero.

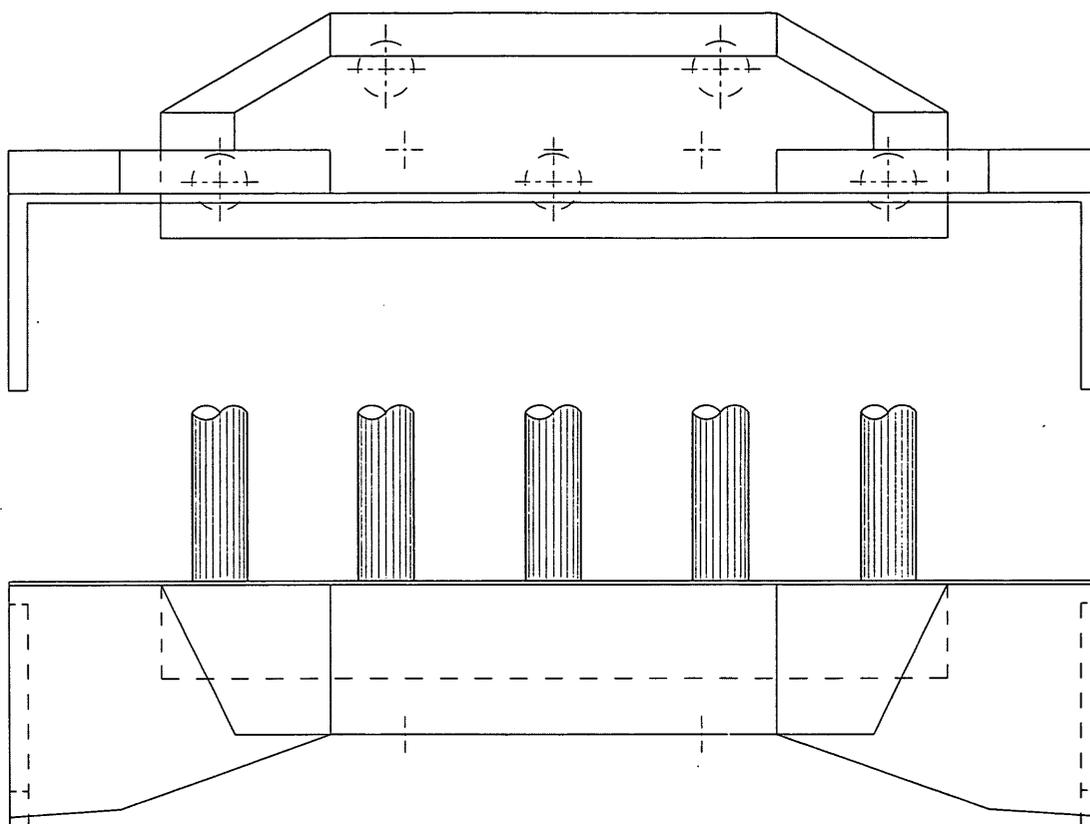
3.7. ESTRIBOS

Los estribos, que geoméricamente representan una adaptación de la forma de las pilas, están constituidos por un muro frontal cerrado, encargado de soportar los empujes producidos por el terraplén de acceso al puente, rematado mediante dos aletas en vuelta que contienen lateralmente el mismo. El ancho del muro, 29.40 m, coincide con el del tablero. Al igual que en el caso de las pilas, este muro, de canto variable con la altura, presenta una base superior de dimensiones suficientes para el alojamiento de los aparatos de apoyo, mientras que su base inferior transmite las cargas de forma directa al terreno (Estribo Dorsal) o a las cabezas de los pilotes (Estribo Frontal) (figura 11), sin necesidad de zapatas ni encepados.

3.8. CIMENTACIONES

Las cimentaciones del Estribo Dorsal y Pilas P1 y P2 son superficiales y directas, y han sido

Figura 11.



diseñadas para una tensión máxima admisible del terreno de 5 Kp/cm.

Las cimentaciones del resto de los elementos de la subestructura son profundas y han sido resueltas mediante pilotes hormigonados "in situ" y empotrados en el estrato de roca a profundidad variable. En la cimentación de las pilas P3 y P4 se han dispuesto 12 pilotes de 2.00 m de diámetro en cada una. La pila P5 ha sido cimentada mediante 4 pilotes de 1.50 m de diámetro, mientras que el Estribo Frontal tiene una cimentación formada por 5 pilotes del mismo tipo.

El apoyo central, correspondiente a la pila P3, se configura como un empotramiento perfecto y constituye el punto fijo del puente en el sentido longitudinal. Los apoyos adyacentes al central, correspondientes a las pilas P2 y P4, se han proyec-

Fotografía 11.

4. ESQUEMA RESISTENTE

Desde un punto de vista resistente, el esquema estructural adoptado para el conjunto formado por el tablero, los pilonos y el sistema de tirantes corresponde (figura 12) en los dos vanos centrales a una viga de canto variable, cuyo cordón superior está formado por los tirantes y el inferior por el tablero. Esta estructura se completa con dos vanos laterales de canto constante en cada uno de sus extremos.



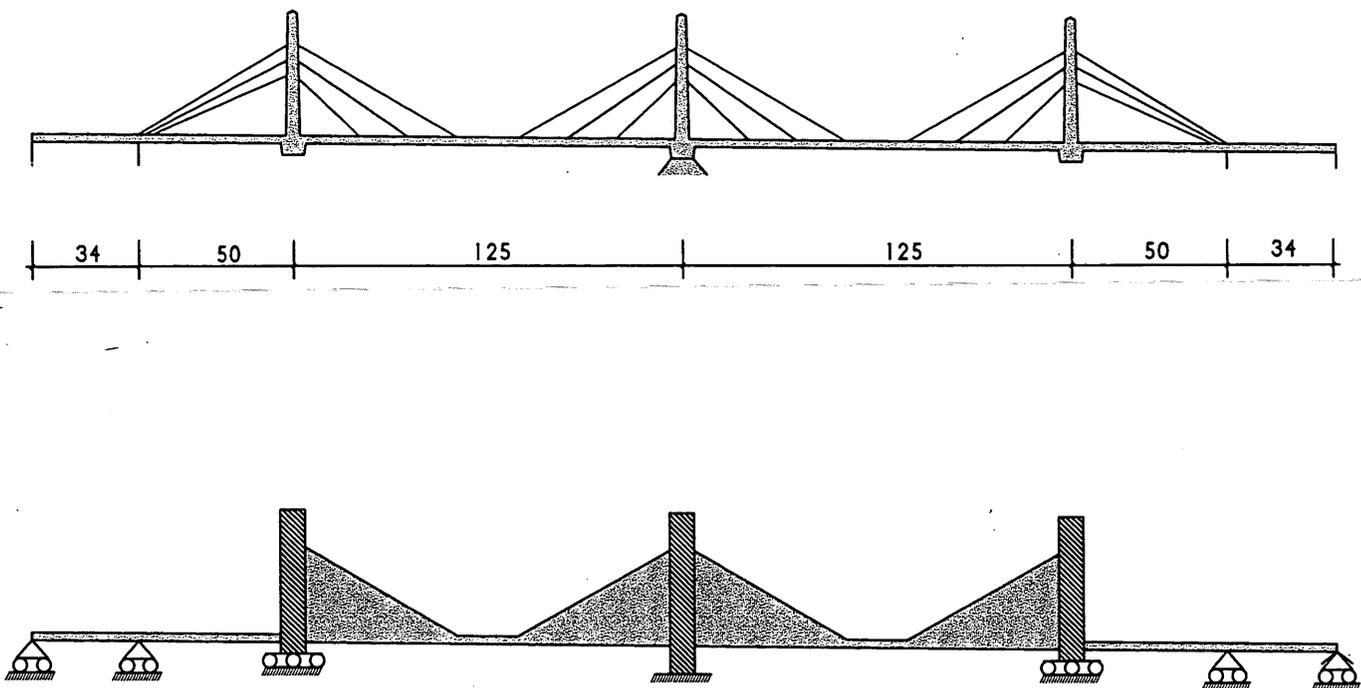


Figura 12.



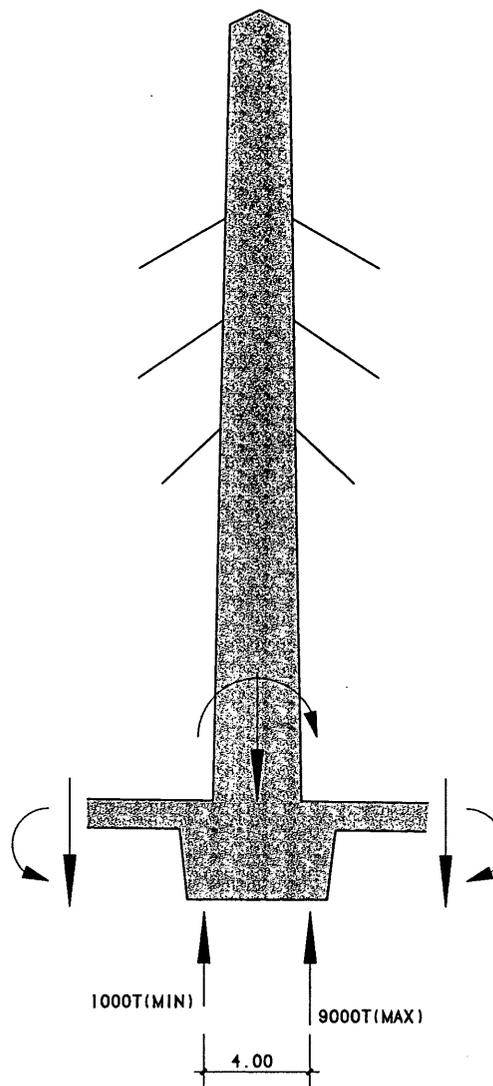
Fotografía 12.

tado como empotramientos deslizantes en sentido longitudinal, o lo que es lo mismo, dichos apoyos impiden el giro de la sección, permitiendo su desplazamiento horizontal. El resto de los apoyos, situados en ambos estribos y en las pilas P1 y P5, se configuran como apoyos deslizantes que permiten tanto el giro como el movimiento longitudinal en sentido horizontal.

El empotramiento deslizante en las pilas P2 y P4 se consigue mediante la disposición de dos líneas de apoyo separadas longitudinalmente y su distancia entre ejes es 4.0 m. Las reacciones pésimas (figura 13) en cada una de dichas líneas de apoyo varían entre 1000 Mp y 9000 Mp, habiéndose proyectado la separación entre ellas para asegurar una compresión mínima en todos los apoyos.

Transversalmente, se consigue el empotramiento del tablero a torsión en las secciones de pilonos (pilas P2, P3 y P4) mediante la disposición de dos ejes de apoyo separados 8.0 m entre sí. La transmisión de cargas totales de hasta 16400 Mp (Figura 14) obliga a incrementar el canto resistente del tablero en las mencionadas secciones, mediante los travesaños anteriormente descritos; de esta forma, se originan ángulos adecuados de las bielas de transmisión de cargas. Con la disposición mencionada, la reacción máxima en cada una de las líneas de apoyo alcanza 8200 Mp, y la biela de tracción que se produce en la base del travesaño debe soportar una carga pésima de 7800 Mp.

Figura 13.



5. FAMILIAS DE PRETENSADO

En la estructura se disponen cuatro familias de pretensado, que se resuelven mediante elementos de diferente tipología y cuya descripción figura en los apartados siguientes:

- ▼ Tirantes
- ▼ Pretensado longitudinal de tablero
- ▼ Pretensado de travesaños
- ▼ Pretensado de cabeza de pilono

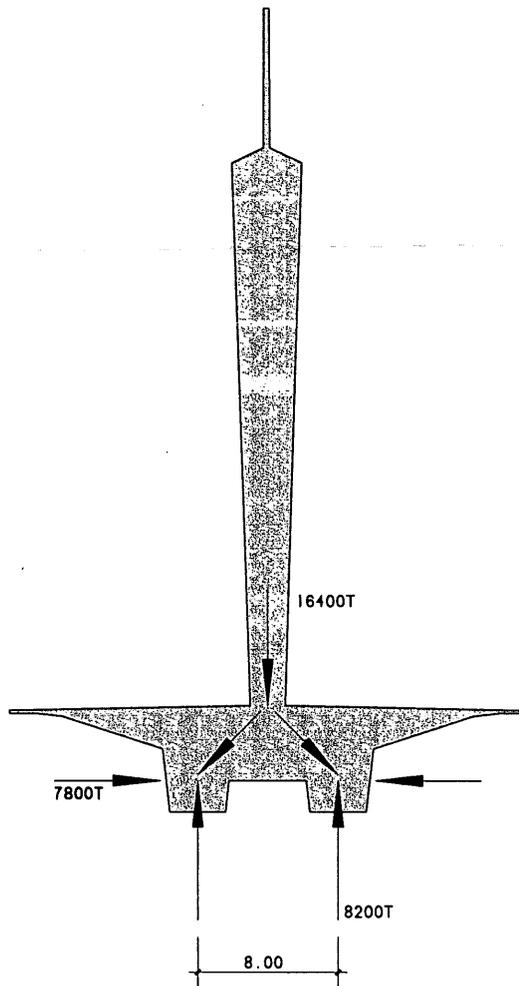
5.1. TIRANTES

El sistema de atirantamiento puede considerarse como una familia de pretensado de la estructura que ha sido resuelta mediante pretensado exterior. La composición, características y esfuerzos pésimos de cada uno de los tirantes de la estructura se recogen en el cuadro 1.

CUADRO 1

TIRANTE	COMPOSICIÓN	LONGITUD (m)	ESFUERZO MAXIMO (t)	ESFUERZO MINIMO (t)
1	83T15	60.3	949	787
2	67T15	56.1	761	645
3	48T15	52.2	534	459
4	81T15	62.7	930	767
5	71T15	46.5	811	662
6	65T15	30.9	742	624
7	79T15	62.7	926	733
8	70T15	46.5	825	649
9	67T15	30.9	786	638

Figura 14.



Los tirantes 1, 2 y 3 son los tirantes de contrarresto de los pilonos laterales, que se anclan en el tablero sobre las pilas P1 y P5. Los tirantes 4, 5 y 6 soportan los tramos centrales del tablero y se anclan en los pilonos laterales P2 y P4. Los tirantes 7, 8 y 9 soportan asimismo los vanos centrales del tablero y se anclan en el pilono central P3. Los tirantes 1, 4 y 7 son los correspondientes al nivel superior. En todos los casos, los tirantes se disponen por parejas simétricamente respecto al eje longitudinal del puente, respondiendo la descripción anterior a cada uno de los elementos de la pareja.

5.2. PRETENSADO LONGITUDINAL DE TABLERO

Los vanos centrales quedan sustentados elásticamente por los tirantes, de forma que no se requiere la disposición de pretensado longitudinal adicional, a pesar de la gran anchura del tablero (29.4 m) y la separación de tirantes (16 m) superior a la habitual en puentes atirantados de hormigón. Tampoco se dispone, en ninguna zona del tablero, pretensado transversal.

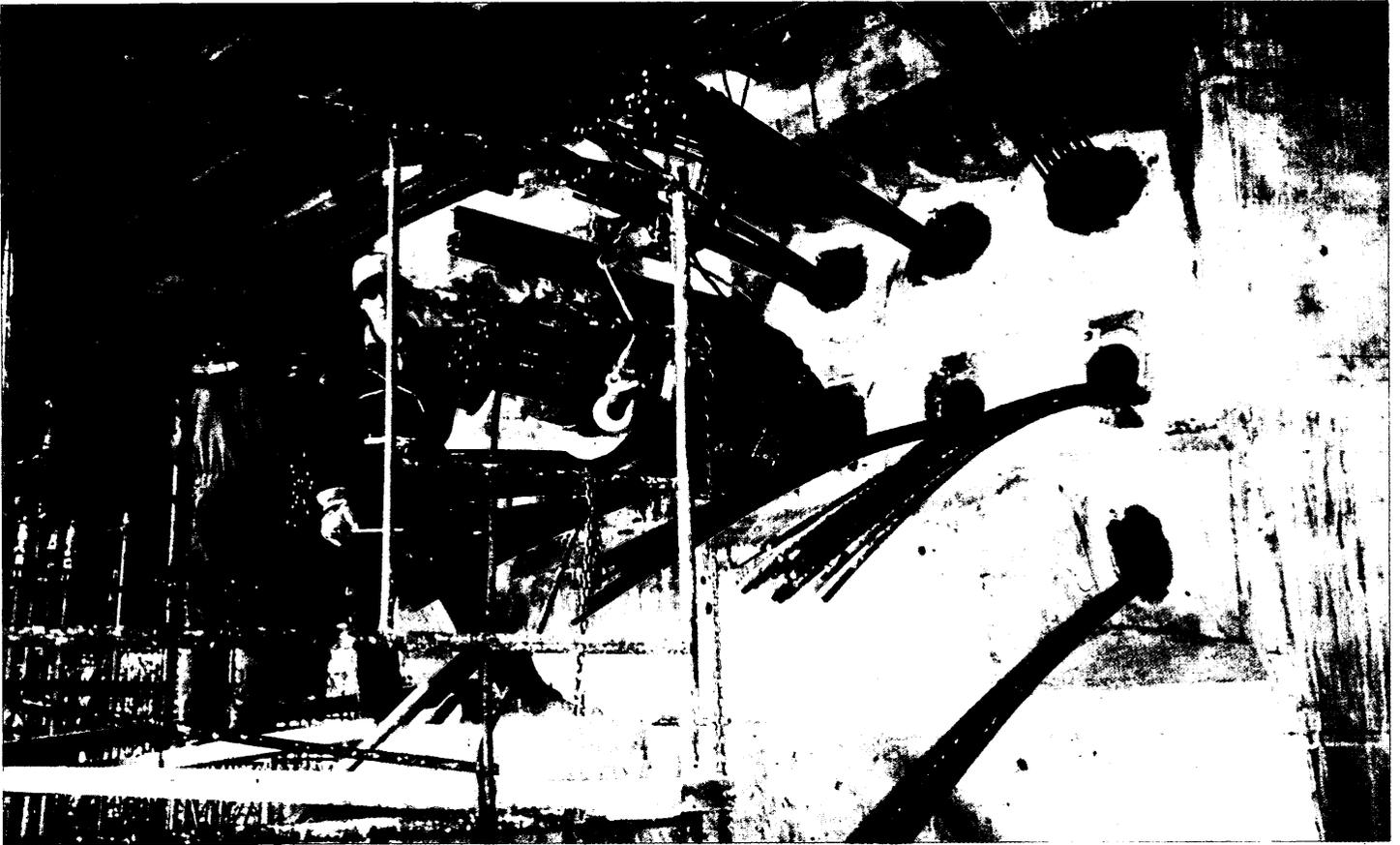
Los vanos laterales, con luces de 50 m y 34 m y sin sustentación de tirantes se pretensan en sentido longitudinal mediante 14 tendones de 24 torones de 15 mm de diámetro, tesados a 479 Mp desde ambos extremos. En el alma central se disponen 6 tendones y en cada una de las almas laterales 4 tendones. El pretensado longitudinal se ancla, por un lado, en la travesa de estribos (fotografía 12) y, por el otro, traspasa la travesa de pilono lateral, anclándose en la cara de la misma que da al vano central. El trazado de estos tendones es parabólico del tipo convencional en tableros continuos.

5.3. PRETENSADO DE TRAVESAÑOS

El pretensado de travesaños, que se dispone en la cara inferior de los mismos en sentido transversal al eje del puente, debe compensar los esfuerzos del tirante de tracción mencionado anteriormente. Se han dispuesto 15 tendones (fotografía 13) formados por 27 torones de 15 mm de diámetro, tesados a 560 Mp desde uno de sus extremos. Estos tendones fueron tesados en tres fases, para adaptarse a la progresiva transmisión de cargas a los apoyos durante la construcción del pilono y tesado de los tirantes. La primera fase correspondía al tesado de cuatro tendones, la segunda de cinco y la tercera de los seis tendones restantes.

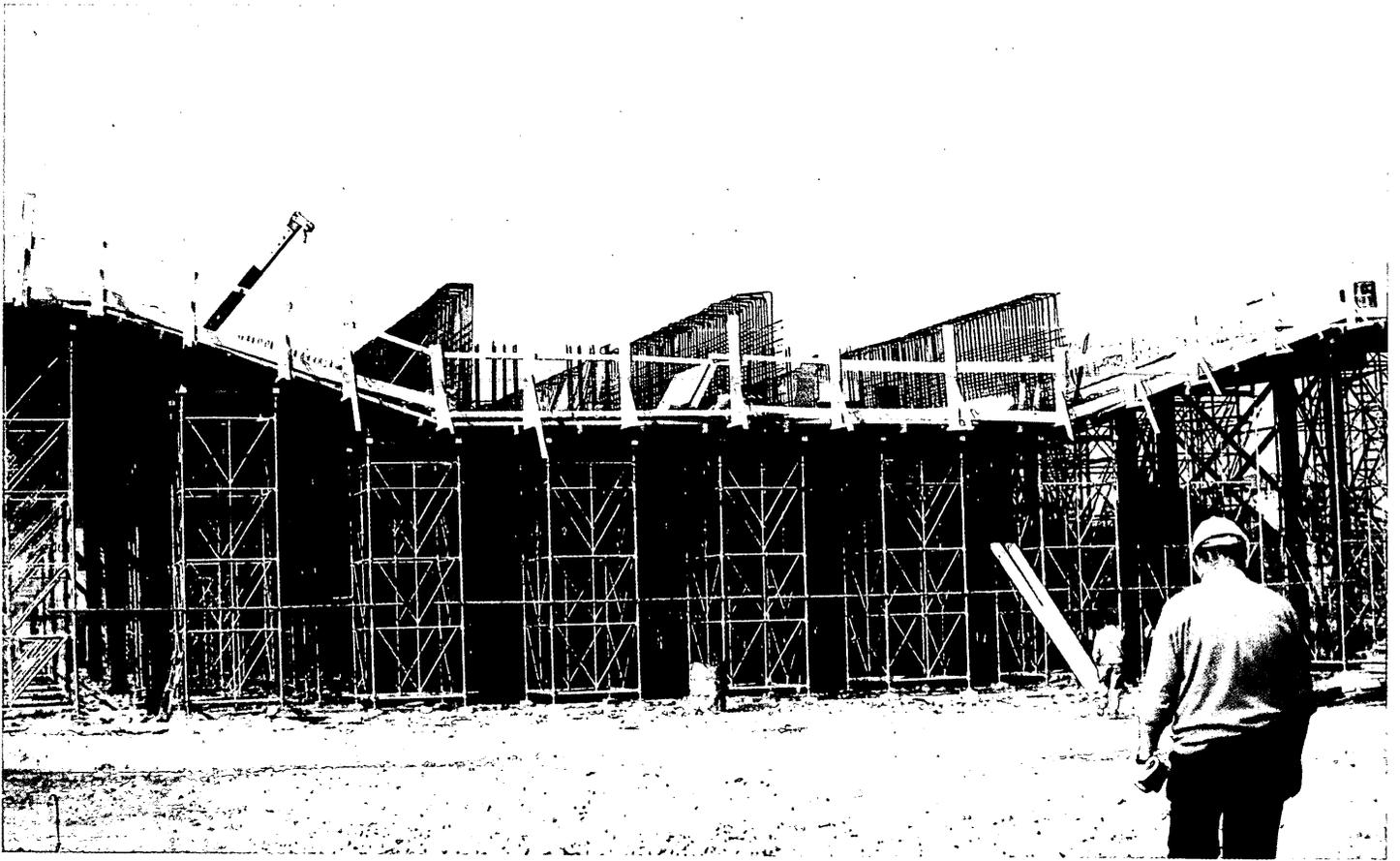
5.4. PRETENSADO DE CABEZA DE PILONO

Las zonas de anclajes de tirantes en los pilonos presentan una gran concentración de elementos (anclajes, trompetas, tubos, etc.) que deben ser dispuestos en un espacio reducido, lo que produce una gran complicación. Por otra parte, en dichas zonas se transmiten cargas muy elevadas



Fotografías 13 y 14.





Fotografías 15 y 16.



que por problemas geométricos deben disponerse con unas ciertas excentricidades inevitables. Esto produce estados tensionales complejos cuya solución mediante armaduras pasivas complicaría en extremo el hormigonado del pilono. Es por esto que se disponen pretensados transversales que soportan las tracciones con una mayor eficacia y menor ocupación de espacio.

El pretensado transversal de los pilonos (fotografía 14) se ha resuelto mediante barras de 32 mm de diámetro. El empleo de barras, en lugar de cables, se justifica por la escasa longitud de los pretensados que conduciría en el caso de los cables a pérdidas inadmisibles por penetración de cuñas. El número total de barras en cada pilono es de 15 a nivel de anclajes superiores, 11 en el nivel intermedio y 10 en el inferior.

6. CONSTRUCCIÓN

6.1. PROCESO CONSTRUCTIVO

La construcción del puente se realizó mediante hormigonado "in situ", con cimbrado convencional de todos los elementos estructurales. Las cimbras correspondientes al tablero (fotografía 15) se apoyaron sobre unos caballones de relleno del cauce de la ría. Debido a la necesidad de mantener permanentemente una capacidad de desagüe suficiente en la ría y a la concentración de dicha capacidad de desagüe en la zona central de la misma, la sustentación de la cimbra en esta zona se realizó a través de elementos metálicos hincados en el fondo del cauce (fotografía 16). El proceso

constructivo consta de seis fases diferenciadas que se describen a continuación:

- ▼ Fase 1.- Replanteo de la obra e inicio del caballón de acceso desde el lado Colindres hasta la pila P3.
- ▼ Fase 2.- Realización de los pilotes y alzados de las pilas P3, P4, P5 y del estribo frontal. Cimbrado, encofrado, ferrallado (fotografía 17), y hormigonado de los vanos 5 y 6 y la mitad del vano 4. Construcción del pilono P4. Colocación y tesado de los tirantes del pilono P4 (figura 15). Retirada de la cimbra de los vanos 5, 6 y mitad del vano 4.
- ▼ Fase 3.- Hincado de los pilotes metálicos provisionales para sustentación de la cimbra de la mitad restante del vano 4. Retirada del caballón de acceso desde el lado Colindres y posterior construcción del caballón del lado Santander. Construcción de las pilas P1, P2 y estribo dorsal. (figura 16)
- ▼ Fase 4.- Cimbrado y construcción de los vanos 1, 2 y la mitad del vano 3. Construcción del pilono P2. Colocación y tesado de los tirantes del pilono P2. Retirada de la cimbra de los vanos 1, 2 y mitad del vano 3.
- ▼ Fase 5.- Cimbrado y construcción del tablero en las mitades restantes de los vanos 3 y 4 (fotografía 18). Construcción del pilono P3. Colocación y tesado de los tirantes del pilono P3. Retirada de la cimbra del tablero en esta zona. Retirada del caballón del lado Santander. Eliminación de los pilotes metálicos provisionales.
- ▼ Fase 6.- Construcción de las dovelas de cierre (fotografía 19) en el centro de los vanos 3 y

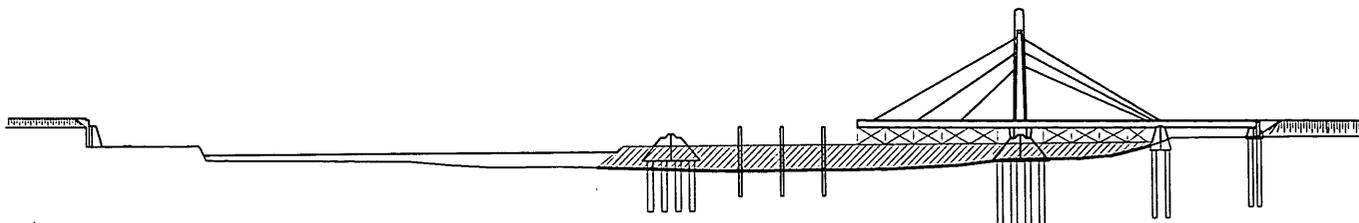
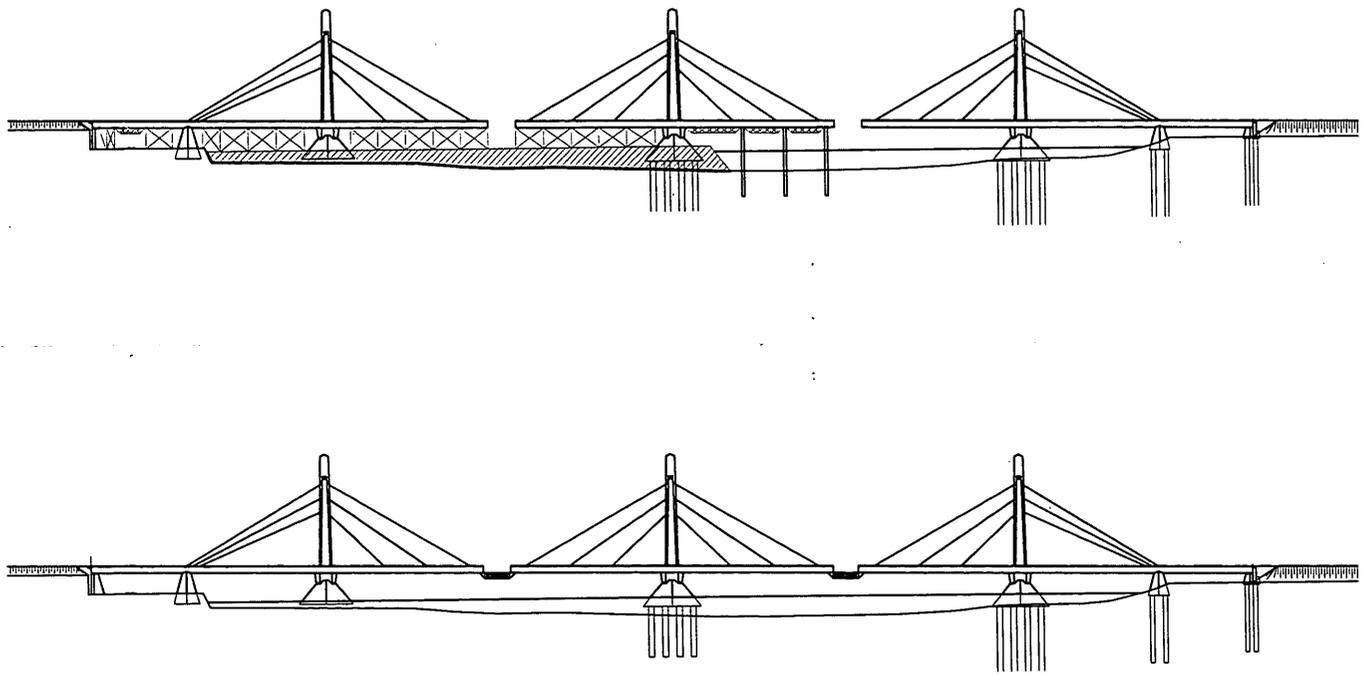


Figura 15.

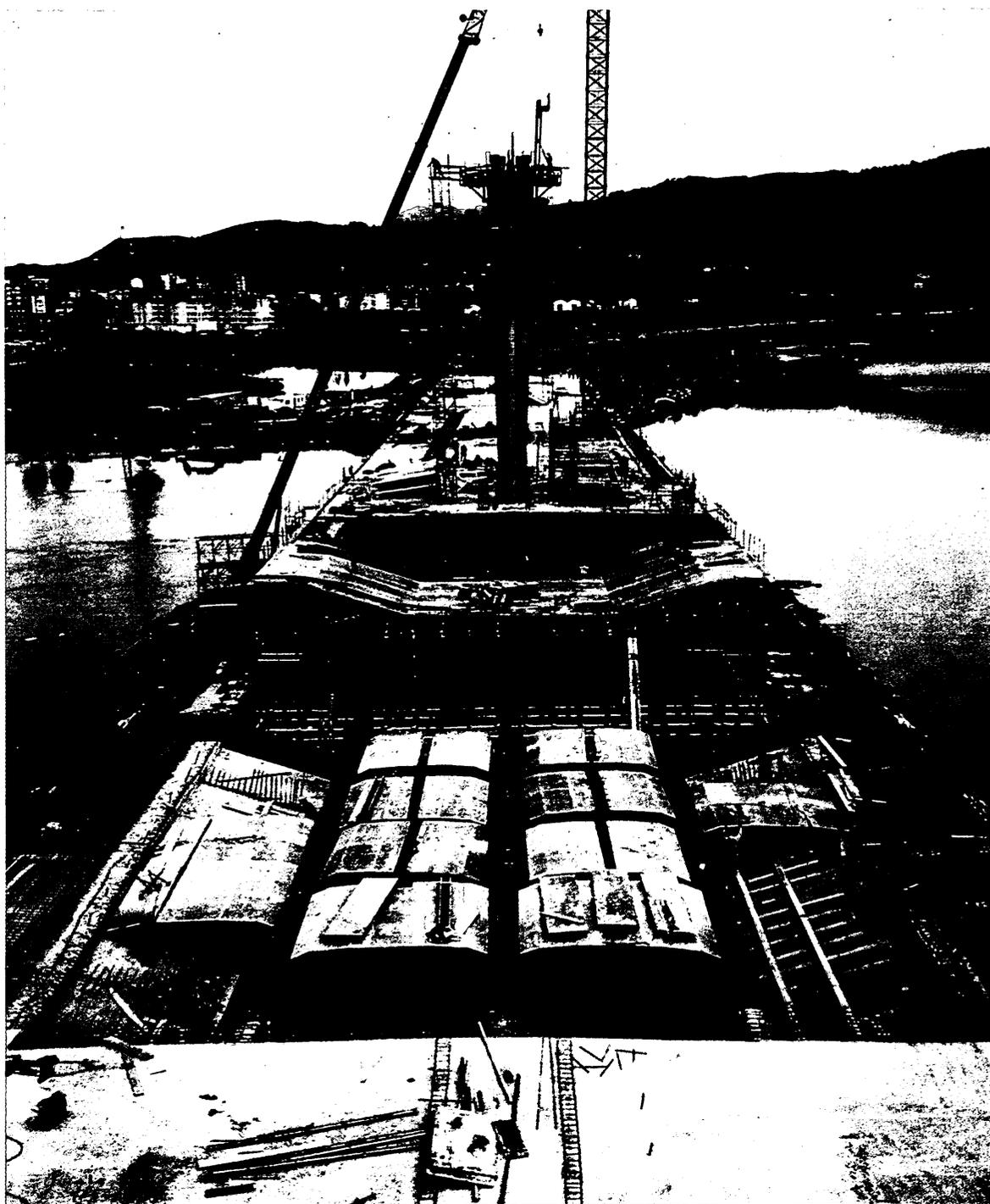
Fotografía 17.



Figuras 16 y 17.



Fotografía 18.

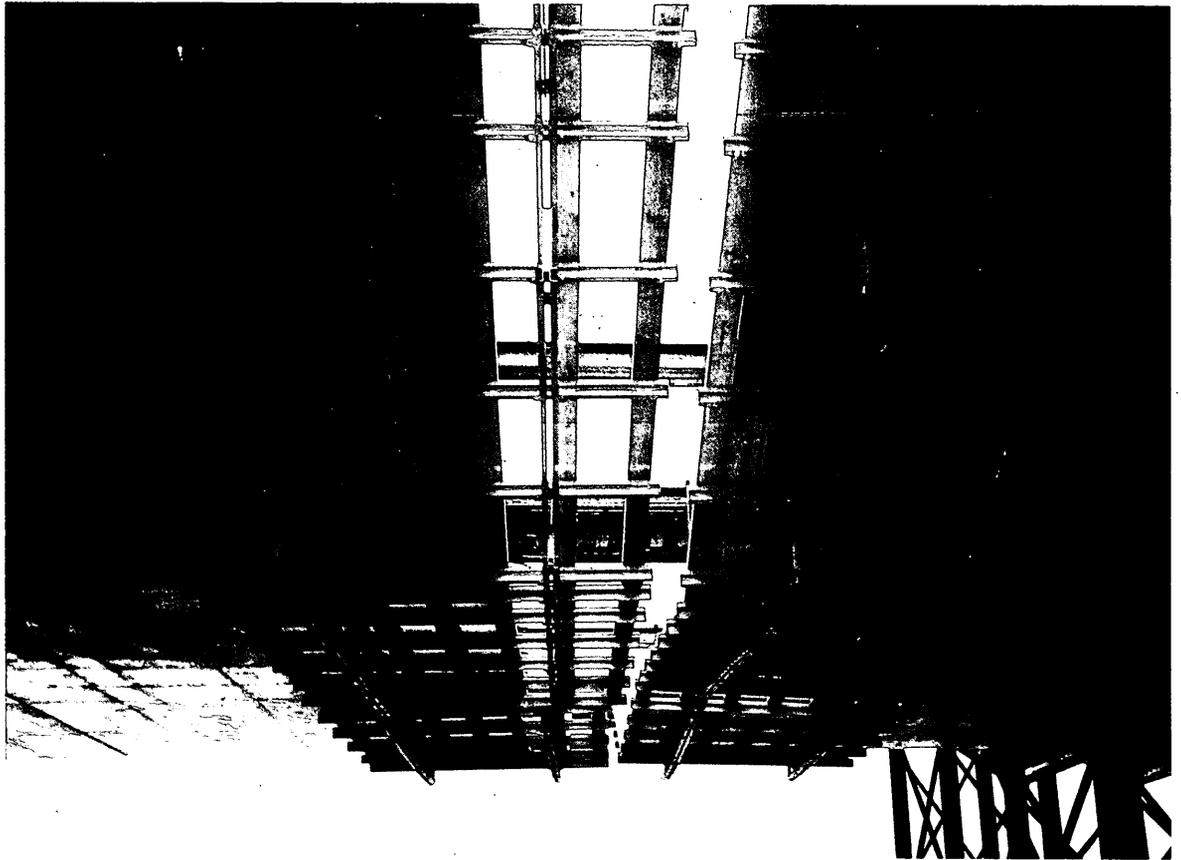


4, y retesado de los tirantes a sus valores finales (figura 17). Construcción y colocación de todos los elementos auxiliares. Prueba de carga (fotografía 20) de la estructura y apertura al tráfico (fotografía 21).

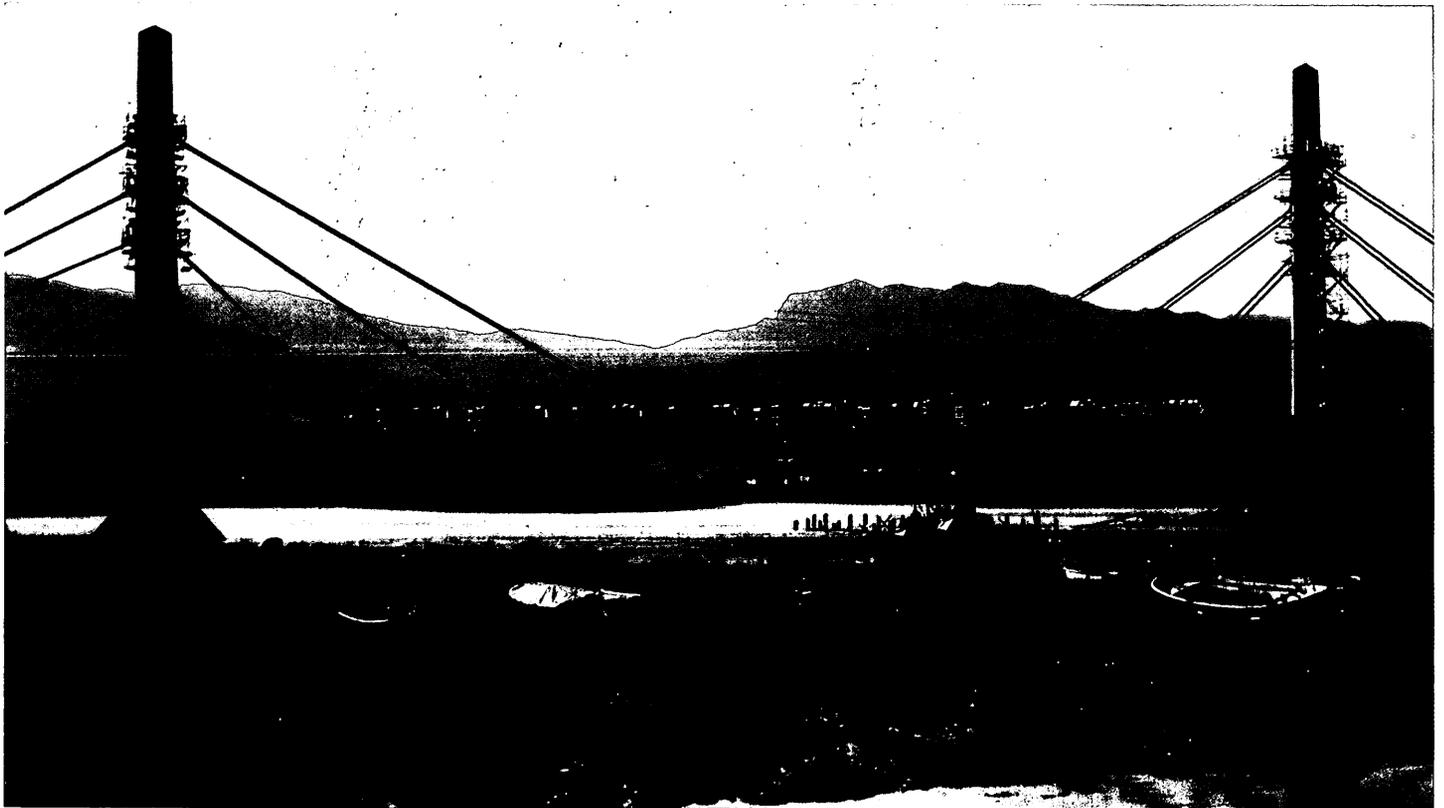
Para la construcción de las cimentaciones pilotadas, se realizaron sobre los caballones recintos

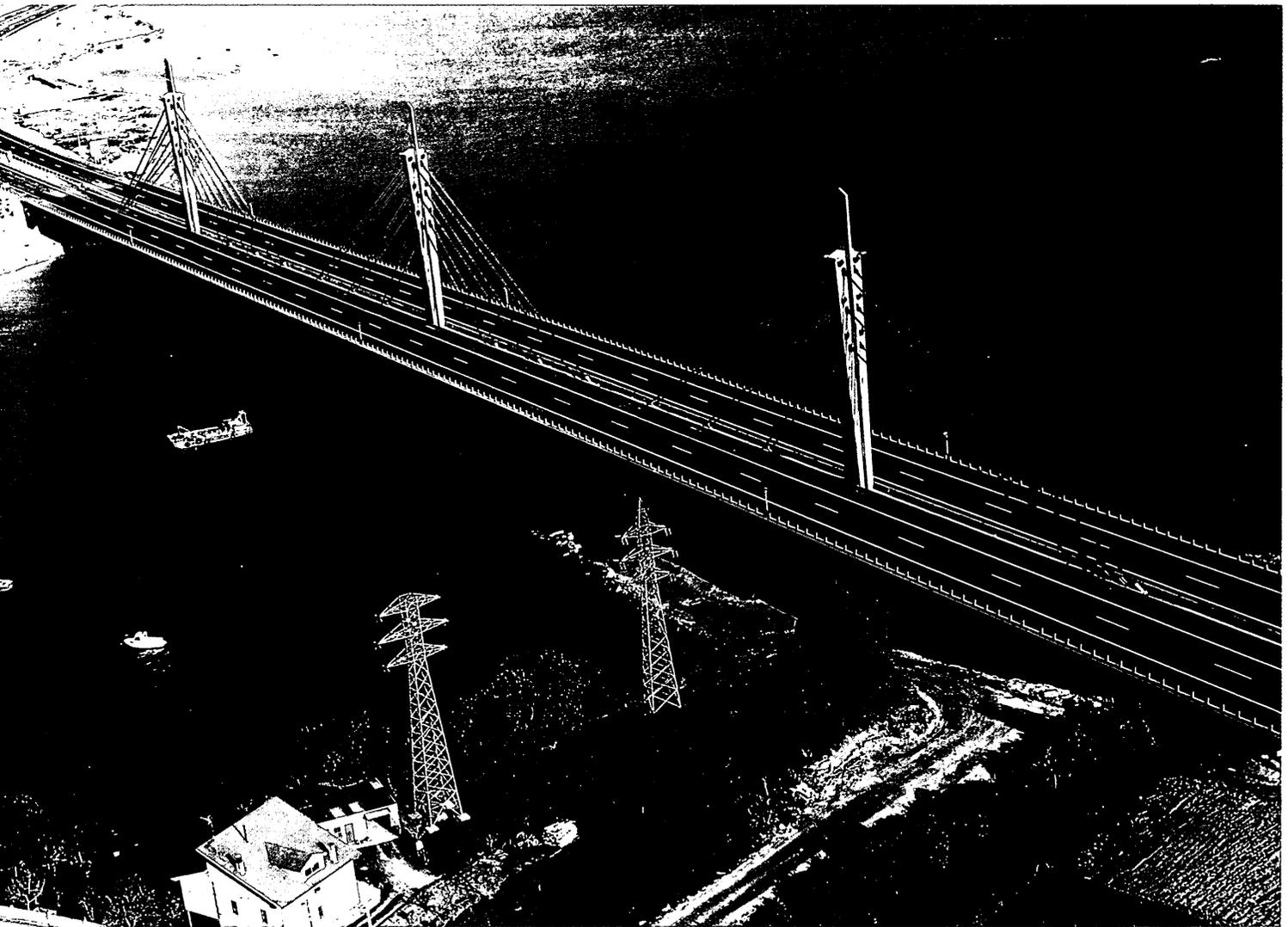
de tablestacas, que permitieron la excavación posterior hasta la cota de base de pila-encepado (fotografía 22), con objeto de proceder al descaezado de los pilotes ya realizados, extensión del hormigón de limpieza, ferrallado (fotografía 23) y posterior hormigonado por tongadas. Para evitar la disposición de un sistema de apuntalamiento en cabeza de las pantallas en el interior del recinto,

Fotografía 19.



Fotografía 20.





Fotografía 21.

que hubiera dificultado en grado sumo la construcción, se diseñó un anillo perimetral ovooidal de hormigón armado, apoyado sobre el terreno, al que se anclaron mediante barras las cabezas de las tablestacas (fotografía 24). Dicho anillo, trabajando prácticamente a compresión, constituía un elemento autoequilibrado en su plano, que no transmitía acciones a ningún otro elemento y que permitió mantener totalmente despejada el área de trabajo.

Los pilonos fueron construidos mediante encofrados trepadores (fotografía 25) en módulos de 2.50 m de altura. El movimiento de los encofrados se realizó mediante grúas apoyadas sobre el tablero.

El tesado de los tirantes se realizó mediante el sistema de isotensión, desarrollado por Freyssinet, que permite la puesta en tensión de unidades de

tirante de gran potencia mediante operaciones muy sencillas realizadas con un gato unifilar de gran ligereza.

6.2. PUESTA EN TENSIÓN DE LOS TIRANTES

En una estructura atirantada, el proceso de tesado de los tirantes es una operación particularmente delicada, debido a la gran sensibilidad del conjunto de la estructura a la tensión de los mismos. Por ello, durante la puesta en tensión de la estructura, deben medirse y controlarse una serie de magnitudes, cuyo análisis permite valorar el grado de adecuación de la evolución del comportamiento estructural a las previsiones del cálculo.

El proceso de tesado del puente se dividió en tres fases elementales, correspondiente cada una



Fotografía 22.

de ellas al tesado del conjunto de los tirantes que acometen a un mismo pilono, la posterior unión de dichas fases, el acabado de la plataforma y, por último, el retesado de los tirantes hasta llevarlos a la tensión de proyecto.

La fase I comprende la puesta en tensión de los cables que anclan en el pilono P4, la fase II corresponde a la puesta en tensión de los cables que parten del pilono central P3 y, por último, la fase III es aquella en la que se tesan los tirantes que acometen al pilono P2.

Previamente al comienzo del tesado de cada fase, se procedió al descimbrado de una zona de tablero próxima al pilono correspondiente, para evitar el acodalamiento del tablero contra la cimbra al acortarse el pilono, debido a la transmisión progresiva de cargas.

Cada fase se tesó en 3 niveles o subfases, que correspondían al tesado de los cuatro tirantes que anclan en el pilono a una misma cota. Para ello (fotografía 26) se dispusieron plataformas de trabajo a los tres niveles de anclaje. Se comenzó por

el nivel de cota más baja de anclaje (nivel 1), para terminar con el nivel de cuatro tirantes anclados a la cota más alta del pilono (nivel 3). En cada uno de estos niveles, se realizó el tesado por isotensión en una serie de ciclos, en los que se utilizó un gato unifilar para tesar todos los torones de ese nivel. Para aumentar el ritmo de los trabajos se realizaba una primera puesta de los cordones a tensión mínima (fotografía 27) y posteriormente se tesaban a su tensión prevista.

6.3. CONTROL DE EJECUCIÓN

A primera hora de la mañana y antes de realizar cualquier operación relacionada con la puesta en tensión de la estructura, se tomaba la medida de las magnitudes de control en el estado en que se encontraba la estructura, para reflejarlas en el correspondiente informe. Una vez concluida la toma de medidas, se continuaba el desarrollo normal del ciclo, nivel o fase, partiendo de la situación en que quedó el día anterior.

Ligado al desarrollo de los distintos niveles y fases, se efectuaba el tesado de los cables que constituyen el pretensado transversal del travesaño de cada fase.

El control a que fue sometida la estructura a lo largo del proceso de tesado de tirantes se concretó en la medición y análisis de la evolución de una serie de magnitudes que se enumeran a continuación:

- ▼ Movimientos
- ▼ Fuerza en tirantes
- ▼ Deformabilidad aparente de tirantes
- ▼ Temperatura

▼ Movimientos

Se llevó a cabo la medida de los movimientos verticales en diversos puntos del tablero y en cabeza de pilonos, y de movimientos horizontales en cabeza de pilonos. La precisión con que se realizaron las medidas fue de una décima de milímetro.

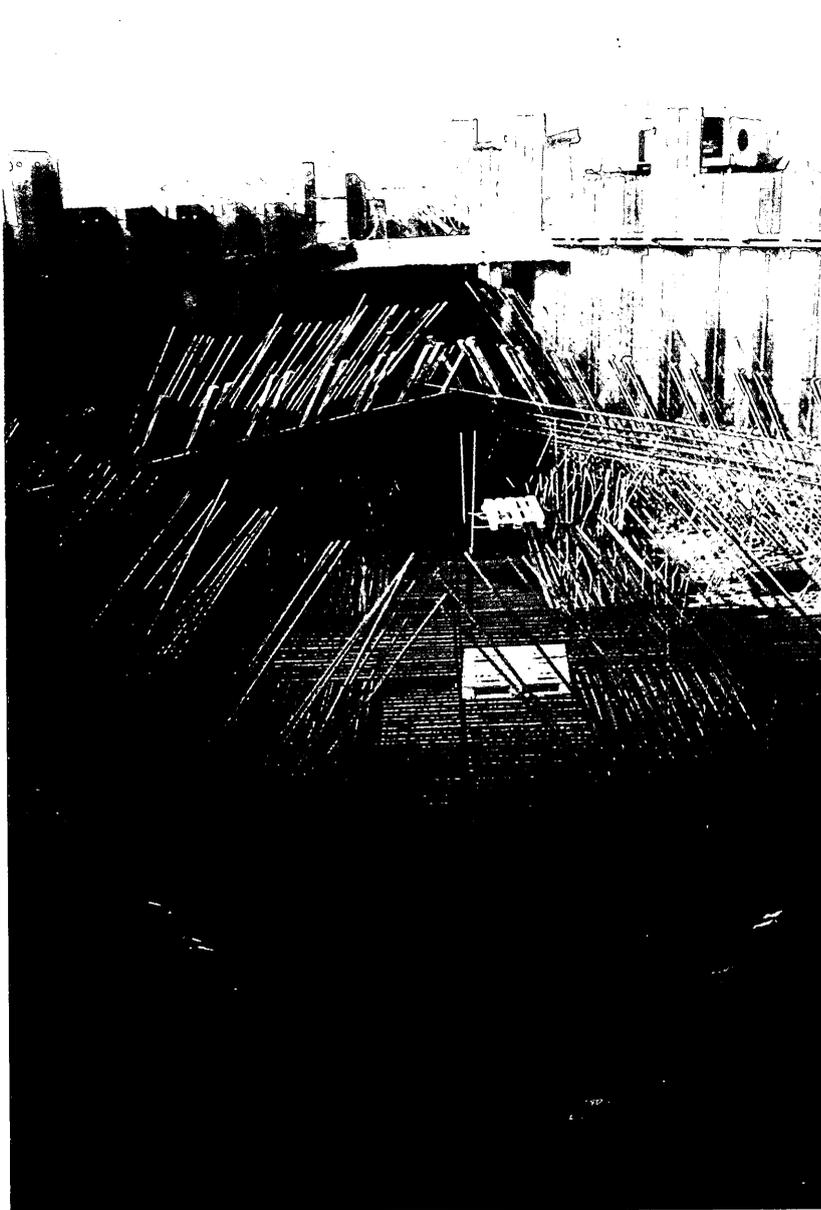
En cada una de las fases, antes del comienzo de la operación de tesado del primer tirante, se obtuvieron las cotas de los puntos de medida. Este fue el estado de referencia respecto al cual se midieron los movimientos que experimentaron dichos puntos en las distintas etapas de puesta en tensión de los tirantes de cada fase.

▼ Fuerza en tirantes

Se evaluaba la fuerza en los torones ya tesados del nivel en ejecución y de los anteriores, mediante pesaje estadístico con el gato unifilar, en el mismo instante en el que se medían los movimientos de los puntos de control.

▼ Deformabilidad aparente de tirantes

Una vez completado el tesado de todos los torones que constituyen cada tirante, se efectuaba el retesado del conjunto del tirante mediante el gato unifilar, hasta alcanzar el valor exacto de la tensión inicial. En esta operación se medía la deformabilidad aparente final del tirante en anclaje, expresada en mm/Ton, que corresponde a la longitud de cable recogido por unidad de incremento de fuerza de tesado aplicada.



Fotografía 23.

▼ Temperatura

Se medía la temperatura en las caras superior e inferior de tablero, y dorsal y frontal de los pilonos, en el mismo instante en que se efectuaban las medidas de los movimientos. La precisión con que se realizaban las medidas era de un grado centígrado.

Todos los datos anteriores se recogieron en unas fichas (figura 18) preparadas al efecto, cuyos datos se procesaban de forma inmediata en el estudio, procediéndose a la realización de las correcciones oportunas en las instrucciones de montaje de las operaciones posteriores.

Figura 18.

VIADUCTO SOBRE LA RIA DEL ASON	CONTROL DEL PROCESO DE TESADO
PROES S.A. PROYECTOS Y ESTRUCTURAS	
FASE I	
FECHA: _____ HORA: _____	

ESTADO DE LA CONSTRUCCION

NIVEL 1				NIVEL 2				NIVEL 3			
6i	6d	3d	3i	5i	5d	2d	2i	1i	1d	4d	4i
5	10	7	7	5	10	10	10	5	10	10	10
10	10	7	7	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	7	7	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	7	7	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	7	7	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	7	7	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	7	7	10	10	10	10	10	10	10	10
10	5	6	6	10	10	7	7	10	10	10	10
				6	1	-	-	8	3	1	1

OBSERVACIONES:

MEDIDAS DE MAGNITUDES DE CONTROL

MOVIMIENTOS (mm)	TENSIONES (Ton)	ELONGABILIDAD (mm/Ton)	TEMPERATURA (°C)
V _{1,1}	6i	Δ6i	T _{1,1}
V _{1,2}	6d	Δ6d	T _{1,2}
V _{1,3}	3d	Δ3d	T _{1,3}
V _{1,4}	3i	Δ3i	T _{1,4}
V _{1,5}	5i	Δ5i	T _{1,5}
V _{1,6}	5d	Δ5d	T _{1,6}
V _{1,7}	2d	Δ2d	
H _{1,7}	2i	Δ2i	
V _{1,8}	1i	Δ1i	
V _{1,9}	1d	Δ1d	
	4d	Δ4d	
	4i	Δ4i	



Fotografía 24.

7. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

7.1. HORMIGONES

La resistencia característica de los hormigones empleados en cada uno de los elementos de la estructura es:

- ▼ Tablero350 Kp/cm²
- ▼ Pilonos350 Kp/cm²
- ▼ Travesaños350 Kp/cm²
- ▼ Pilas.....250 Kp/cm²
- ▼ Estribos250 Kp/cm²
- ▼ Pilotes200 Kp/cm²

7.2. ACERO DE TIRANTES Y TENDONES DE PRETENSADO

Los tirantes, al igual que los tendones de pretensado, están constituidos por torones de 15 mm de diámetro, formados por siete alambres; el acero es de baja relajación y su tensión de rotura es superior a 190 Kp/mm², con un límite elástico mínimo de 170 Kp/mm².

7.3. ACERO DE BARRAS DE PRETENSADO

Las barras de pretensado utilizadas en el pilono, en la zona de anclaje de tirantes, son de 32 mm de diámetro y están elaboradas con un acero cuya tensión de rotura es superior a 125 Kp/mm², con un límite elástico mínimo de 110 Kp/mm².

7.4. ACERO PASIVO

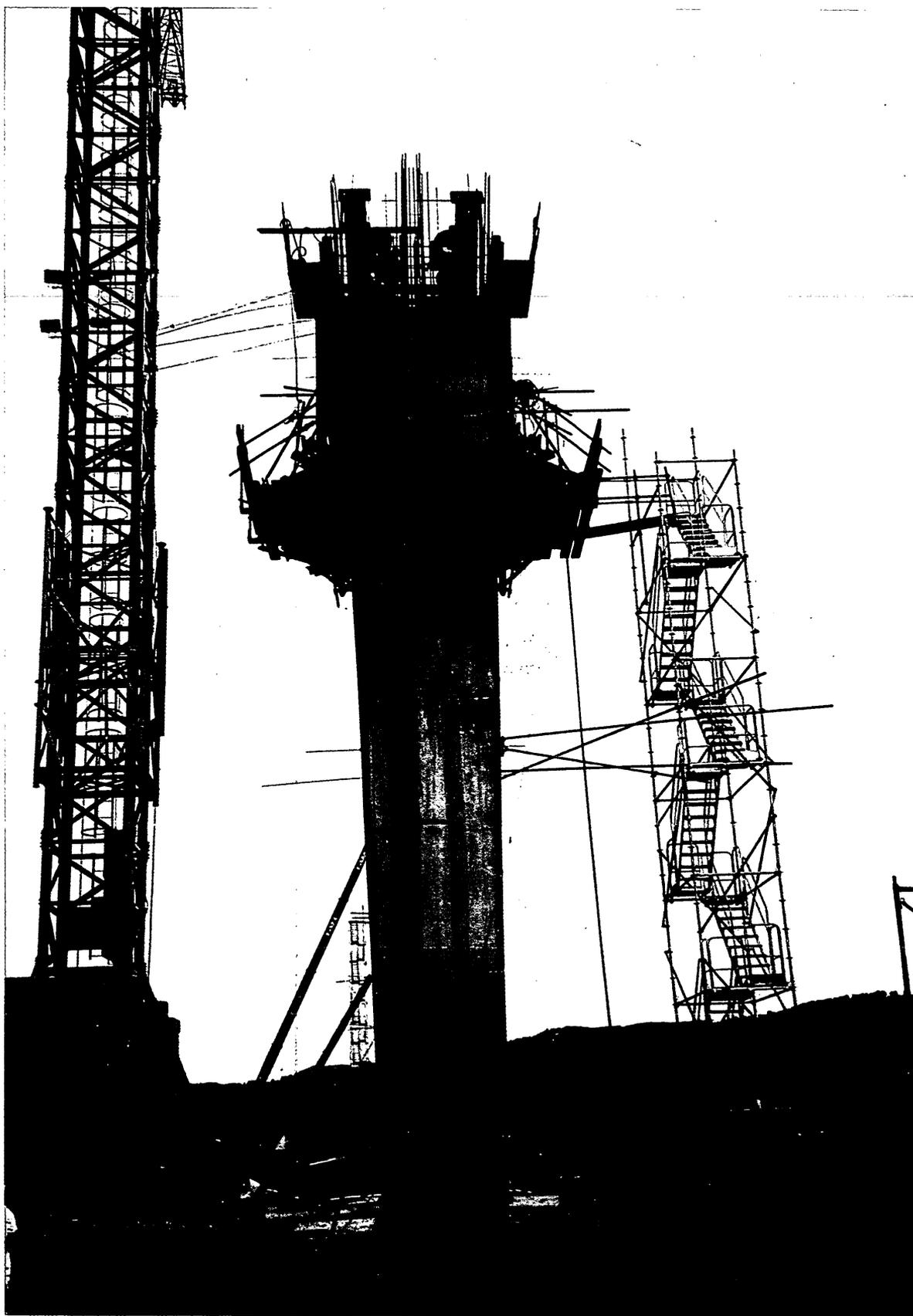
Se han utilizado barras de acero corrugado de límite elástico 5.100 Kp/cm², procedentes de un acero soldable AEH 500 S.

7.5. CUANTIAS PRINCIPALES DE MATERIALES EN TABLERO

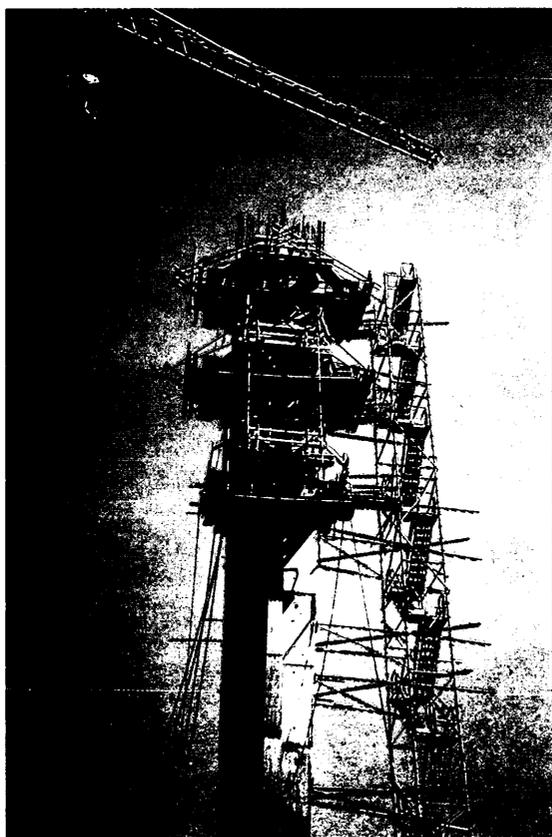
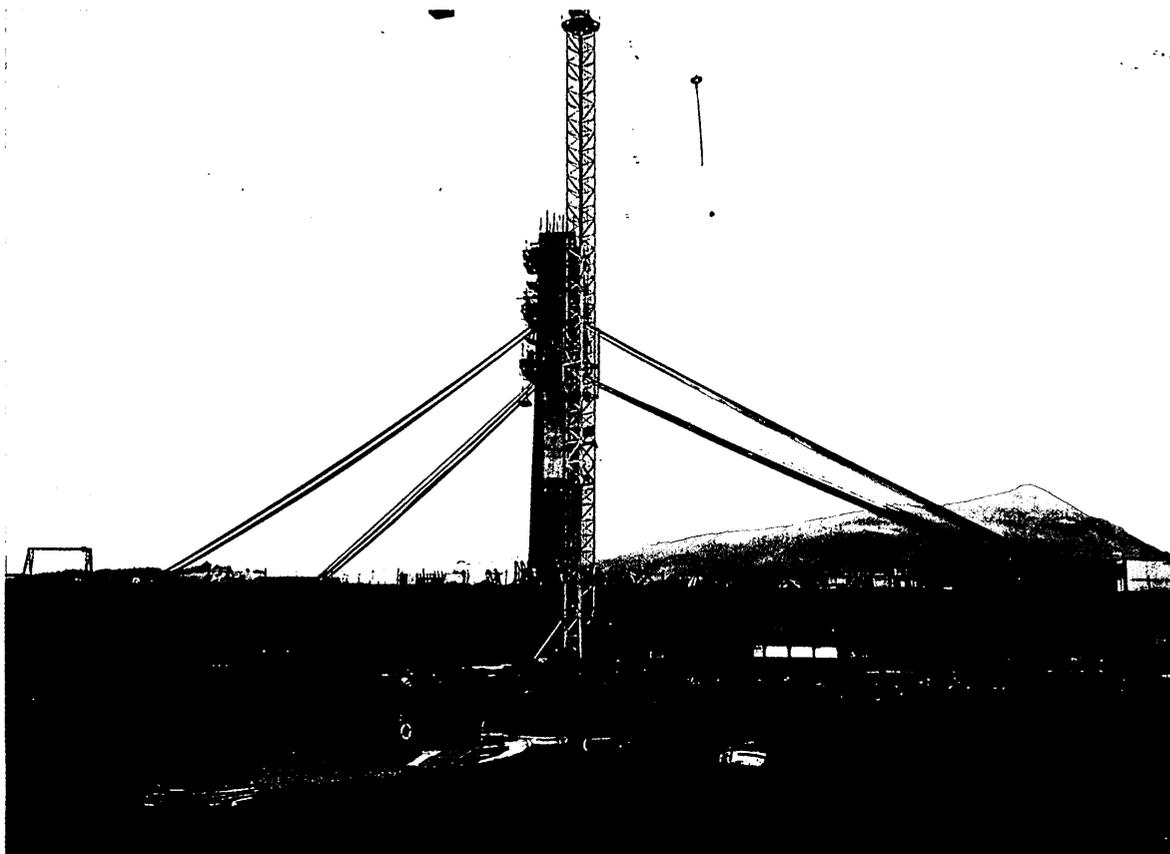
Las cuantías principales de materiales utilizados en el tablero son las siguientes:

- ▼ Hormigón H-3500.54 m³/m²
- ▼ Acero de tirantes.....11.9 Kg/m²
- ▼ Acero de tendones de pretensado5.5 Kg/m²
- ▼ Acero pasivo140 Kg/m³

Fotografía 25.



Fotografías 26 y 27.



8.- FICHA TÉCNICA

Promotor

Ministerio de Obras Públicas Transporte y Medio Ambiente. Demarcación de Carreteras del Estado en Cantabria

Autor del Proyecto

PROES S.A.

Ingenieros de Caminos:

Florencio del Pozo Frutos
Florencio J. del Pozo Vindel
José M^a Arrieta Torrealba

Arquitectos:

Fernando Casqueiro Barreiro
Javier Vizcaino Monti

Empresa Constructora

CUBIERTAS Y MZOV S.A.

Ingeniero Director de las Obras

José A. Herrero Gómez (MOPTMA)

Jefe de Obra

Rafael Pagán de la Fuente (CMZ)

Pretensado y sistema de tirantes

FREYSSINET S.A. (España)

Cimentaciones

ICOS S.A.