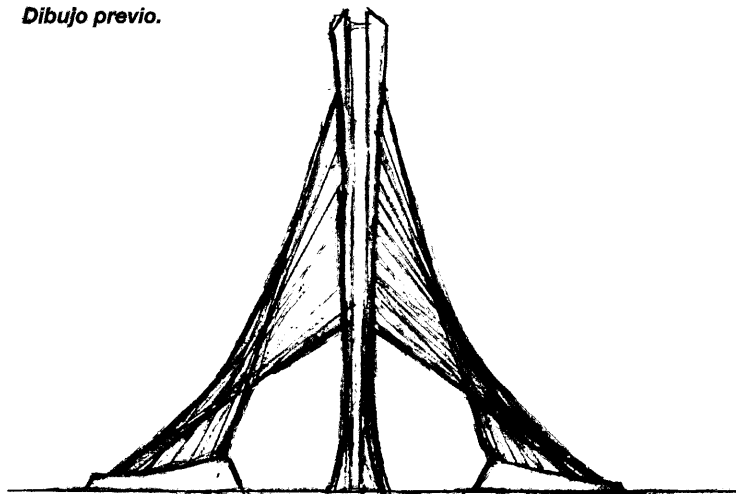


EL PROYECTO DEL PUENTE SOBRE EL RÍO LÉREZ EN PONTEVEDRA

Leonardo Fernández Troyano.
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
Carlos Fernández Casado S.L.

La Federación Internacional del Pretensado, dentro de sus "Premios Anuales para Estructuras Nobles" ha otorgado al Puente sobre el Río Lérez su Mención Especial 1998. Proyectado por el consulting Carlos Fernández Casado, S.L., se ponen de nuevo de actualidad las características principales de este trabajo que desarrollamos a continuación siguiendo nuestra línea de recoger con la máxima amplitud posible los trabajos realizados por los consultores españoles.

Dibujo previo.



El que ya es quinto puente sobre el río Lérez en la ciudad de Pontevedra, cruza la ría del mismo nombre cuando su anchura es de 125 m., lo que recomendaba una solución a base de una estructura de un solo vano, con estribos en ambas márgenes. Así, se obtenía una estructura que se encuadraba entre las escasas que existen de tales dimensiones.

Asimismo, y entre las distintas soluciones estudiadas, como arco superior, viga triangulada, puente colgante, se escogió un puente atirantado por su mayor expresividad y modernidad, obteniéndose la compensación de fuerzas en la torre mediante contrapesos colocados en la orilla más allá del puente, junto a las rampas de acceso al mismo.

El tablero, pues, está fijado a dicha torre, dando así carácter al puente: al estar construida la citada pila en la margen izquierda, la que corresponde al centro histórico de la ciudad, se obligaba a un especial cuidado de su aspecto formal.

El tablero del puente, cuya anchura total es de 20 m., consta de dos vías de siete metros, una mediana central de dos metros y dos aceras de la misma anchura.

Su sección transversal, que ha de ser lo más estrecha posible, se resolvió con un cajón de celda simple de 2 m. de altura con diafragmas rigidizadores colocados en su interior cada 3 m.

DESCRIPCIÓN GENERAL

Ya se ha señalado que la luz del puente entre la base de la torre y el estribo derecho es de 125 m. y que el puente tiene un solo vano, anclado en una torre única inclinada, situada en la margen izquierda. Cuatro haces de cables se radian desde la torre. Los dos que sostienen el tablero están colocados en dos planos paralelos, se-

parados 0,7 m. y anclados en la mediana.

La compensación de los tirantes que sustentan el tablero se consigue mediante dos haces de tirantes divergentes que parten de la torre y se anclan en los contrapesos situados en las isletas laterales de la intersección de la margen izquierda del puente.

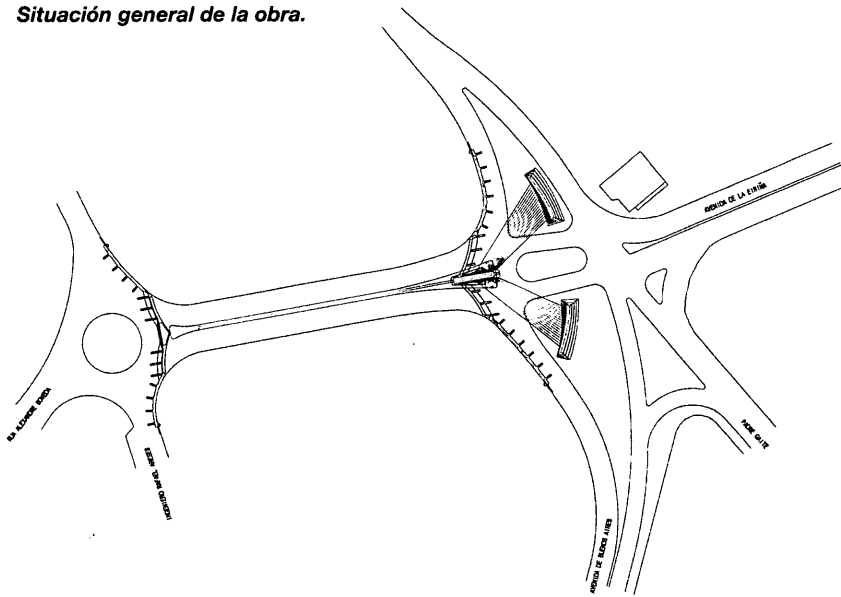
La compensación de la componente vertical ascendente de las fuerzas de los tirantes traseros se resiste en parte mediante el peso de los contrapesos de hormigón, y en parte mediante anclajes pretensados a la roca subyacente.

El polígono de fuerzas que actúan sobre el conjunto del puente es lo que da forma a los distintos elementos:

La resultante de las fuerzas de los tirantes delanteros y traseros tiene la inclinación de la parte superior de la torre; de esta forma los momentos en ella son mínimos, y debidos fundamentalmente a la oscilación de las sobrecargas.

En la unión torre-tablero, la fuerza axial de la torre se compone con la del tablero, ambas debidas a los tirantes; por ello,

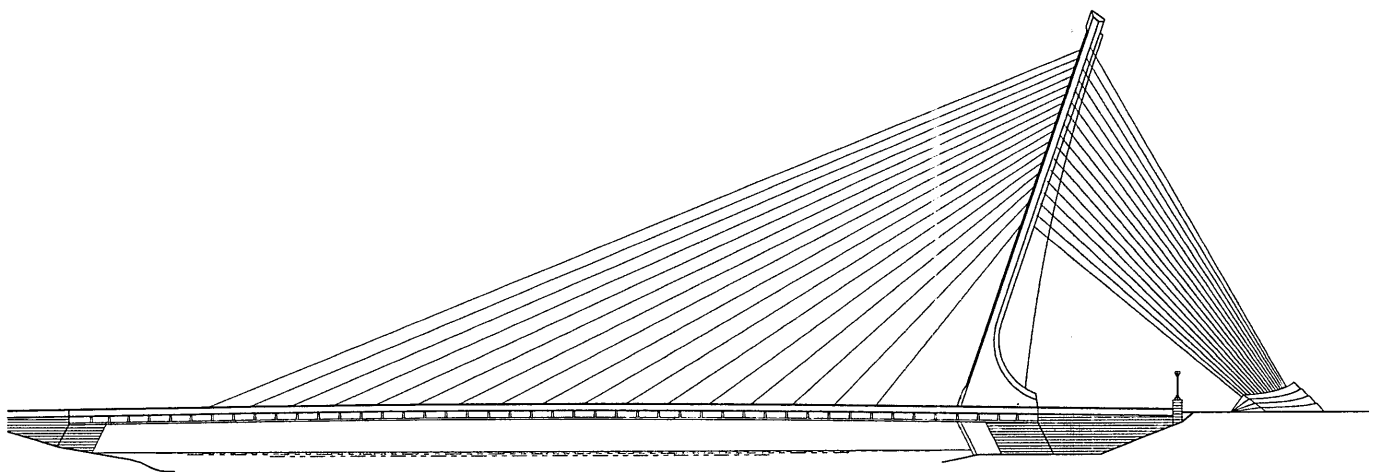
Situación general de la obra.



la nueva resultante tiene una inclinación en sentido contrario a la de la torre. Ambas inclinaciones, la de la torre y la de su base, se han compensado, para que el conjunto sea estable durante todo el proceso de construcción, y para conseguir una mayor expresividad formal del conjunto.

La componente horizontal de la fuerza inclinada de la base de la torre que llega a la zapata, y a la que los tirantes transmiten al contrapeso, se equilibran mutuamente mediante unas vigas que enlazan estos elementos, permitiendo el cierre del polígono de fuerzas.

Plano general. Alzado.



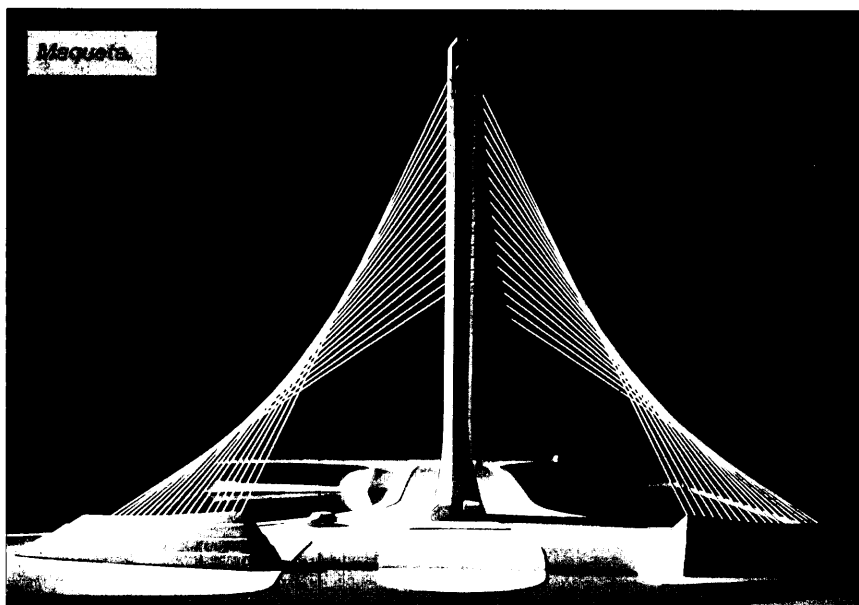
ALZADO

El tablero del puente está atirantado en el eje mediante dos planos de cables gemelos y por ello su comportamiento longitudinal es el de una viga sobre apoyos elásticos cada seis metros, sin coacción ninguna a torsión que deberá transmitirse a los extremos del puente, donde los apoyos situados en los bordes del cajón estabilizan el puente a este efecto.

Su comportamiento transversal es el de una doble ménsula de 10 metros de vuelo apoyada en los anclajes de los tirantes que están situados en el centro de la sección.

Las condiciones resistentes anteriores han llevado a organizar la sección transversal del tablero en cajón monocelular, solución muy adecuada para resistir las torsiones con costillas transversales cada tres metros, que resisten la flexión transversal y transfieren toda la carga del tablero a los anclajes, situados cada seis metros en el centro del cajón. La flexión de la losa superior debida a las cargas directas del tráfico se limita a la luz de tres metros que hay entre las costillas.

En los puentes atirantados desde una sola torre, la flexión longitudinal máxima se produce a consecuencia del apoyo extremo, que es muy rígido en relación con los apoyos elásticos que generan los tirantes. La flexión longitudinal, la flexión transversal y la torsión, obligan a dar al tablero un canto de dos metros, valor muy de acuerdo para un puente atirantado de estas características. El canto de dos metros tiene además la ventaja de que el interior del cajón es accesible, lo que permite actuar en los tirantes desde el tablero.



CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

1.- TABLERO

El cajón monocelular que forma el tablero tiene forma trapezoidal, con una base inferior de siete metros y una base superior de nueve, prolongada con voladizos de cinco metros y medio; el canto total es de dos metros.

Las losas superior e inferior del cajón tienen 0,20 metros de espesor, salvo un tramo de 33 metros de longitud de la inferior que se recrece a 0,30, debido a que es la zona de máximos momentos; estos 33 metros están situados a 15 metros del estribo de margen derecha, es decir el opuesto a la torre. Las almas tienen un espesor de 0,30 metros.

El tablero se arma longitudinalmente con un pretensado inicial casi constante, que es necesario para el proceso de construcción, y que necesita empalmes en una dovela sí y otra no. Este pretensado se ha resuelto con 8 unidades de 17 de 0,6" situados en unos recrecidos de la losa superior, con empalmes cada 12 metros.

Al pretensado del proceso de construcción se suma el pretensado debido a la flexión longitudinal de sobrecarga, generada en gran parte por el apoyo rígido de la torre y el del estribo opuesto a la torre. Este pretensado, que no necesita empalmes, se resuelve con unidades de 12 cables de 0,6". Se introduce una vez que el puente se ha apoyado en el estribo 2; estas unidades van desde unos cajetines situados sobre la losa inferior en el interior del cajón, hasta los extremos del tablero. En el lado de la torre existe también pretensado en la losa superior que se pretensa desde el extremo del tablero y son ciegos en la losa.

La sección transversal del tablero tiene 20 m. de ancho y está formada por un cajón monocelular. Este cajón está sustentado por pares de tirantes que se anclan en el centro de la sección

cada 6 m. con una separación entre ellos de 0,70 metros. Para resistir la flexión transversal del tablero se han dispuesto diafragmas transversales cada 3 m., de forma que uno sí y otro no, coinciden con los anclajes de los tirantes. Estos diafragmas están aligerados, lo que da lugar realmente a una triangulación de la sección.

Los voladizos laterales se soportan con costillas aligeradas, que funcionan como tornapuntas que refieren la carga del voladizo a la base de las almas.

La triangulación interna del cajón está formada por dos diagonales, que van del centro de la losa superior a las esquinas inferiores del cajón. Esta triangulación funciona de forma inversa en las secciones con anclajes de tirantes y en las que no los tienen.

Las que tienen anclajes, deben transferir las cargas de las almas a los anclajes de los tirantes, y por tanto aparece una tracción en ellas que se resiste con armadura activa en forma de cables sombrero; esta armadura consta de dos unidades de 9 cables de 0,6".

En los diafragmas que no tienen anclajes, la triangulación interior sirve para referir la carga de la losa superior a las almas, y por tanto aparece en ellas una compresión debida a esta carga. Las almas tendrán una tracción debida a la carga inclinada que aparece en su borde inferior, que se resiste mediante dos barras pretensadas de 32 mm. de diámetro.

En los extremos del puente, el tablero se ensancha debido a las curvas de los accesos al puente desde las calles de borde del río. Este ensanchamiento se ha resuelto ensanchando los voladizos laterales y también el cajón; las costillas se van girando radialmente, siguiendo la curva del borde del tablero.

En el lado de la torre, el tablero se empotra en ella y en los muros laterales solidarios a ella, de forma que tablero, torre, y estribo, forman una unidad.

En la margen derecha, el cajón se apoya sobre el estribo, y los voladizos laterales se terminan en unas vigas transversales curvas que vuelan desde la riostra extrema del cajón, en cuyos extremos se sitúan los apoyos. Esta viga en voladizo tiene una armadura activa formada por dos unidades de 19 de 0,6".

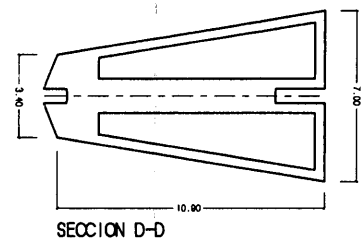
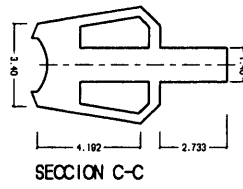
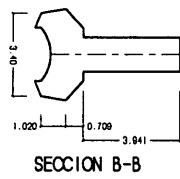
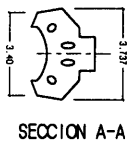
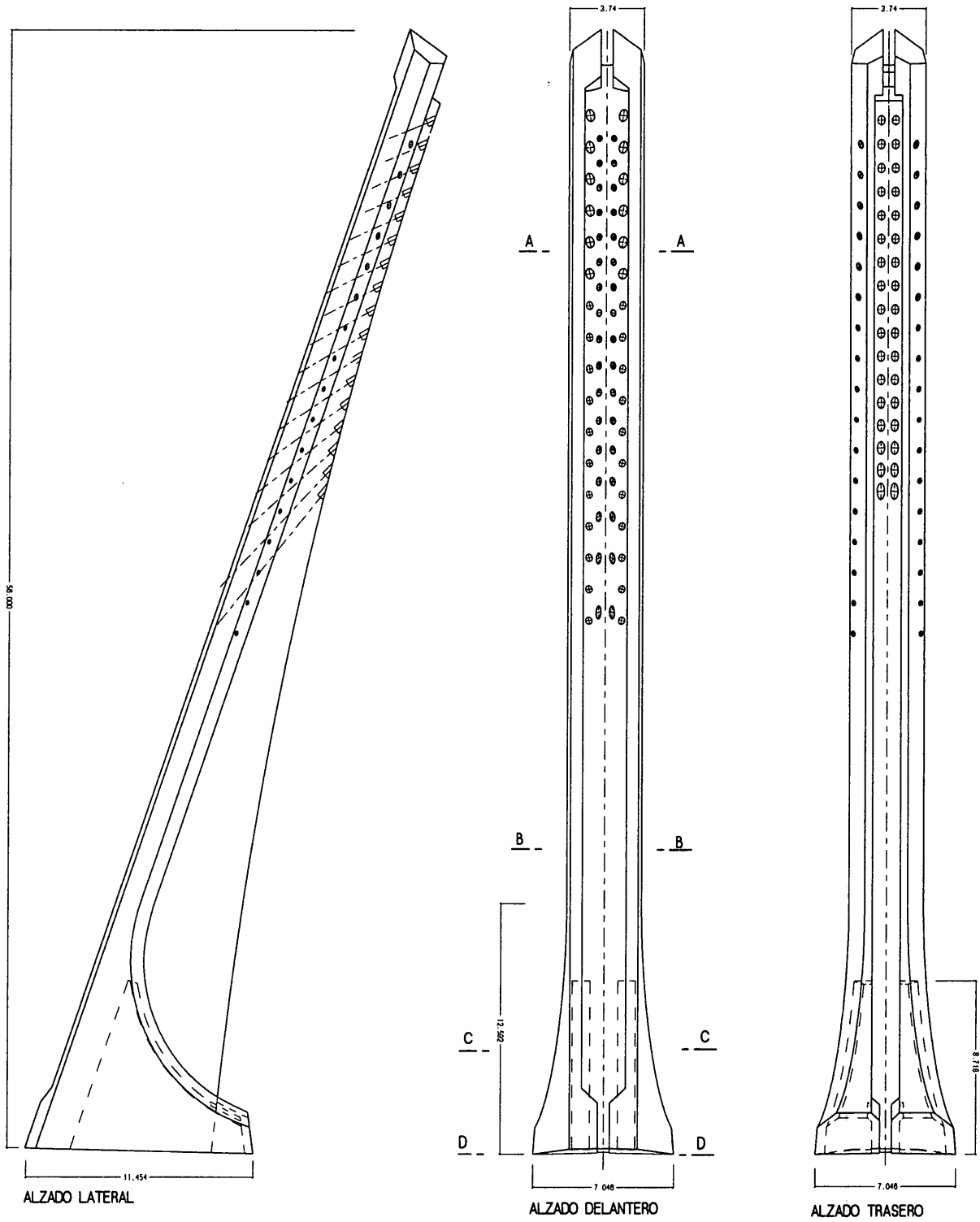
El tablero se apoya sobre el estribo 2 mediante dos apoyos de neopreno armado de 600 x 700 x 130 mm.

El hormigón del tablero tiene una resistencia característica de 450 Kg/cm².

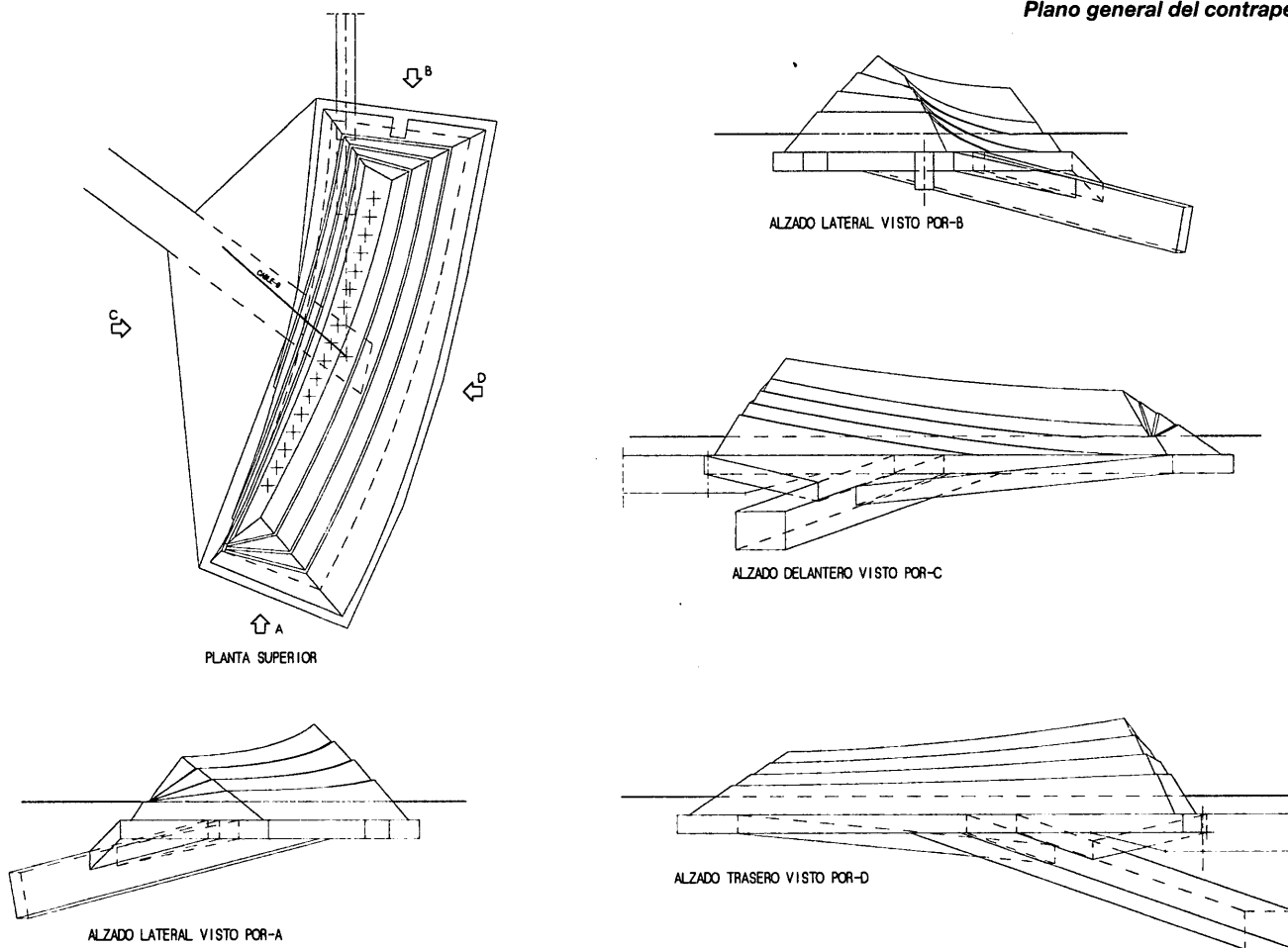
2.- TORRE

La torre sirve de anclaje a los tirantes delanteros que soportan el tablero, y a los de compensación, cuya misión es transformar el tiro de los tirantes delanteros del tablero en una fuerza axil en la torre, reduciendo al mínimo los esfuerzos de flexión en ella.

Características geométricas de la torre.



Plano general del contrapeso.



peso del hormigón de los contrapesos, y mediante los anclajes pretensados que se fijan a la roca del subsuelo.

La componente horizontal de la fuerza de los tirantes equilibra con la fuerza horizontal que la torre transmite a la zapata, a través de unas vigas inclinadas que unen la base de la torre y los contrapesos.

El plinto de los contrapesos tiene sección cuasi-triangular, aunque una de las caras del triángulo tiene un quiebro, para asegurar que el tirante sale perpendicular a la superficie donde están situadas las salidas de los tirantes. La planta de los plintos es pseudo-rectangular con dos lados curvos, de dimensiones de 9 x 28 en centímetros. Su altura máxima es de 5 m. en un extremo y la mínima de 3,50 en el otro; están enterrados del orden de un metro, y por ello la altura aparente de los contrapesos es de 4 m. máximo y 2,50 mínimo.

La cimentación de los contrapesos es una losa de 1,50 metros de espesor con la misma forma en planta que el plinto, pero de dimensiones un poco mayores. Esta losa se apoya en 8 pilotes de 0,80 metros de diámetro, y se ancla a la roca mediante 7 unidades de 12 cables de 0,6".

Las galerías interiores de los contrapesos los recorren de extremo a extremo para alojar los anclajes de los tirantes y permitir ponerlos en carga. Estas galerías tienen una forma similar a la exterior del plinto, con una altura máxima de 4 m. y una mínima de 2,20.

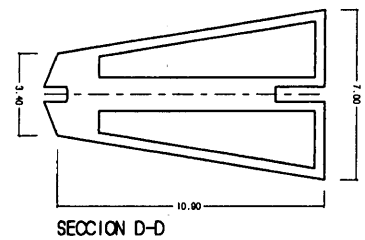
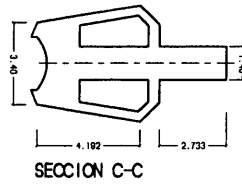
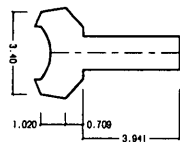
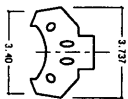
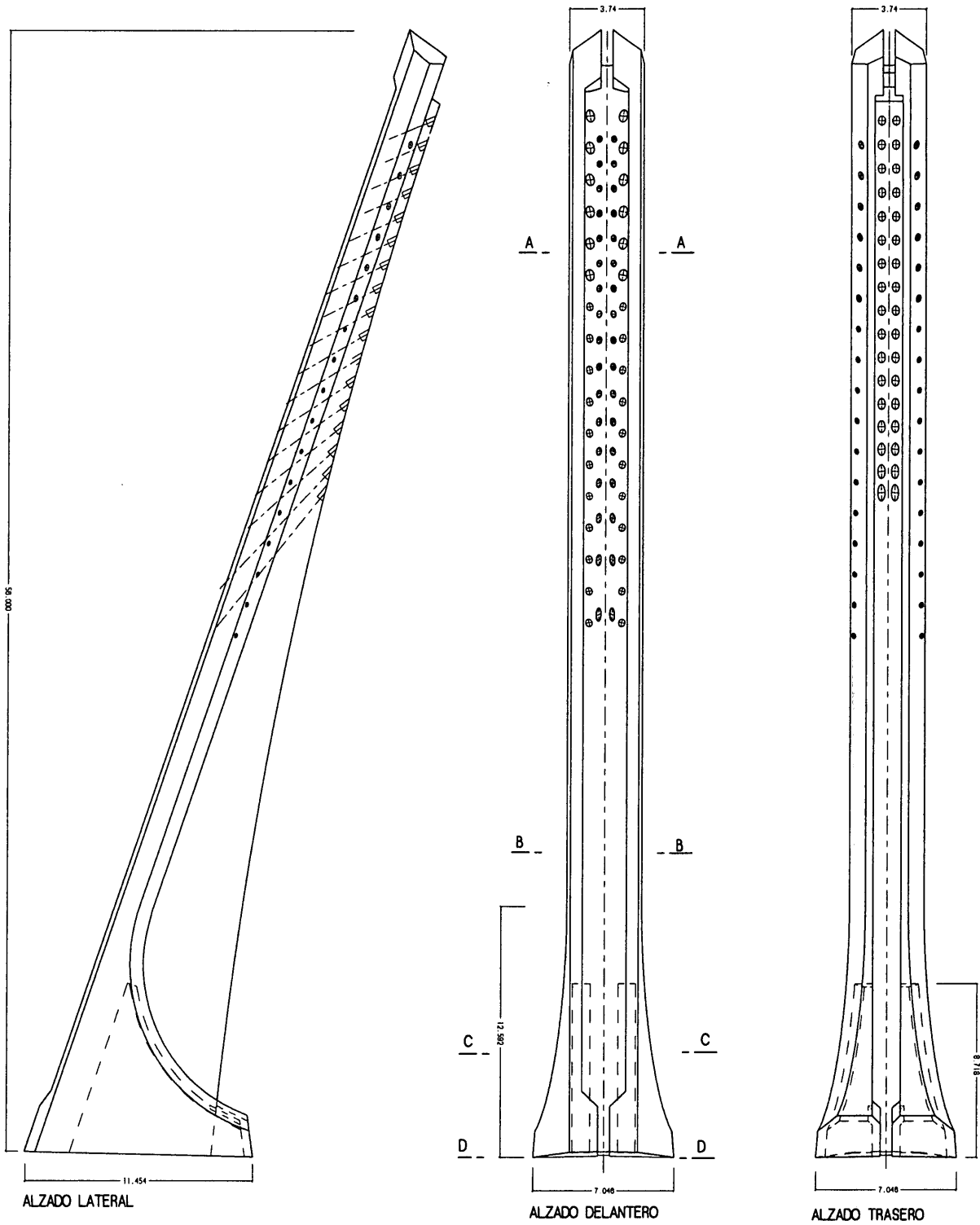
Igual que en la torre, en los contrapesos se dejan tubos metálicos para independizar los tirantes del hormigón. En la salida superior del tubo se colocan igualmente amortiguadores que fijan y centran el tirante.

Los anclajes en los contrapesos están situados en su parte superior, lo que obliga a transferir el tiro de los tirantes desde la cabeza de los contrapesos a sus bases mediante armadura activa situada en el paramento trasero. Esta armadura está formada por unidades que varían de 8 a 10 cables de 0,6".

Los paramentos de los contrapesos se han escalonado, creando líneas intermedias que siguen la forma del plinto, lo que anima las superficies.

Los contrapesos se prolongan por delante mediante una losa que sirve para canalizar las componentes horizontales de las fuerzas en los tirantes a la viga de atado contrapeso-base de la torre.

Características geométricas de la torre.



Los anclajes a la roca son unidades de 12 torones de 0,6" con un diámetro de perforación de 200 mm. y una longitud media de 27 metros. La carga de anclaje se ha dado en dos etapas. La primera etapa se hizo cuando se llegó a los tirantes 9 el proceso de construcción por voladizos y en ella se tesaron las unidades 1, 4 y 7; la segunda se hizo al terminar de montar todos los tirantes y en ella se tesaron las demás unidades. El tesado se ha hecho al 60% de la carga de rotura.

El hormigón de los contrapesos tiene una resistencia característica de 300 Kg/cm².

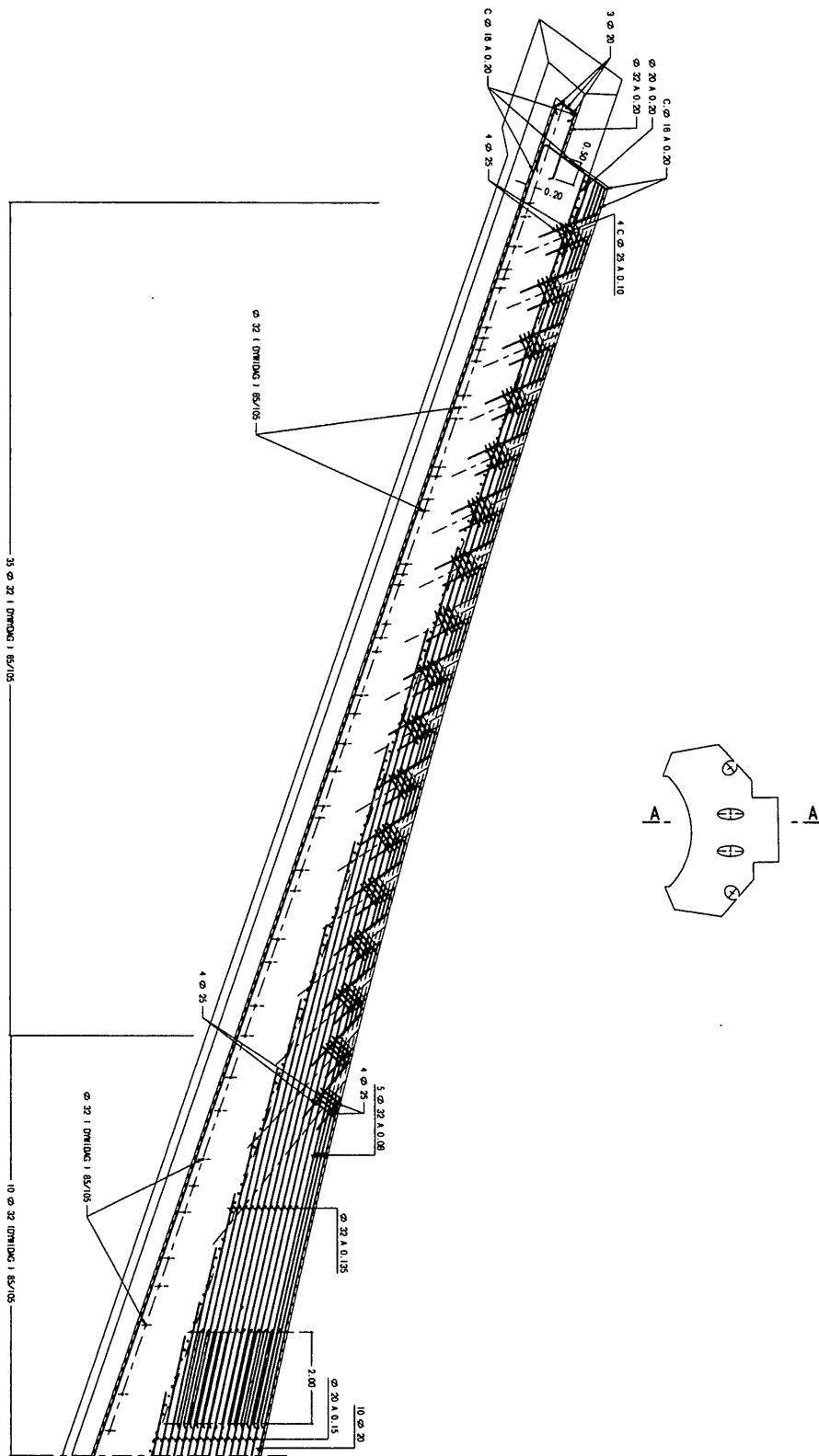
4.- VIGAS DE ATADO BASE DE LA TORRE-CONTRAPESOS

La solución más adecuada para equilibrar las fuerzas horizontales de los contrapesos y de la base de la torre, es crear un elemento de unión entre ellos, de forma que se equilibre el sistema, porque las fuerzas horizontales que aparecen en ellos tienen que ser iguales y contrarias y por tanto la resultante nula.

Estas vigas son inclinadas para salvar la diferencia de cota entre la base de la torre y los contrapesos; tiene una sección cuadrada de 2,5 x 2,5 m. exterior y un aligeramiento interior, también de sección cuadrada, de 1,5 x 1,5 m.

Las vigas se unen rígidamente a la zapata y a los contrapesos, y se ensancha al llegar a éstos mediante una losa triangular para repartir las cargas a todo el ancho del contrapeso.

Los dos contrapesos se unen mediante una viga de atado que sirve para resistir cualquier desviación entre la



ARMADURA DE LA TORRE . SECCION A - A

Armadura de torre. Sección por alma central (I).

alineación de la viga de enlace zapata contrapesos y la componente horizontal de la resultante de los tirantes de compensación. Tiene una dimensión de 2 x 1 m.

5.- TIRANTES

El atirantamiento del puente está formado por cuatro haces de 17 tirantes cada uno.

Los tirantes delanteros, es decir, los que sustentan el tablero, forman dos haces planos y paralelos, a una distancia entre ellos de 0,70 m. Estos planos son a su vez paralelos al plano vertical que contiene el eje longitudinal del puente, y están dispuestos simétricamente a él, sobre la mediana del puente.

Estos tirantes se anclan en el tablero dentro del cajón y a 0,35 metros de distancia de su eje, coincidiendo con las costillas transversales. En la torre se anclan en su parte posterior, y los anclajes se protegen de la intemperie por una caperuza metálica.

Los tirantes traseros forman dos haces divergentes que crean superficies en paraboloides hiperbólicos y unen la torre con los contrapesos, situados a los lados de la avenida del puente.

Estos tirantes se anclan en la parte delantera de la torre, cuya sección es un arco circular; esta forma se debe a que los tirantes la cortan en forma cuasi-radial porque los cables delanteros son paralelos al eje del puente, y los traseros se abren hacia los la-

dos, formando en planta un ángulo con el eje del puente de 40° aproximadamente. En los contrapesos, los tirantes se anclan en los planos inclinados superiores de las galerías interiores.

Cada tirante está formado por un grupo de cables de 0,6" de diámetro protegidos individualmente mediante galvanización de los alambres que forman cada cable, y una vaina de polietileno blanca.

El número de cables de 0,6" por tirante varía desde un mínimo de 8 en los tirantes traseros más cortos, hasta un máximo de 31 en los traseros más largos.

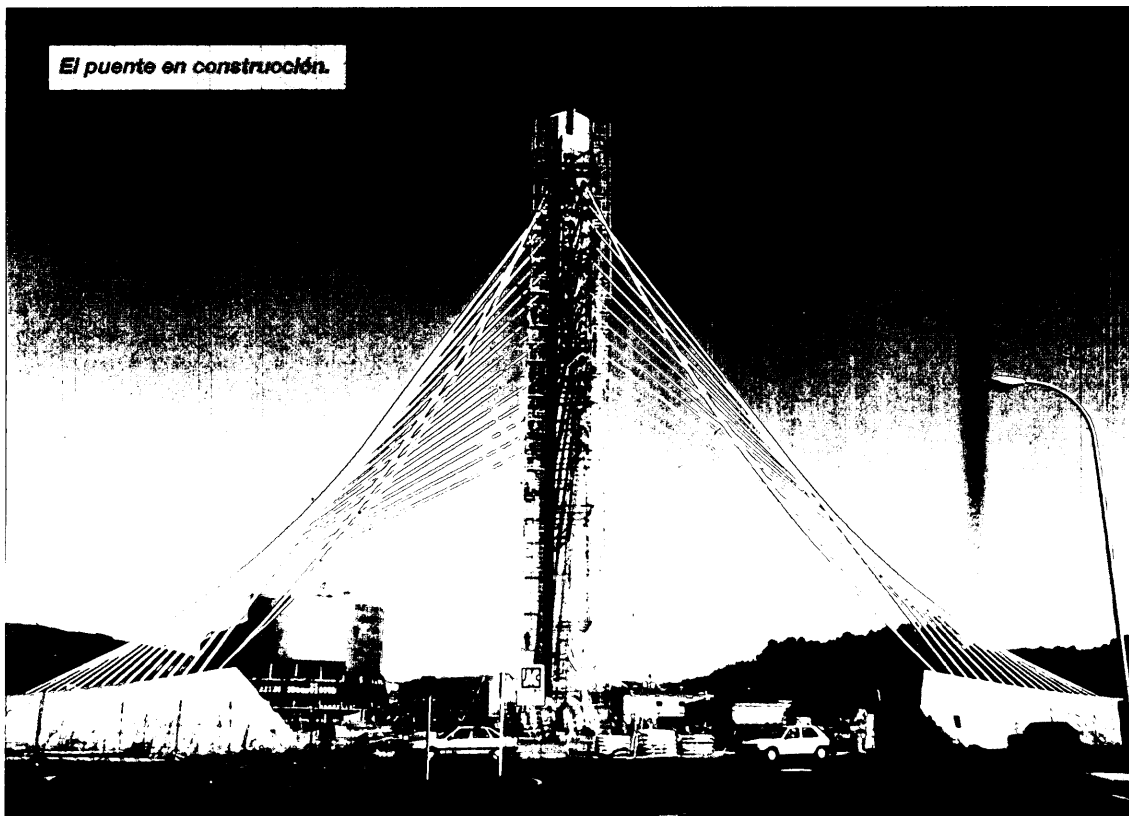
6.- ESTRIBO MARGEN IZQUIERDA

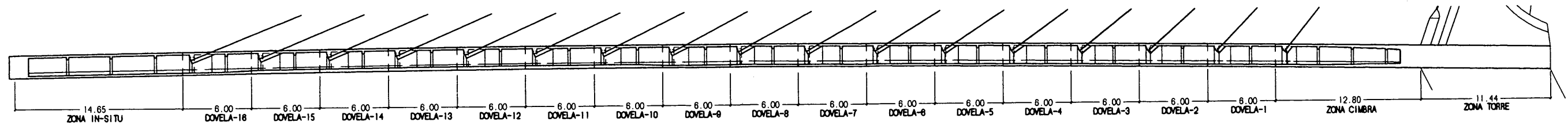
En la margen izquierda, la ría queda delimitada por los muros que acompañan a la torre. Como hemos visto, la base de la torre está inclinada con desplome hacia la ría; por ello los muros de acompañamiento que están debajo del tablero tienen la misma inclinación que la torre para que formen unidad. Se han hecho curvos en planta, avanzando hacia la ría los extremos que los unen a la parte delantera de la torre, de forma que de ella solo es visible una parte, que formalmente es el espolón de proa de los muros de acompañamiento. Por ello la forma exterior de los muros que quedan bajo el tablero es una superficie de traslación, definida por una recta inclinada, paralela a la base de la torre y una curva circular que define la planta.

Los muros resistentes se han hecho verticales mediante muros pantalla, y el paramento inclinado se ha conseguido mediante piezas prefabricadas unidas al muro y al tablero del puente.

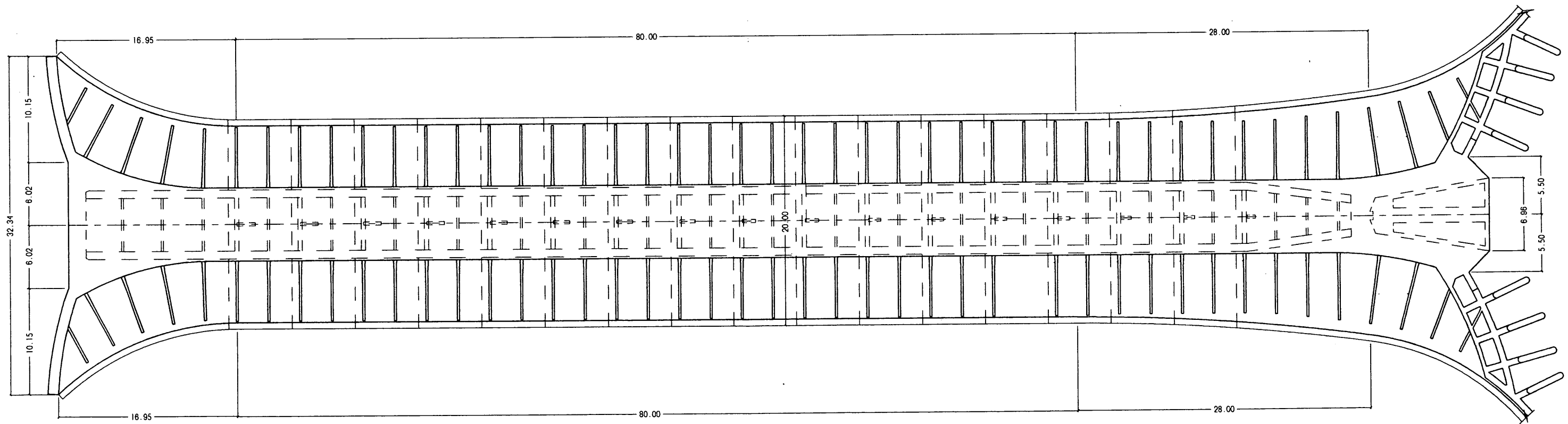
El resto de los muros de acompañamiento son verticales y por ello se han hecho con muros pantalla enfoscados exteriormente.

Como la roca es muy superficial en este estribo, no es posible conseguir un empotramiento suficiente de los muros pantalla para que soporten libremente los empujes. Por ello ha sido necesario añadir unos muros transversales detrás del muro pantalla frontal, anclados a la roca mediante anclajes pretensados; estos muros con sus anclajes

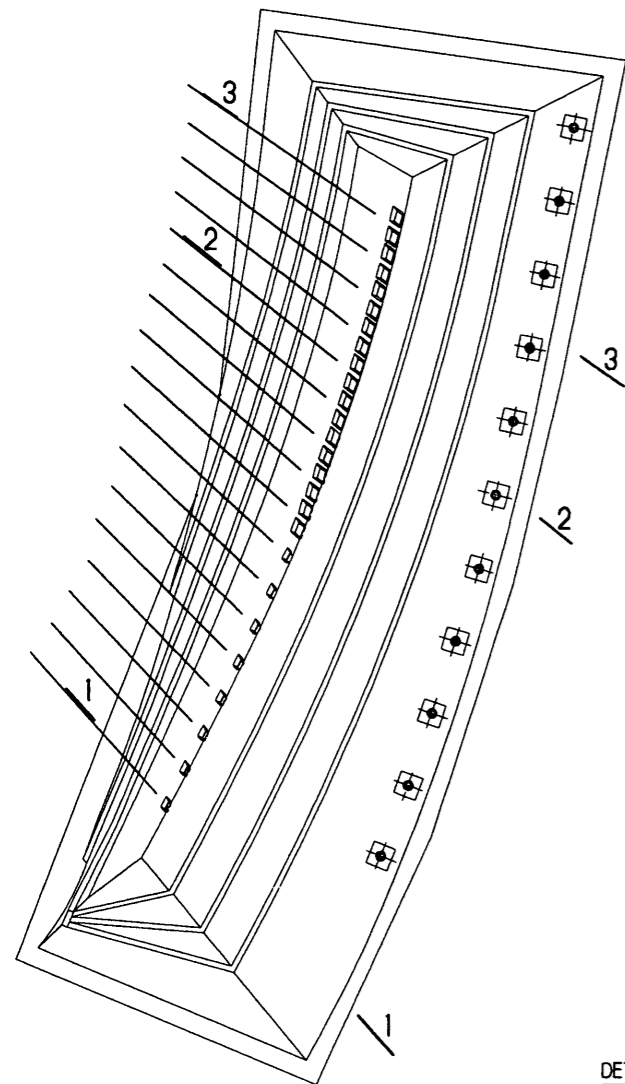




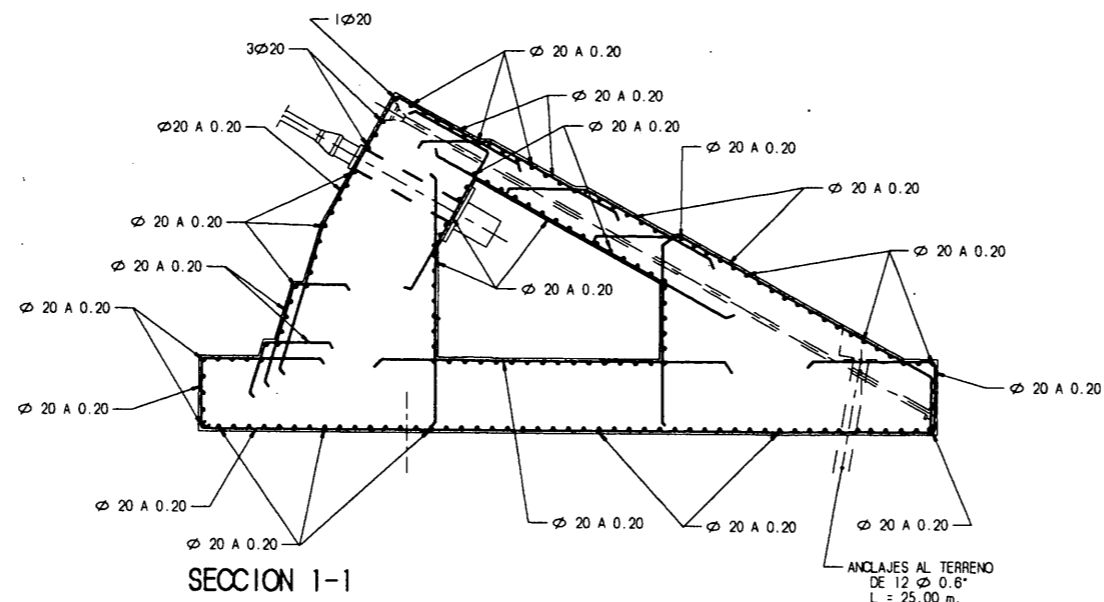
SECCION LONGITUDINAL POR EJE DE DINTEL



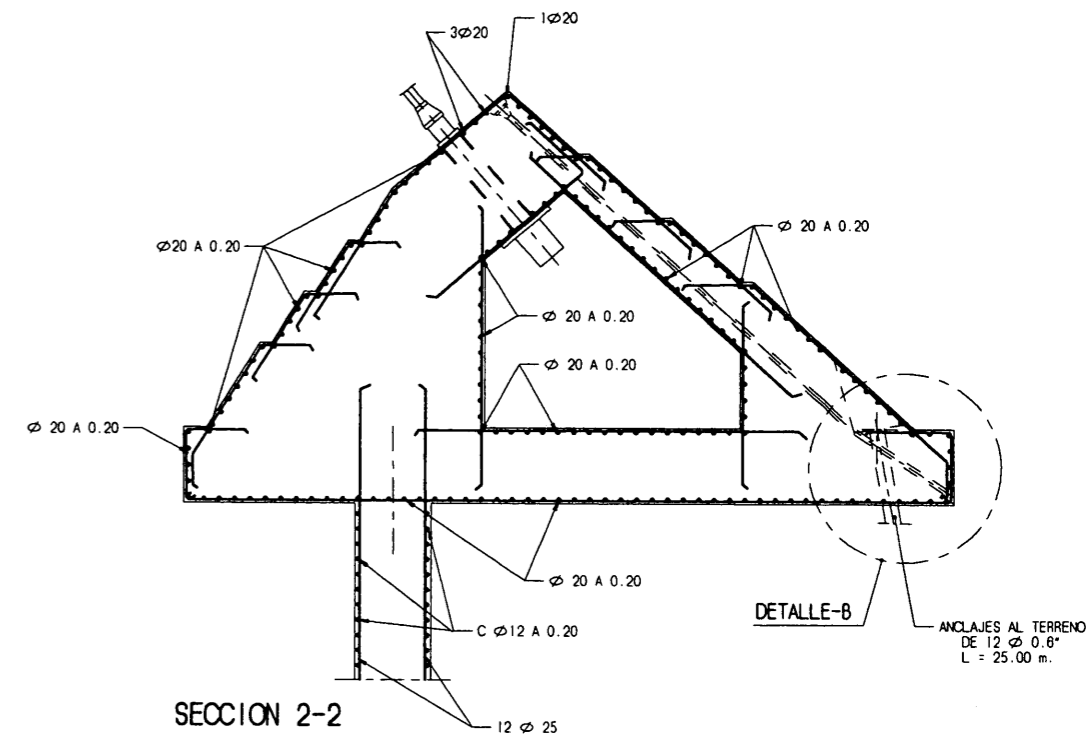
PLANTA INFERIOR DE DINTEL



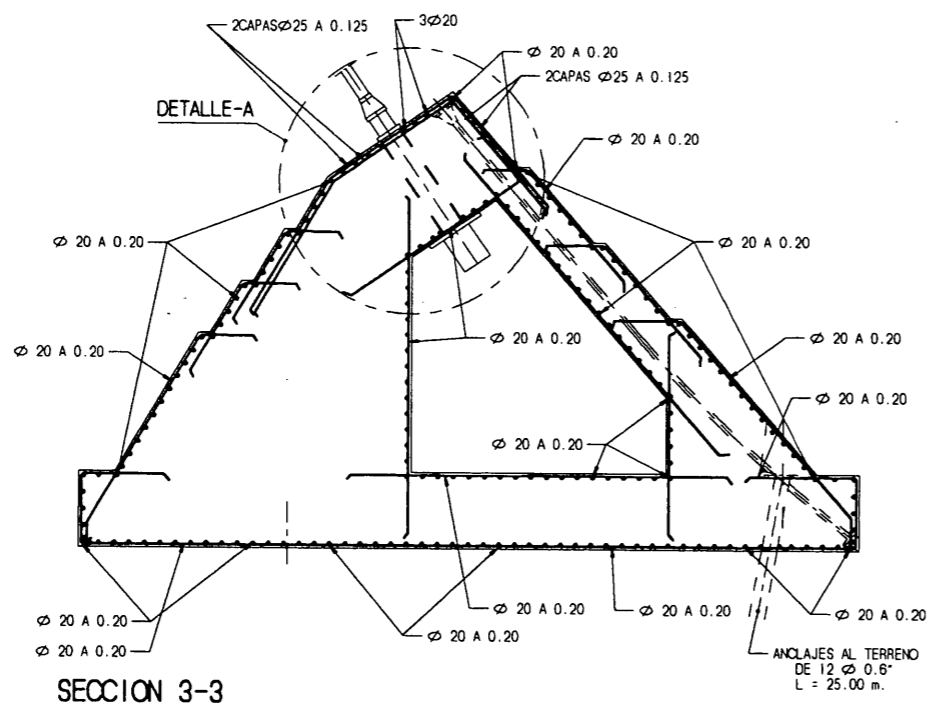
PLANTA SUPERIOR



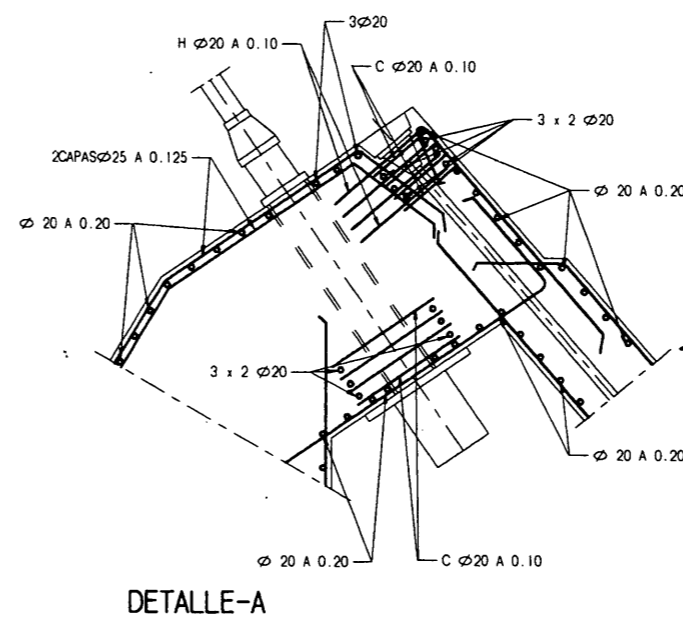
SECCION 1-1



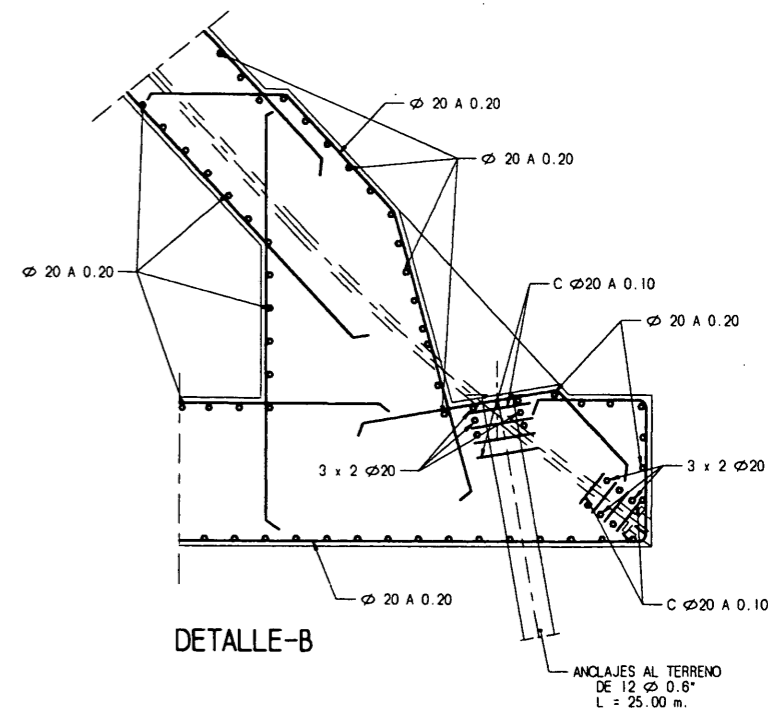
SECCION 2-2



SECCION 3-3

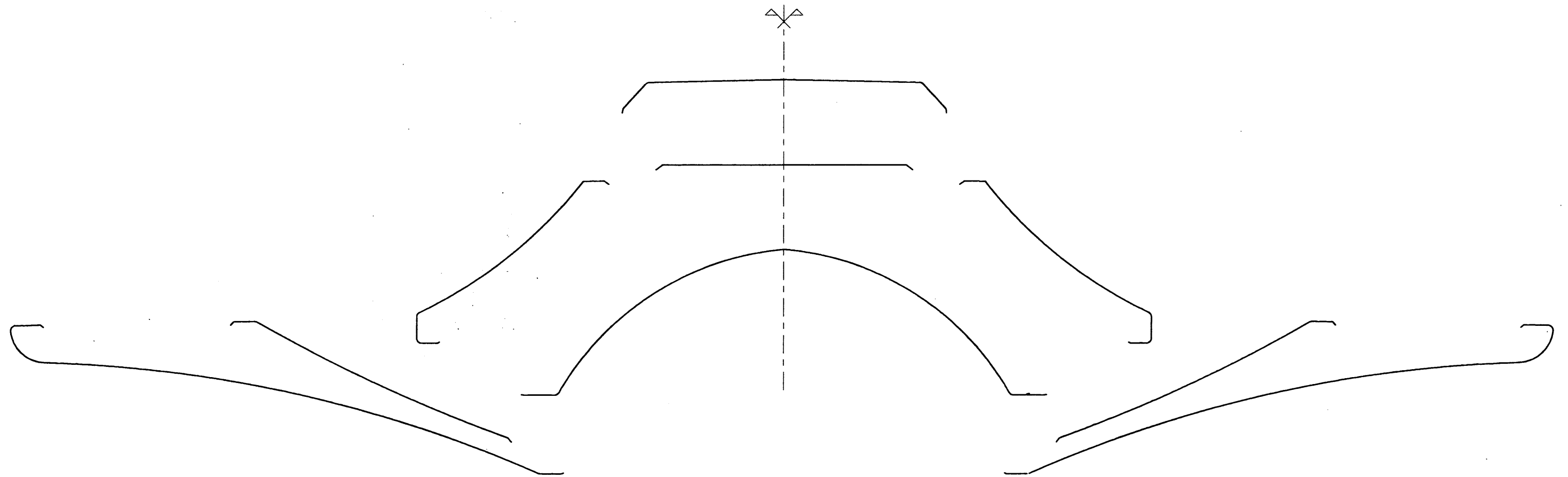
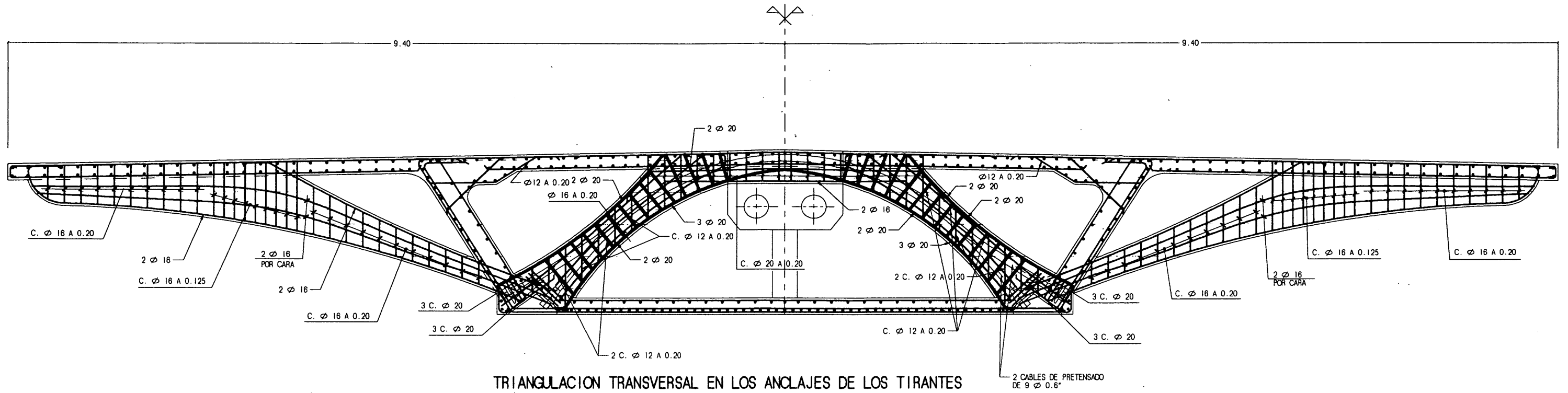


DETALLE-A



DETALLE-B

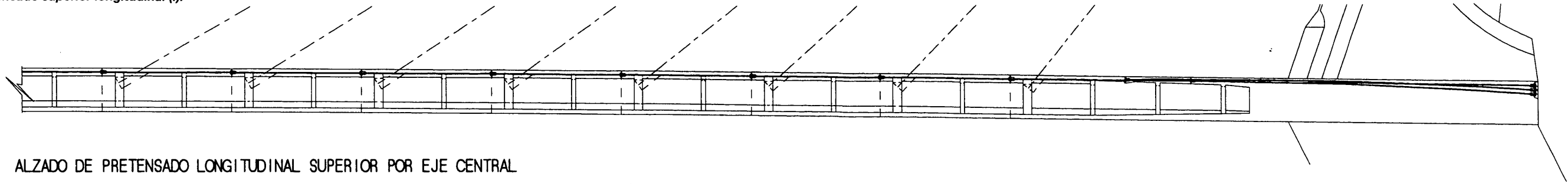
Plantas y secciones del contrapeso. Armadura (I).



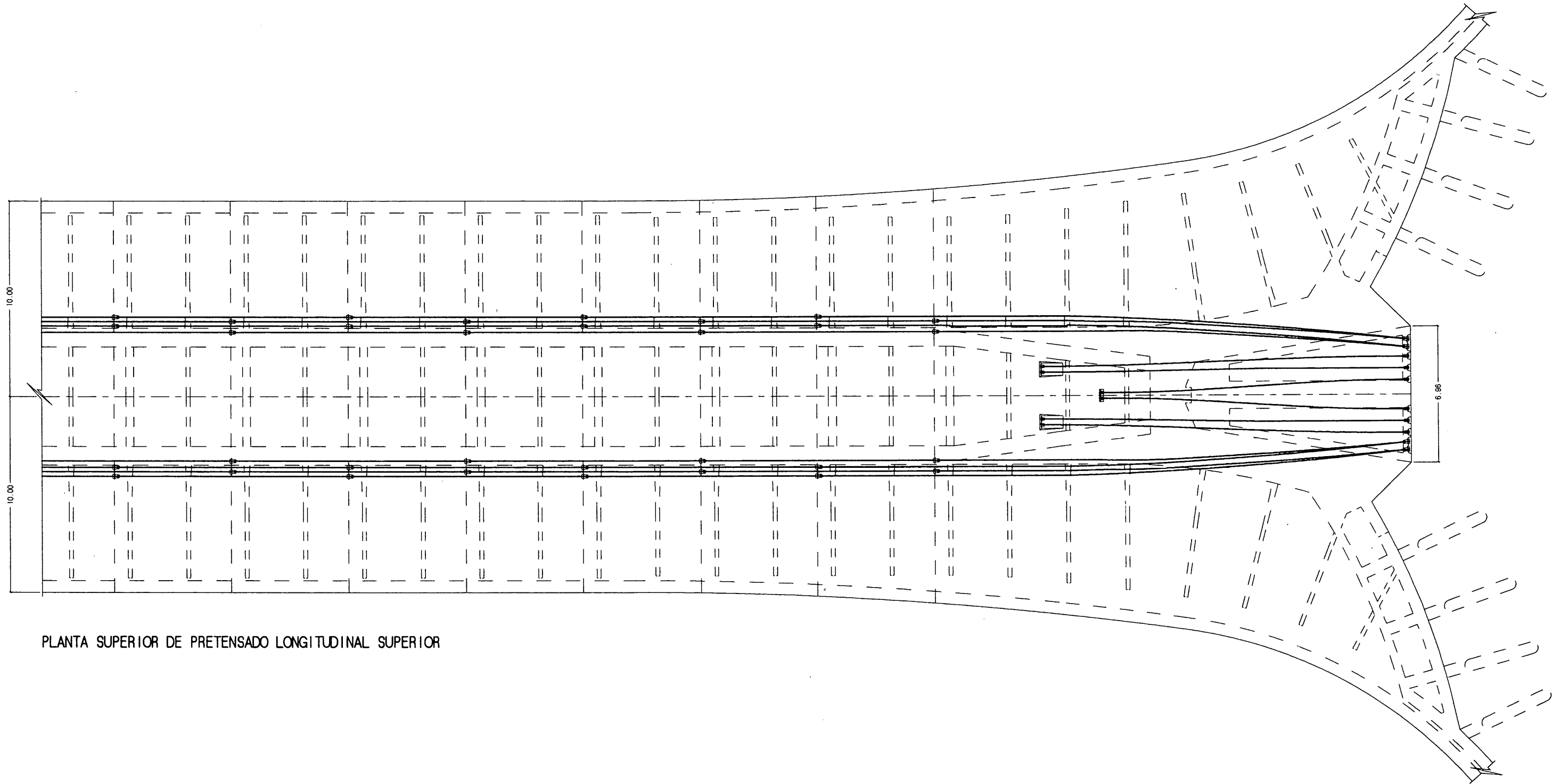
DESPIECE DE ARMADURA

Armaduras de dintel. Riostras intermedias (e=0,20) y Cuchillo.

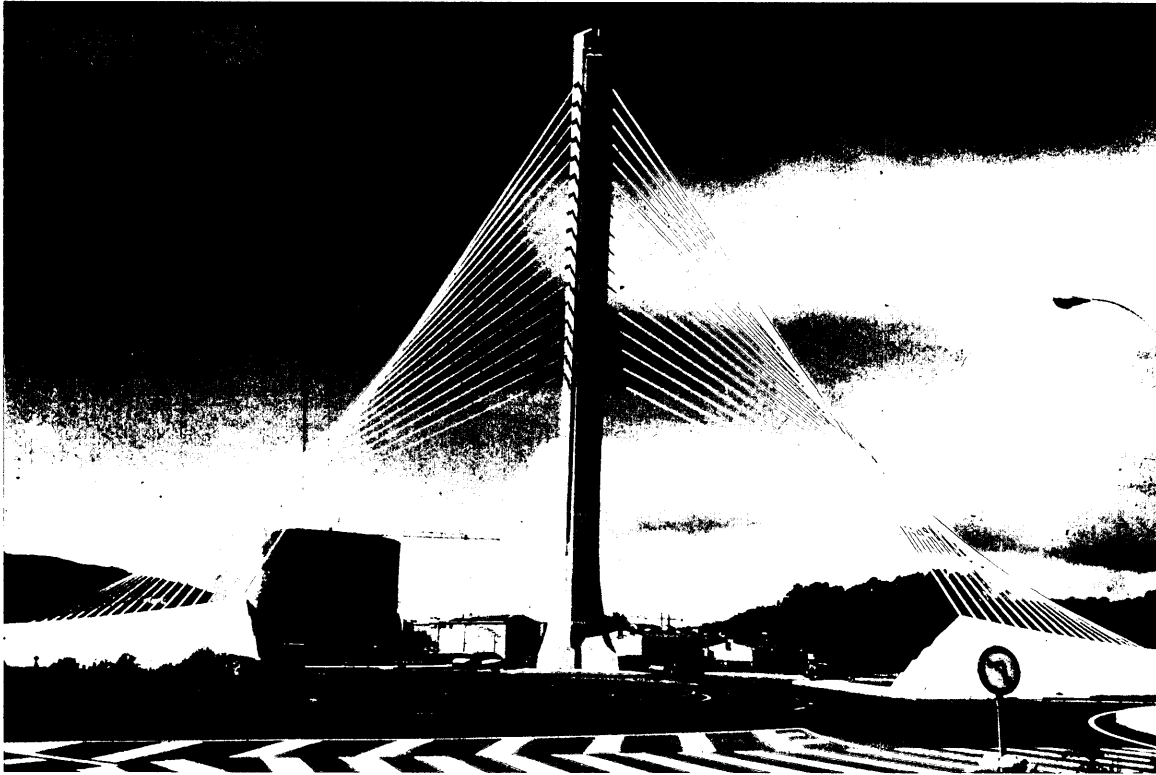
Pretensado superior longitudinal (I).



ALZADO DE PRETENSADO LONGITUDINAL SUPERIOR POR EJE CENTRAL



PLANTA SUPERIOR DE PRETENSADO LONGITUDINAL SUPERIOR



serven para resistir el momento volcador de los muros. Todos los muros pantalla de este estribo tienen un espesor de 0,60 metros.

7.- ESTRIBO MARGEN DERECHA

El estribo de margen derecha se ha hecho con muros pantalla verticales con planta curva; en la zona central se apoya el tablero, y el resto son los muros de acompañamiento. En esta orilla, la roca se encuentra más profunda que en la margen izquierda, y ello ha permitido empotrar los muros en el terreno, sin necesidad de contrafuertes transversales. Todos los muros de este estribo tienen un espesor de 0,80 metros.

CONSTRUCCIÓN

La construcción de este puente ha estado condicionada por la ría del Lérez, que tiene variaciones de nivel de más de cuatro metros, debidas a las mareas. Ello ha obligado a planear un proceso de construcción independiente del agua y por ello el tablero se ha construido por voladizos sucesivos.

La variación del nivel del agua dificulta especialmente la construcción de las cimentaciones próximas al agua; en este caso afecta únicamente a la cimentación de la torre. La necesidad de dejar el encepado bajo las aguas más bajas ha obligado a construirlo dentro de un recinto circular de tablestacas de 9 metros de profundidad y 24 metros de diámetro que ha

requerido arriostramientos circulares a tres alturas.

La torre, salvo los 13,5 primeros metros, se ha construido mediante encofrado trepador que permitía la variación de canto de la zona posterior. La altura de cada fase de hormigonado era de cuatro metros, y cada fase se hacía en una semana. Los 13,5 primeros metros, donde la forma de la sección es variable, se hicieron con un encofrado especial.

El tablero, como hemos dicho, se ha construido por voladizos sucesivos hormigonados in situ mediante un carro de avance. Cada dovela tenía una longitud de 6 metros, desde un tirante al siguiente. El ciclo de construcción de cada dovela y el tesado de los tirantes correspondientes ha sido de una semana. ●

requerido arriostramientos circulares a tres alturas.

PUENTE SOBRE EL RÍO LÉREZ EN PONTEVEDRA

Propiedad:

Consellería de Política Territorial,
Obras Públicas e Vivienda de la Xunta de Galicia.
Dirección Xeral de Obras Públicas.

Director de Proyecto y Obra:

Fausto Nuñez Vilar.
Ingeniero adscrito a la Dirección Xeral de Obras Públicas

Ingeniero Técnico:

Miguel Ambles
Ingeniero adscrito a la Dirección Xeral de Obras Públicas

Proyecto: Carlos Fernández Casado, S.L.

Leonardo Fernández Troyano
Javier Manterola Armisén
Miguel Angel Astiz Suárez
José Cuervo Fernández
Javier Muñoz-Rojas Fernández
Agustín Sevilla Bayal

Construcción: Ferrovial S.A. y Castro Matelo S.A.

Arsenio González
Juan Lozano
Agustín Fernández Vigo

Tirantes: Freyssinet S.A.

Pretensado: Tecpresa - Dywidag

Pilotes y Pantallas: Pilotes Posada S.A.