

Vista general desde La Meridiana.

# pasarela colgada en Barcelona

plaza de las Glorias Catalanas

# ESPAÑA

C. FERNANDEZ CASADO, J. MANTEROLA y L. FERNANDEZ TROYANO,
Dres. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos,

564 - 24

# sinopsis

El enlace de tres sectores que quedaban incomunicados para los peatones en el emplazamiento señalado ha sido resuelto mediante la construcción de una pasarela, constituida por un ramal principal que se bifurca en dos curvos y realizada a base de rampas con pendiente máxima del 11 %, lo cual ha originado un caracol en dos de los extremos.

La densa red de servicios de todo tipo que transcurren bajo la plaza de Las Glorias ha dificultado la implantación de pilas, obligando a grandes luces. Con el fin de lograr cantos reducidos de dintel se ha elecido la solución colgada, con una sola pila, desde la cual parten tres sistemas de cables rectos, uno para cada ramal de la pasarela.

El articulo describe las dificultades que entrañaba el proyecto y la realización de esta obra de ingeniería, así como las soluciones adoptadas para resolverlas.

Propiedad: Excmo. Ayuntamiento de Barcelona.

Departamento de Vialidad:

Ingeniero Director, José M.\* Pujadas.

Departamento de Estructuras, Jorge Soler.

Dirección de obra: Bernardo Monclus.

Construcción: Huarte y Cía., S. A., y Fomento de Obras y Construcciones.

Ingenieros: José Luis García Guimaraens y Santiago Sardá.

Fabricación y montaje de la estructura metálica: SUBESA, de La Felguera.

Asesoría Geotécnica: Geoexpert, S. A.

Sistema de pretensado: BBR.

Apoyos: Inbadelca, S. A.

# Introducción

Finalidad de la pasarela. Esta pasarela se ha construido con el fin de comunicar las tres zonas que divide la autopista de Mataró y la unión de ésta con La Meridiana a la Plaza de las Glorias Catalanas, de Barcelona. El ángulo formado por estas dos vías de tráfico deja tres sectores incomunicados para la circulación peatonal (fig. 2).

Organización en planta. El enlace de estos tres sectores puede resolverse de dos formas: mediante una estrella de tres brazos que parten de un punto, o



Vista aérea durante la construcción.

2

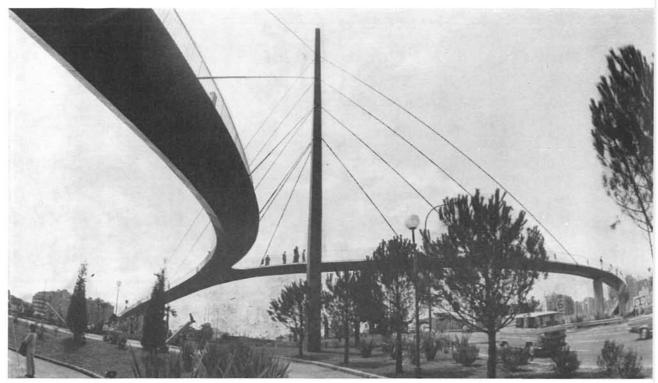
con un triángulo en el que cada lado una directamente dos sectores,

La primera solución se convierte en Y si una de las tres comunicaciones es menos importante que las otras dos, como ocurre en este caso, pues los dos lados de La Meridiana quedan comunicados entre sí un poco más arriba por la pasarela del Clot. Por tanto, la pasarela se ha planteado de esta manera, o sea, con un ramal principal recto que se bifurca en dos curvos (fig. 3).

3 a



Vista desde el ramal recto.

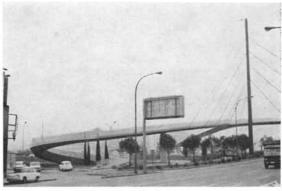


Vista desde los ramales curvos.

# 3 b

# ORGANIZACION EN ALZADO

Debido al carácter de parque que presenta dicha Plaza, se ha evitado en todos sus extremos los accesos mediante escaleras, por lo que se ha realizado toda la pasarela a base de rampas, con pendiente máxima del 11 %, no obstante los grandes desniveles a salvar como consecuencia de las distintas alturas de las vías de tráfico rodado sobre las que hay que pasar. Esto ha obligado en dos de los extremos de la pasarela a realizar un caracol, por falta de desarrollo lineal (fig. 4).



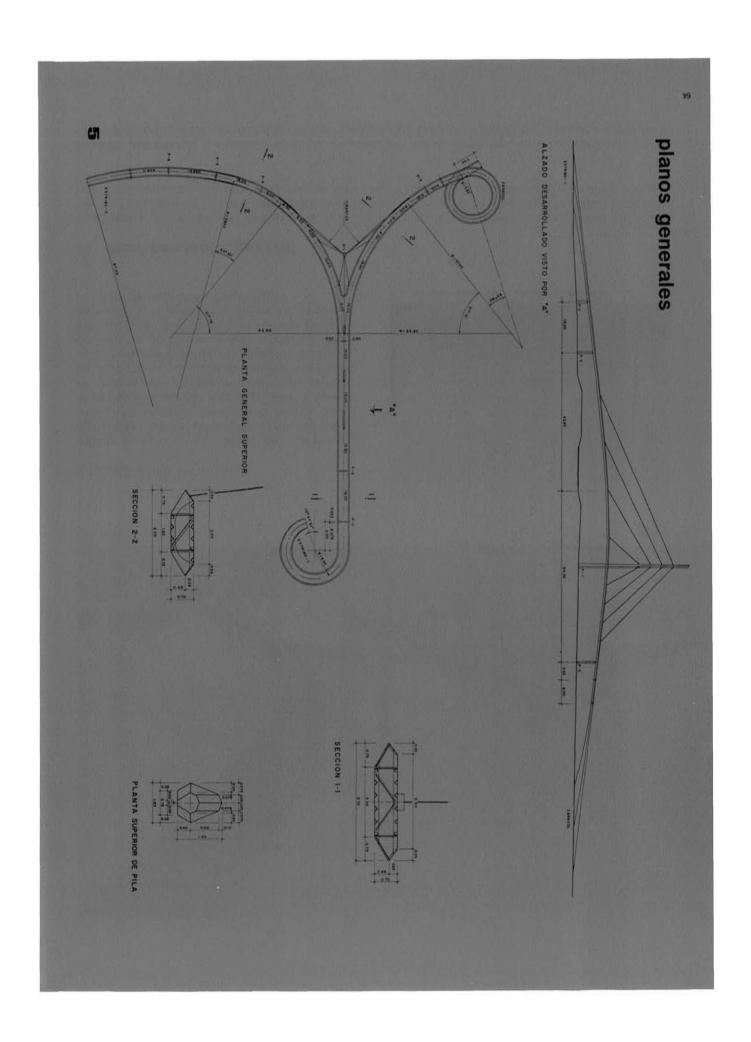
Vista del ramal derecho con el caracol II en su extremo.

# П

# Planteamiento general

Condiciones del medio. El subsuelo de la Plaza de las Glorias está lleno de servicios de todo tipo. Los más importantes son los túneles del Metropolitano, y un colector paralelo a la autopista de Mataró. Esto, sumado a las vías de tráfico en superficie, ha dificultado la implantación de pilas, obligando a luces de importancia.

Solución estructural. La única posibilidad de conseguir estas luces con canto reducido de dintel es la solución colgada; en nuestro caso es fundamental, pues un aumento de canto se traduce tam-



bién en aumento de longitud en las rampas de la pasarela que, como hemos dicho anteriormente, tiene que salvar importantes desniveles.

Forma de colgar la pasarela. Para colgar la pasarela es necesario disponer uno o varios mástiles de donde partan los cables de cuelgue. Colgándola desde una sola pila, el punto óptimo para situar ésta sería, en nuestro caso, el de intersección de los tres ramales. No ha sido posible colocarla en este punto por la interferencia de los túneles antes aludidos, lo que nos ha llevado a desplazarla sobre el eje de simetría de la pasarela, que es el del ramal recto (fig. 5).

De la pila parten tres sistemas de cables rectos para colgar los tres ramales de la pasarela. La disposición de estos sistemas de cables viene condicionada por la planta: el ramal recto puede ser colgado con dos sistemas de cables anclados en los bordes del dintel o con un sistema único anclado en el eje de la plataforma; en cambio los dos ramales curvos sólo pueden ser colgados desde el borde exterior, porque, si se cuelgan de los dos bordes o desde el eje, los cables interceptarían el paso de los peatones al tener distinta alineación que la plataforma. El anclaje en un solo borde produce en el dintel de los ramales curvos torsiones importantes, mucho más fuertes que las que se originan en el ramal principal congándolo sólo del eje, lo cual nos ha llevado a adoptar esta solución en dicho ramal.

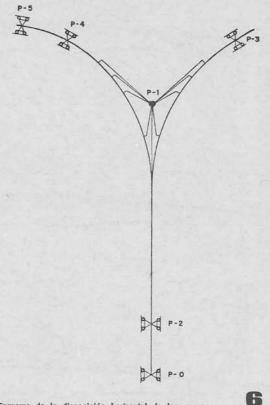
A causa de la curvatura de los ramales laterales y de la posición obligada de la pila principal no ha sido posible anclar los cables extremos en estos ramales sobre las pilas contiguas a la zona colgada, ya que, de realizarse así, los cables interceptarían la plataforma de paso; por tanto ha sido necesario anclarlos en el dintel antes de llegar a ellas. Esta disposición de cables anclados sobre las pilas hubiera resultado muy conveniente por la mayor rigidez en este caso

del conjunto pila-cables, lo que hace que los esfuerzos en la pila principal sean menores y la aficacia de los cables aumente.

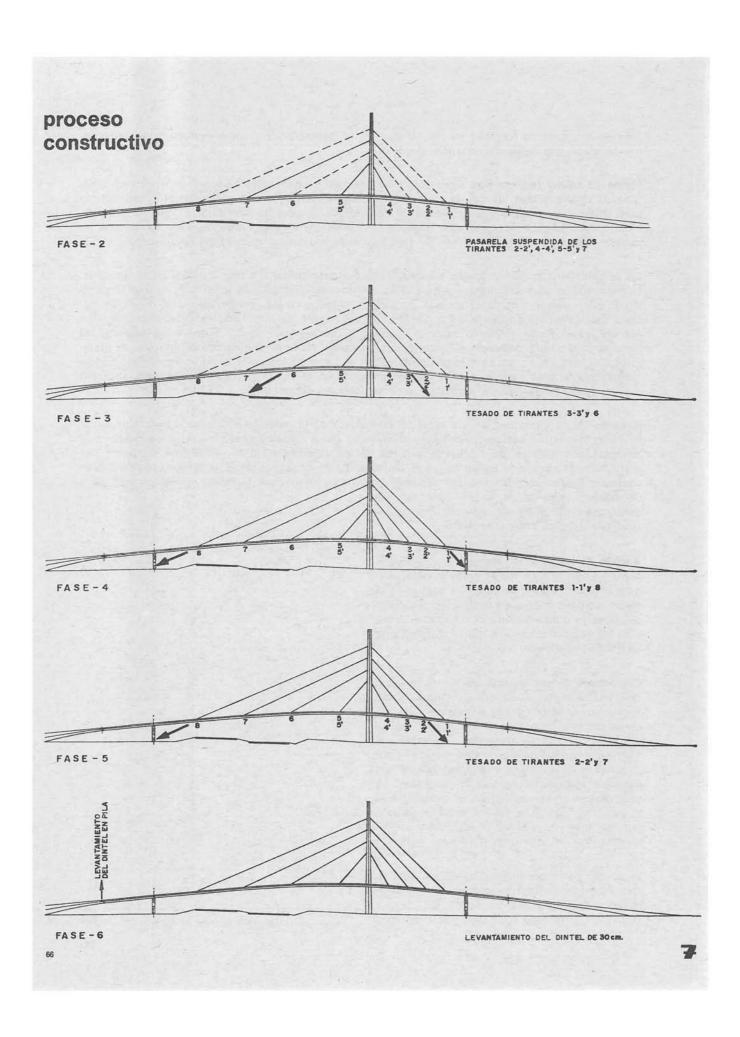
Anclaje de las pilas de apoyo. Las torsiones que se producen en los ramales curvos obliga a anclar el dintel en las pilas contiguas al tramo colgado mediante cables de pretensado, pues la combinación del momento torsor y de la reacción vertical origina tracciones en un borde del apoyo.

Disposición de las coacciones en los apoyos. Una vez resuelta la manera de colgar la pasarela, es fundamental la disposición de las coacciones horizontales en los apoyos sobre las pilas. Es necesario recoger en éstas los esfuerzos horizontales provocados por el viento y por el tiro oblicuo de algunos cables, sin producir coacción longitudinal al dintel, ya que, de existir esta coacción, el esfuerzo axil a que dan lugar los cables sería absorbido por las pilas, lo cual les produciría unos esfuerzos que no podrían resistir.

Para esto se ha permitido libertad de desplazamiento longitudinal y coacción a los movimientos transversales en todos los apoyos (fig. 6). Lo primero hace que los esfuerzos



Esquema de la disposición horizontal de los apoyos.



CABLE Nº	1	1'	2	2'	3	3'	4	4'	5	5'	6	7	8
NUMEROS DE ALAMBRES		_		_	_	_	_		_		_	_	_
FUERZA DE TESADO DE LOS CABLES EN LA FASE	-	-	-	1	-	_	_	ş-—;	_	_	_	_	_
CARGA RESULTANTE DESPU ES DE REALIZADO EL TESAD.	_	_	_	—	_	-	-	-	_	_	_	-	_
COTA DEL DINTEL EN EL PUNTO DE ANCLAJE	21.490	20.187	22.033	20.800	22,491	21,449	22.852	22.131	23.3056	23.256	23.029	22.046	20,484

FASE - 1 (PASARELA APOYADA SOBRE CASTILLETES)

CABLE Nº	1	T	2	2'	3	3'	4	4'	5	5'	6	7	8
NUMEROS DE ALAMBRES	-		1207	1207	-	-	1097	1007	1207	1207		1607	-
FUERZA DE TESADO DE LOS CABLES EN LA FASE	<b>-</b>	-	-	-	-	_	-	·—	_	_		-	-
CARGA RESULTANTE DESPU- ES DE REALIZADO EL TESA.		-	11.540	12.190	-	N	9,970	8,920	13,660	13.280	-	7, 280	_
COTA DEL DINTEL EN EL PUNTO DE ANCLAJE	21,503	20.211	22.059	20.839	22.515	21.4872	22,860	22.149	23.190	23.143	22.743	21.737	20.327

# FASE-2

CABLE Nº	1	1'	2	2'	3	3'	4	4'	5	5'	6	7	8
NUMEROS DE ALAMBRES	_	_	12 Ø 7	1207	807	897	1007	1007	1207	1207	1807	1607	_
FUERZA DE TESADO DE LOS CABLES EN LA FASE	_		_	_	4.320	4.320	-	_	-	_	12.00	_	
CARGA RESULTANTE DESPU- ES DE REALIZADO EL TESA.	_	_	10.710	11,390	4.320	4.320	8.190	7.040	10.000	9.680	12.000	3.470	_
COTA DEL DINTEL EN EL PUNTO DE ANCLAJE	21.505	20, 214	22.062	20.845	22.520	21.494	22.8632	22.153	23.197	23, 150	22.773	21.763	20.337

# FASE-3

CABLE Nº	1	1'	2	2'	3	3'	4	4'	5	5'	6	7	8
NUMEROS DE ALAMBRES	1007	1007	1207	1207	807	8Ø7	1007	1007	1207	1207	1807	1607	1207
FUERZA DE TESADO DE LOS CABLES EN LA FASE	3.300	3,300	0.0045	0.0032	0.0103	-	_	_	-	-	-	_	11.000
CARGA RESULTANTE DESPU- ES DE REALIZADO EL TESA.	3,300	3.300	12.320	13.060	4.170	4.000	6.710	5.550	10.400	10.190	9.690	0.000	11.000
COTA DEL DINTEL EN EL PUNTO DE ANCLAJE	21.4995	20.223	22.068	20.858	22.5246	21.505	22.864	22.159	23.190	23.143	22.757	21.751	20.338

# FASE-4

CABLE Nº	1	1'	2	2'	3	3'	4	4'	5	5'	6	7	8
NUMEROS DE ALAMBRES	1007	1007	1207	1207	807	807	1007	1007	1207	1207	1807	1607	1207
FUERZA DE TESADO DE LOS CABLES EN LA FASE		_	3.00	3.00		_	_		_	-		10.00	_
CARGA RESULTANTE DESPU- ES DE REALIZADO EL TESA.	3.64	3.74	15.32	16.06	3.69	3.42	5.88	4.66	9.77	9.62	5.45	10.00	8.81
COTA DEL DINTEL EN EL PUNTO DE ANCLAJE	21.501	20.288	22.072	20.866	22.527	21.511	22.864	22.162	23.190	23.144	22.768	21.775	20.350

# FASE-5

CABLE Nº	1	1'	2	2'	3	3'	4	4'	5	5'	6	7	8
NUMEROS DE ALAMBRES	1007	1007	1207	1207	807	807	1007	10 07	1207	1207	1807	1607	1207
FUERZA DE TESADO DE LOS CABLES EN LA FASE	_	_	_	-		_	-	-	_	-	-	_	_
CARGA RESULTANTE DESPU- ES DE REALIZADO EL TESA.	6.160	6,620	17.330	17,950	4.230	3,690	5.310	3.730	9.110	8,975	8.930	13,780	9,680
COTA DEL DINTEL EN EL PUNTO DE ANCLAJE	21.508	20.242	22.085	20.887	22,540	21,532	22.872	22.177	23.168	23,124	22.700	21.660	20,239

FASE-6



Vista general del tramo colgado.



R

axiles originados por los cables en cada ramal no produzcan efecto en las pilas, y lo segundo permite absorber cualquier fuerza exterior horizontal. Ello se debe a que las direcciones de las coacciones de los tres apoyos contiguos al tramo colgado son distintas, lo que crea un sistema isostático de sustentación respecto a los esfuerzos horizontales.

Proceso constructivo. El dintel de la pasarela se ha realizado sobre castilletes aislados, retirando éstos una vez empalmado el dintel y dejándolo colgado de seis de los trece cables existentes. El resto de los cables se pusieron en carga, valiéndose de gatos, según el proceso indicado en la figura 7. Finalmente, se efectuó levantamiento del dintel sobre la pila extrema del ramal recto, a fin de disminuir momentos sobre el apoyo contiguo y aumentar la tensión de los cables delanteros. Esto se hizo así porque la obtención de las cargas en los cables que dan lugar a esfuerzos mínimos en el dintel no puede lograrse fácilmente sin un sincronismo total de la tensión de todos ellos. Como esta operación es excesivamente difícil de llevar a cabo resulta necesario tesar los cables por etapas, y esto hace que la carga dada a uno de ellos suponga, en parte, la pérdida de carga de los adyacentes, y no el aumento que buscamos de la fuerza ascendente sobre la pasarela.

# Definición de la pasarela

La pasarela consta de seis tramos:

I. El tramo principal colgado, al cual nos hemos referido en párrafos anteriores, constituido por tres ramales y apoyado en cinco pilas (fig. 8). Va colgado mediante trece cables que parten de la pila principal, que queda independiente del dintel y sin contacto con él. Los cables se disponen de la siguiente forma: tres anclados en el eje del ramal principal; dos anclados en los bordes de la bifurcación, y cuatro en cada ramal curvo, anclados en el borde del tablero.

La zona colgada se halla delimitada por tres pilas situadas a una distancia, medida sobre el eje del tablero, de 97,50 m.

Dicha zona se prolonga a partir de las tres pilas anteriores de la siguiente manera: un vano, de 16 m, en el ramal principal; un vano, de 15 m, en el izquierdo, y un voladizo, de 6 m, en el derecho.

El ancho útil de la plataforma es de 3 m en el ramal principal y de 2 m en los ramales curvos. Esta diferencia de anchos se debe a que se prevé mayor tráfico en el ramal recto y a que los cables anclados en el eje obligan a disponer unas isletas, de 0,50 m de ancho, que no existen en los ramales curvos.

- II. Tramo continuo de los vasos, de 15 y 12 m de luz, que apoya a media ladera sobre el tramo I por un extremo y en el tramo VI por el otro.
  - Está constituido por un cajón metálico de las mismas características del tramo anterior, aunque mucho más ligero; el ancho de la plataforma es de 2 m por ser prolongación de uno de los ramales curvos.
- III. Tramo formado por un dintel, de 8 m de longitud, apoyado en el voladizo del ramal izquierdo y en el extremo del tramo V. La sección es la misma del tramo anterior.
- IV. Caracol I, compuesto por un dintel curvo de hormigón armado de canto variable, con sección en cajón hexagonal; el radio del eje de la plataforma es de 9 m con un desarrollo circular de 201°, terminando en una zona recta de 9 m de longitud.

El caracol va empotrado en su parte inferior mediante dos apoyos separados 7,80 m según el eje longitudinal, y simplemente apoyado en el otro extremo sobre la pila final del ramal recto del tramo I.

La sección mantiene la misma forma que la de los tramos metálicos, pero con variación de canto. El ancho de la plataforma es de 3 m por encontrarse en prolongación del ramal recto.

- V. Caracol II, constituido por un dintel de hormigón armado de características análogas al anterior, pero con 2 m de plataforma, ya que se encuentra en el extremo del ramal derecho.
  - El radio del eje es de 7,50 m con un desarrollo circular de 283°. Tiene un voladizo de 25 m empotrado en su parte inferior por medio de dos apoyos separados sobre el eje una distancia de 11 m, y en su extremo superior apoya en tramo III.
- VI. Estribo del ramal izquierdo, compuesto por un vano de 5 m y un voladizo de 7,30 m. Es también de hormigón armado con sección análoga a los anteriores, pero sin aligerar.

# IV Tramo

Como hemos visto, forma la parte fundamental de la pasarela:

# IV-a) DINTEL

Cálculo de esfuerzos. Formado por un cajón hexagonal de chapas metálicas rigidizado en su interior, longitudinal y transversalmente (fig. 9). En este caso son considerables los seis esfuerzos que pueden producirse en la sección, debido a la importancia de las acciones verticales y horizontales que actúan en la pasarela.

El cálculo de esfuerzos se ha hecho mediante la definición espacial de los ejes de las barras de la estructura, utilizando para ello el programa STRESS. No se ha considerado el comportamiento no lineal de la estructura, porque a causa de las dimensiones de los cables y su tensión de carga permanente el coeficiente de elasticidad aparente es casi constante en ellos, y las deformaciones del dintel no producen una corrección de esfuerzos apreciable.

Rigidización longitudinal. Se realiza mediante LPN de distinto tamaño dispuestos en V o en L según los puntos. Se hacen continuos longitudinalmente con el fin de asegurar su colaboración

en el trabajo de la sección, y para facilitar la fabricación, atravesando los rigidizadores transversales mediante orificios en éstos como se indica en la figura 9.

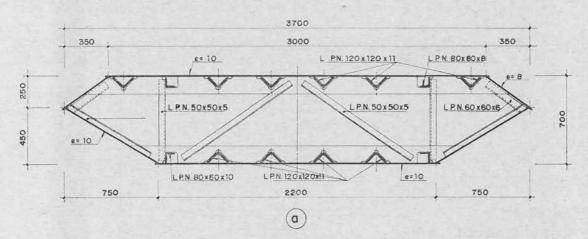
La comprobación de la seguridad a la abolladura de las chapas, considerando la colaboración de los rigidizadores, se hizo mediante las tablas de Koppler/Möller.

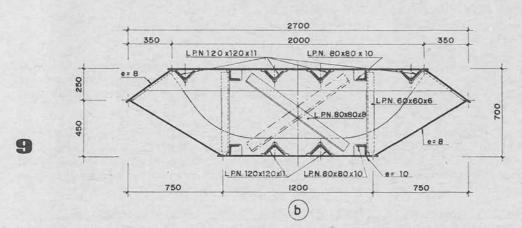
Las dos chapas laterales no necesitan rigidización longitudinal. Para la inferior es suficiente con la rigidización transversal ocasionada por los marcos, y la superior lleva una rigidización transversal independiente de éstos.

Rigidización transversal. Está constituida por un marco completo de chapas, trianguladas entre sí mediante LPN de distinto tamaño.

Su misión fundamental, aparte de la rigidización transversal de las chapas, consiste en mantener la indeformabilidad de la sección que viene afectada, fundamentalmente, por la distorsión del cajón. Hemos dimensionado los marcos de manera que este efecto sea totalmente

# secciones transversales





a) Ramal recto.-b) Ramales curvos.-La diagonal interior del marco se coloca alternativamente en las dos posiciones dibujadas.

absorbido por ellos, sin considerar la colaboración de las chapas que forman el cajón, trabajando en su plano. Por consiguiente, el único efecto sobre las tensiones normales longitudinales que produce la distorsión está provocado por la deformabilidad de los marcos, efecto que se queda muy reducido a causa de su gran rigidez. El mayor tamaño de las chapas del marco en los ramales curvos es consecuencia de la mayor torsión que se origina en éstos (fig. 9 b).

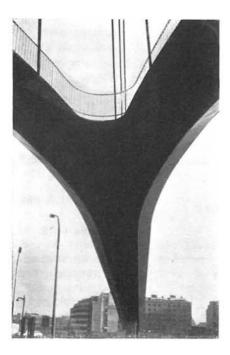
El otro efecto recogido por los marcos son las cargas verticales sobre las chapas que produce flexión en los elementos superiores del marco, y esfuerzos axiles en los demás. Este efecto se superpone al anterior.

Soldaduras. La unión entre los rigidizadores y las chapas no precisa soldadura a lo largo de toda ella, motivo por el cual se ha hecho discontinua. Como consecuencia del carácter de las cargas en la pasarela no se consideran posibles fenómenos de fatiga y, por tanto, la prescripción de la soldadura continua obligatoria en puentes, consideramos que no es de aplicación en este caso.

Bifurcación de los ramales. Existe una zona singular, que es la bifurcación de los tres ramales (fig. 10). En este punto los cuatro costados de los ramales curvos se convierten en los dos del ramal recto, y por ello es necesario recoger el trabajo de los elementos que desaparecen; esto se ha realizado mediante una triangulación en planta de chapas verticales en la zona ensanchada, inmediatamente anterior a la bifurcación. Previamente a esta triangulación, y dentro de los ramales curvos, se traslada el trabajo de las chapas laterales a una chapa vertical interna que forma luego parte de la triangulación anterior.

Fabricación del cajón. Dado el pequeño tamaño del cajón, que no permite el acceso al interior una vez cerrado, es muy importante la secuencia de montaje para que sea posible hacer todas las soldaduras necesarias.







10 a

El proceso es el siguiente:

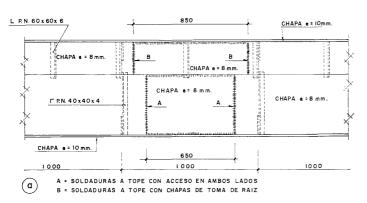
- 1. Construcción de los marcos completos.
- Soldadura de los rigidizadores longitudinales a la chapa superior, y de los marcos a ambos.

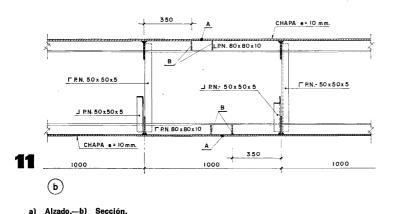
Es conveniente efectuar la soldadura de los rigidizadores transversales y longitudinales a la chapa al mismo tiempo, partiendo de una sujeción previa para evitar deformaciones en las chapas.

- 3. Volteo de las piezas y realización de la misma operación con la chapa inferior que tiene acceso por los costados.
- 4. Soldadura de las chapas laterales inferiores y a la chapa inferior al marco (que puede efectuarse desde la abertura que deja la chapa lateral superior).
- Soldadura de la chapa lateral superior a la chapa lateral inferior, y a la superior (como se ha dicho anteriormente lleva una rigidización independiente, porque no es posible soldarla al marco).

**Empalmes en obra.** Otro problema importante es el de empalmes en obra de los elementos completos fabricados en taller (fig. 11) y realizados en toda la pasarela por soldadura.

# detalles de los empalmes





Se ha seguido el siguiente procedimiento: las chapas superior e inferior de los elementos se colocan a tope, ejecutando las soldaduras de éstas con acceso por ambos lados, para lo cual se deja una abertura en los costados. Los rigidizadores longitudinales se dejan cortados antes del borde de las chapas superior e inferior, se empalman luego con un trozo del mismo perfil, haciéndose la soldadura a tope con la chapa interior de toma de raíz.

Los trozos de la chapa lateral inferior que cierra la abertura se sueldan a tope con acceso por ambos lados; y los de la lateral superior, con chapa interior de toma de raíz.

## IV-b) PILA PRINCIPAL

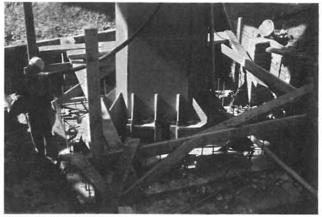
La pila principal para la suspensión de los cables tiene una altura total de 36,35 m y la sección heptagonal está constituida por chapas metálicas rigidizadas interiormente por medio de diafragmas horizontales (fig. 13).

# pila principal



12 a

La Pila antes de su montaje. Detalle del anclaje al cimiento.



12 b

Vistas de la pila una ver terminada la pasarela.

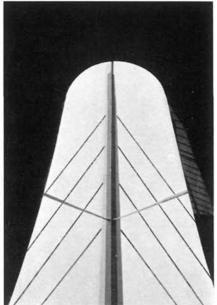






12 d





12 f

12 e

# 5000 Alzado y planta.-b) Secciones longitudinal y transversal 5 600 **(b) a**

# pila principal

Estabilidad en la pila. Su estudio se ha llevado a cabo por el método de las normas DIN 4114 para barras comprimidas apoyadas elásticamente en sentido transversal.

Los cuatro apoyos elásticos corresponden a las secciones de anclaje en la pila de cada tres cables; la constante elástica de cada apoyo viene definida por su flecha horizontal, considerando la coacción que originan los tres cables que anclan en él.

Una vez obtenidos estos valores en el modelo de cálculo general de la estructura, se plantean las ecuaciones de deformación de las cuatro barras que constituyen la pila, con lo cual se obtiene un sistema de ecuaciones lineales homogéneas cuyos coeficientes están en función de  $\nu_{\rm K}$ , coeficiente de seguridad de Engesser de cada barra. La anulación del determinante de los coeficientes define la condición de pandeo buscada.

Esto obliga a un doble tanteo, ya que T, el módulo de pandeo de las barras, depende de  $\nu_{\rm K}$ , por lo cual es preciso variarlo en función del valor  $v_{\rm K}$  que anula el determinante de manera que concuerden ambos valores. Con este fin se preparó un programa para un ordenador IBM 1130 que permitía hacer estos tanteos con rapidez hasta cortar el valor de  $\nu_{\rm K}$  de la barra inferior de la pila, que es la única que puede presentar problemas de estabilidad.

El estudio se ha realizado según los dos ejes principales de la pieza; la limitación de tensión por pandeo en la pila resulta muy pequeña por la eficacia del atirantamiento de los cables según tres direcciones.

Anclaje al cimiento. La zona más complicada de la pila es el anclaje al macizo de cimentación (fig. 14), debido al momento que se origina en su pie; esto ha obligado a efectuar el contacto con la cimentación por medio de una chapa metálica, de 60 mm de espesor, de mayor ancho que la pila y anclada en su borde con unidades de pretensado de 150 t.

La transmisión de esfuerzos de la pila a la placa de apoyo se hizo con chapas interiores verticales de 0,8 m de altura (fig. 14 a).

Dado el tamaño de la placa de apoyo, es necesario asegurar su perfecto contacto con el hormigón de la cimentación; con este fin se efectúa una inyección entre ambos elementos, una vez situada la pila en su posición vertical mediante cuñas de calce; esta inyección hace necesario asegurar la estanqueidad del conducto de los cables de anclaje a su paso por la junta para poder tesarlos después de realizar la inyección. Esto se consiguió con tubos metálicos, colocados en el hormigón, que sobresalían de la chapa de apoyo a través de los taladros para el paso de los cables una vez colocada en su posición definitiva, todo lo cual permitía sellar la junta entre tubo y chapa. Después de endurecida la inyección de la junta, se procedió al tesado de las unidades de pretensado y a la inyección de las vainas. Se hormigonó sobre cimientos una capa de 0,60 m de espesor para protección de la chapa inferior y de las cabezas de anclaje de pretensado.

Fabricación de la pila. Presenta los mismos problemas que el dintel: no es posible, por su pequeño tamaño, el acceso al interior una vez cerrado el cajón.

Por tanto, se sueldan cinco de las siete chapas entre sí, y a los diafragmas horizontales; las dos chapas frontales de la pila se sueldan primero entre sí y se coloca un rigidizador parcial, efectuándose luego las soldaduras longitudinales al conjunto anterior mediante chapas de toma de raíz.

Las zonas de la pila donde se encuentran los anclajes de los cables se realizaron completas como unidades independientes con la longitud correspondiente a la zona afectada por éstos, empalmándose seguidamente estos elementos al resto de la pila con soldadura a tope de las chapas exteriores.

Los anclajes de los cables en la pila es necesario colocarlos antes de cerrarla, porque luego no hay acceso posible, lo que obligó a montar los cables completos en el taller, transportándose después la pila con los cables arrollados.

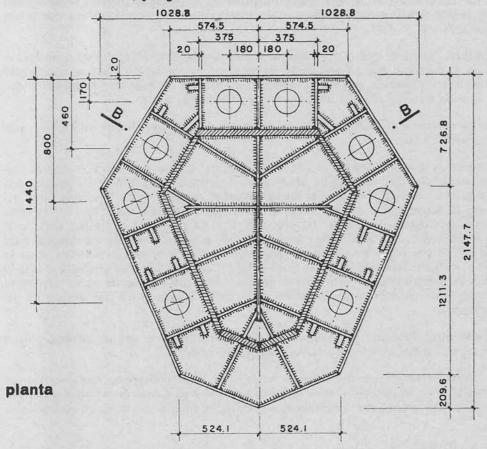
# VI-c) CABLES Y ANCLAJES

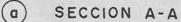
Elección del tipo de cable y de sus anclajes. La elección del tipo de cable y de sus anclajes, así como la tensión admisible en éstos, viene muy condicionada en las obras de este tipo por los problemas de fatiga que se pueden presentar, tanto por el cable en sí como por el propio anclaje.

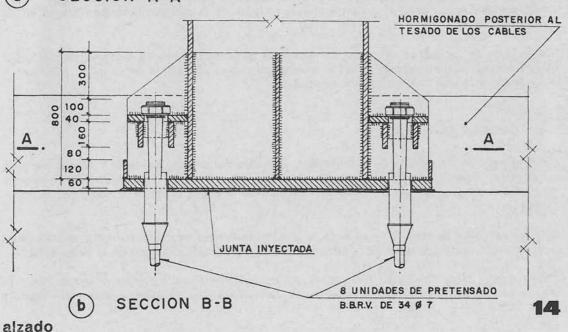
Este fenómeno es inoperante en el caso de una pasarela para uso exclusivo de peatones, pues la fracción de carga que produce la alternancia es insignificante respecto de la carga total.

Como consecuencia de ello se han podido utilizar cables formados por alambres paralelos de Ø 7 con anclajes BBR de cabezas remachadas. La composición de estos cables varía desde 8 hasta 18 Ø 7.

# detalles del apoyo de la pila en cimientos







El coeficiente de seguridad adoptado en el acero de los cables es siempre mayor que 2. Las tensiones de carga permanente en los cables oscilan entre 2.100 y 3.500 kp/cm², alcanzándose en sobrecarga una tensión máxima de 7.800 kp/cm².

**Deformabilidad del cable.** El cable, como consecuencia de su peso, nunca es perfectamente recto, sino que tendrá siempre la flecha correspondiente a la catenaria definida por el peso del cable, su inclinación y la tensión en sus extremos.

Como la variación de la flecha no es lineal con la tensión, resulta que el coeficiente de elasticidad aparente del cable, estimado como recto, no puede considerarse constante, sino que varía con la carga.

Este fenómeno, de gran importancia en puentes de este tipo, en nuestro caso ha resultado despreciable en el estudio de las sobrecargas, a causa del poco peso de los cables y de su pequeña longitud, motivo por el cual, a partir de las tensiones de carga permanente la variación de flecha es prácticamente nula. No ha sido así en el proceso constructivo, como veremos en el apartado correspondiente.

Protección de los cables. Con el fin de evitar el efecto de la corrosión en el acero, los cables van dentro de una vaina de polietileno que se inyecta, posteriormente, mediante lechada de cemento. La estanqueidad de la vaina en su unión con el dintel y con la pila se asegura con dos casquillos metálicos soldados a la chapa de cierre del agujero de entrada de los cables, entre los cuales queda alojada la vaina que se pega a ellos con resina epoxi. Al inyectar las vainas quedan inyectados también los recintos estancos de los anclajes. Este tipo de vainas y de inyección se ha utilizado ya en otras obras análogas a ésta con más de 10 años de funcionamiento, habiéndose comprobado el perfecto estado del acero.

Anclajes del dintel. Los elementos de anclaje, tanto en el dintel como en la pila, se ejecutan mediante anclajes normales del sistema de pretensado BBR, con cabezas remachadas apoyadas sobre un cilindro roscado a la corona de apoyo.

Los anclajes del ramal principal van apoyados en una chapa unida a dos diafragmas inclinados que recogen la sección completa del dintel, y en dos chapas transversales que rigidizan la chapa de apoyo de anclaje y los diafragmas anteriores (fig. 15).

Mucho más complicados resultan los anclajes de los ramales curvos que quedan en el pico del cajón. La chapa de apoyo, unida a igualmente a dos diafragmas inclinados, sobresale respecto a éstos, por lo que el efecto ménsula producido tiene que ser recogido con un pequeño emparrillado soldado a ella (fig. 16).

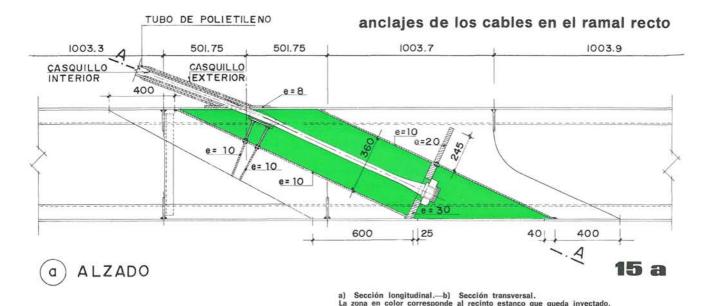
Anclajes de la pila. Estos anclajes van sobre una chapa que, a su vez, se apoyan en otras dos que transmiten la carga a dos vértices del polígono que forman las caras de la pila. La chapa de apoyo lleva dos rigidizadores debido a la anchura de ésta (fig. 17).

Las tracciones horizontales originadas por el sistema de los tres anclajes se recogen mediante las chapas de contorno de la pila, colaborando asimismo los diafragmas horizontales de rigidez.

# IV-d) PILAS SECUNDARIAS

Son todas de hormigón, de sección rectangular, chapa inferior del dintel; la menor es de 0,60. con su dimensión mayor igual al ancho de la

A causa de la coacción lateral de los apoyos actúa en la cabeza de algunas de estas pilas, una fuerza horizontal transversal que provoca en la sección inferior momentos considerables,

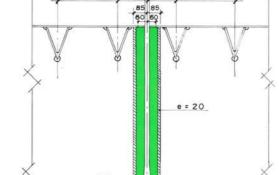


lo que ha obligado a pretensar las dos pilas de los ramales curvos contiguas al vano principal por medio de dos unidades de 150 t; como se ha indicado anteriormente, es necesario anclar el dintel en el borde exterior de la curva, que es el contrario al de los cables anteriores. Esto se ha hecho con un cable de 190 t alojado en una caja metálica, con el fin de permitir el movimiento del dintel respecto a la pila. Para evitar la corrosión del cable, éste tiene su vaina que se inyecta a la vez que el recinto estanco del dintel donde se aloja el anclaje de características análogas a los anteriores.

El resto de las pilas es de hormigón armado normal.

# IV-e) CONSTRUCCION

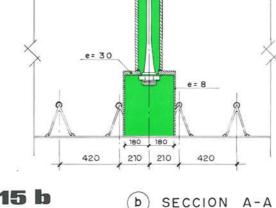
Ya nos hemos referido anteriormente al proceso constructivo porque es esencial para el planteamiento general del conjunto, y al proceso de fabricación de los elementos fundamentales de la pasarela.



210 210

420

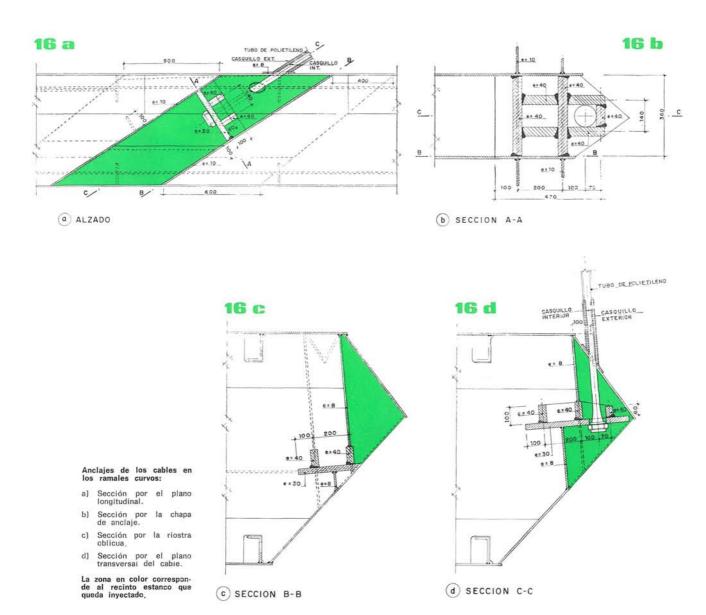
420



Fabricación en taller. La fabricación de la estructura metálica se llevó a cabo en los talleres SUBESA, en La Felguera. Debido al transporte, los elementos a construir en el taller podían tener una longitud máxima de 12 m y una anchura, también máxima, de 3,70 m, lo cual permitió fabricar trozos de dintel completos transversalmente, salvo la zona de bifurcación, que hubo que dividirlos en tres partes y empalmarlos posteriormente a pie de obra.

# MONTAJE DEL DINTEL

En principio se pensó empalmar a pie de obra tramos de gran longitud, con el fin de que los empalmes in situ fueran los menos posibles, y evitar la complicación que suponía trabajar

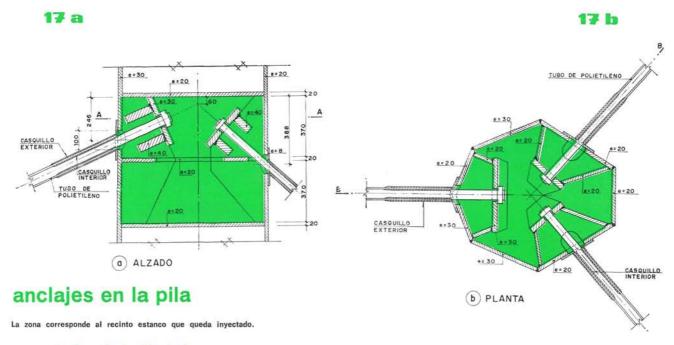


sobre las vías de tráfico. Esto se realizó con el ramal principal, empalmándose en estas condiciones un elemento de 70 m de longitud, incluyendo la zona de bifurcación. El montaje de este elemento empleando tres grúas resultó muy complicado, como consecuencia de la gran flexibilidad de la pasarela y de la dificultad de maniobra de las grúas entre las vías de la autopista (fig. 18).

Por eso los ramales curvos se montaron en trozos más pequeños, haciéndose in situ mayor número de empalmes.

# MONTAJE DE LA PILA

Para el montaje de la pila se utilizaron dos grúas: se situó primero en posición con cuñas colocadas sobre la cimentación y se sujetó con una pequeña fracción de la tensión de los ca-

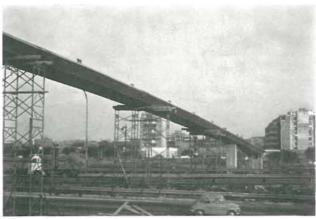


# montaje del dintel

18 a

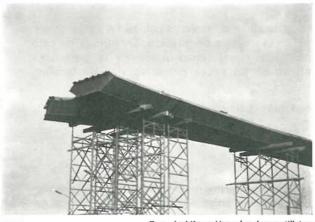






Tramo de 70 m montado en una pieza.



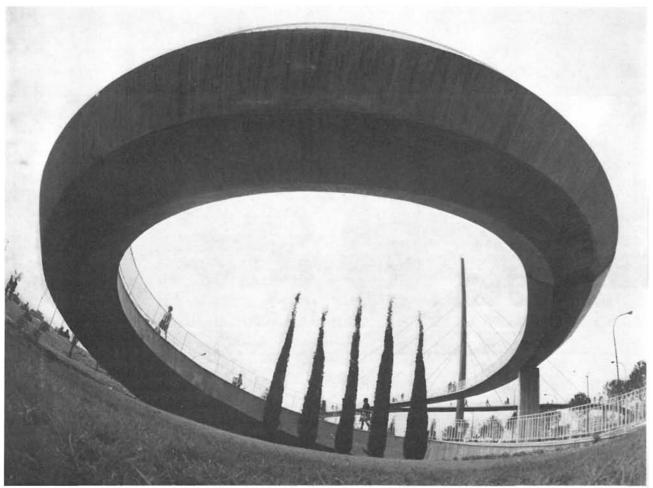






Empalme del ramal curvo.

18 d



Caracol II, vista general.

19

bles de anclaje; se realizó luego una inyección que asegurara el contacto entre ambos elementos, y una vez finalizada ésta se procedió al tesado total de los cables de anclaje (ver apartado correspondiente a la pila).

Tanto en taller como en obra se llevó a cabo un control muy intenso de las soldaduras mediante rayos X y ultrasonido.

Terminada la operación de empalmar toda la pasarela e izada la pila se enhebraron en el dintel los cables que, como hemos dicho, venían ya del taller colocados en la pila.

Fuerza inicial en los cables. El proceso de cálculo realizado supone que al quitar los castilletes la pasarela quede colgada de siete de los trece cables, considerando éstos rígidos y con coeficiente de elasticidad constante.

Con el fin de reproducir este efecto es necesario proporcionar a los siete cables una fuerza inicial para evitar mayor deformación en éstos de la prevista en cálculo, causada por el comportamiento no lineal de los cables al actuar su propio peso (ver apartado de cables y anclajes).

El valor de esta fuerza inicial  $(F_i)$  viene determinado por la igualación de la flecha teórica obtenida por el cálculo:

$$= \frac{\textbf{F}_{F}}{\textbf{A} \cdot \textbf{E}} \text{ (donde } \textbf{F}_{F} = \text{fuerza final),}$$

a la flecha real producida por la fuerza:  $\mathbf{F} = \mathbf{F}_F - \mathbf{F}_i$ , actuando en el cable a partir de una fuerza inicial en este  $\mathbf{F}_i$  y con el peso correspondiente al del cable más la vaina (en esta etapa el cable se encuentra sin inyectar).





20 a 20 b



20 c

# caracol II

- a) Vista antes de empalmar con el tramo I.
- b) Vista una vez colocado el tramo III de empalme.
- c) y d) Vistas generales.



20 d

Tesado de los cables y levantamiento del dintel. Una vez colgada la pasarela de los siete cables se dio carga al resto de ellos valiéndose de gatos, según las etapas que se indican en la figura 7. Posteriormente, se procedió a un levantamiento del dintel en la pila extrema del ramal recto de 30 cm (ver apartado II. PLANTEAMIENTO GENERAL).

**Inyección.** Se hizo simultáneamente en los tres cables que anclan en una misma sección de las pilas, rellenándose al mismo tiempo los recintos estancos de los anclajes que se indican en las figuras 15, 16 y 17.

# V

# Tramos IV y V

Formados por los dos caracoles de hormigón armado descritos en la definición de la pasarela, cuya diferencia principal estriba en que el tramo IV está apoyado en su extremo final y el V termina en voladizo libre sobre el que apoya el tramo III.

Vamos a referirnos principalmente al caracol II:

# V-a) CARACOL II

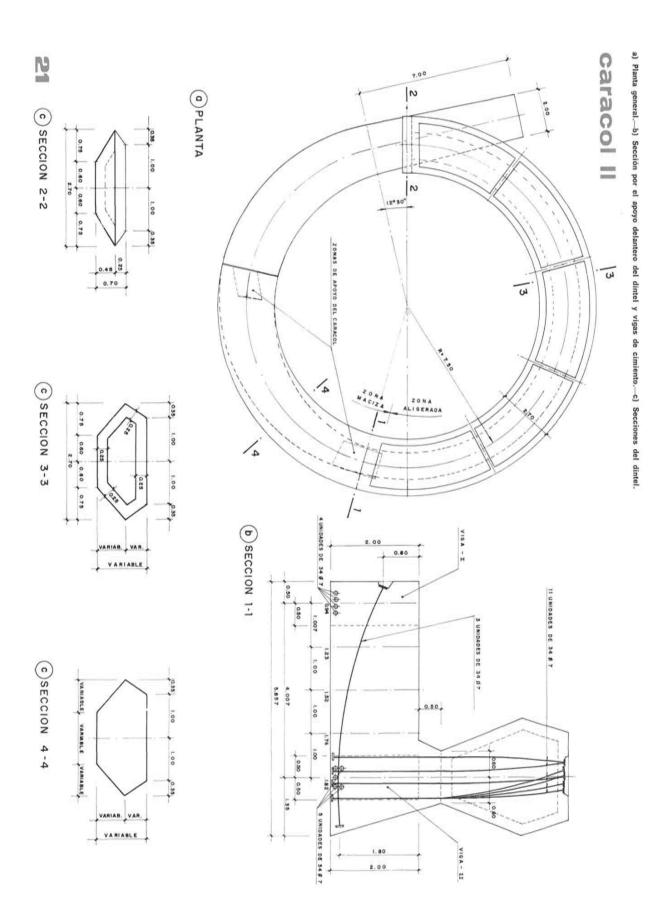
Sección transversal. La sección es un cajón hexagonal con paredes de 0,25 m de espesor, de la misma forma exterior que el dintel metálico, pero con canto variable. La zona comprendida entre los dos apoyos se ha hecho maciza para contrapesar en parte el voladizo.

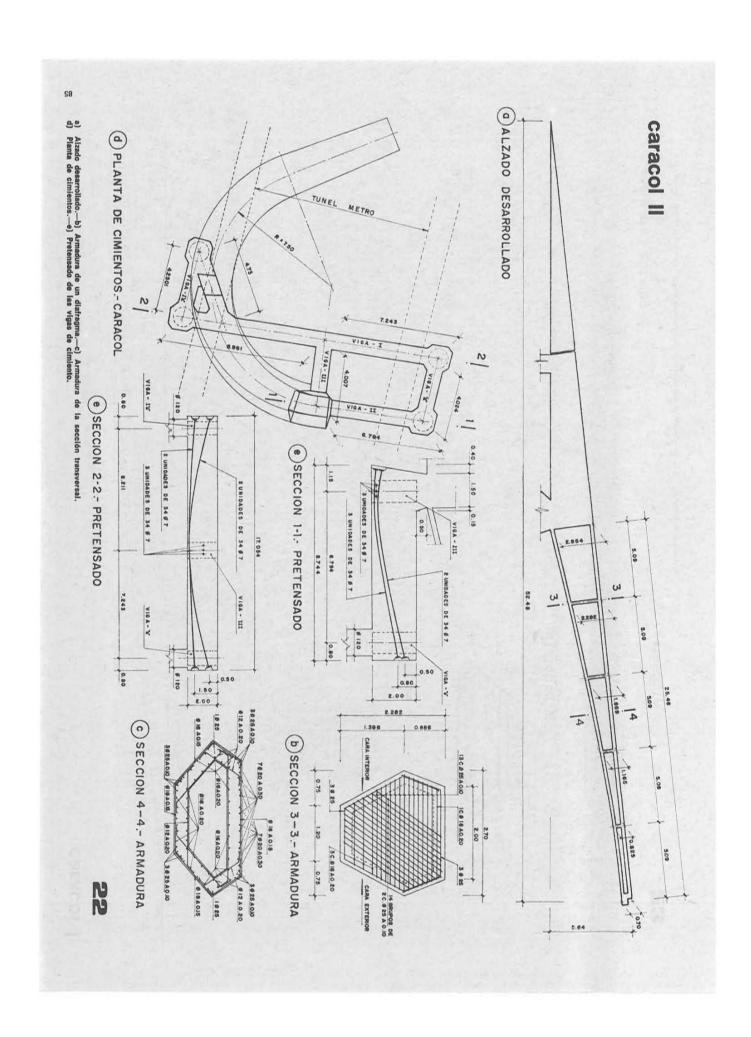
Comportamiento estructural. Debido al desarrollo circular del voladizo, que es de más de media circunferencia, la torsión es el esfuerzo predominante en él; su valor en la sección de apoyo es un 60 % mayor que el del momento flector en el plano vertical.

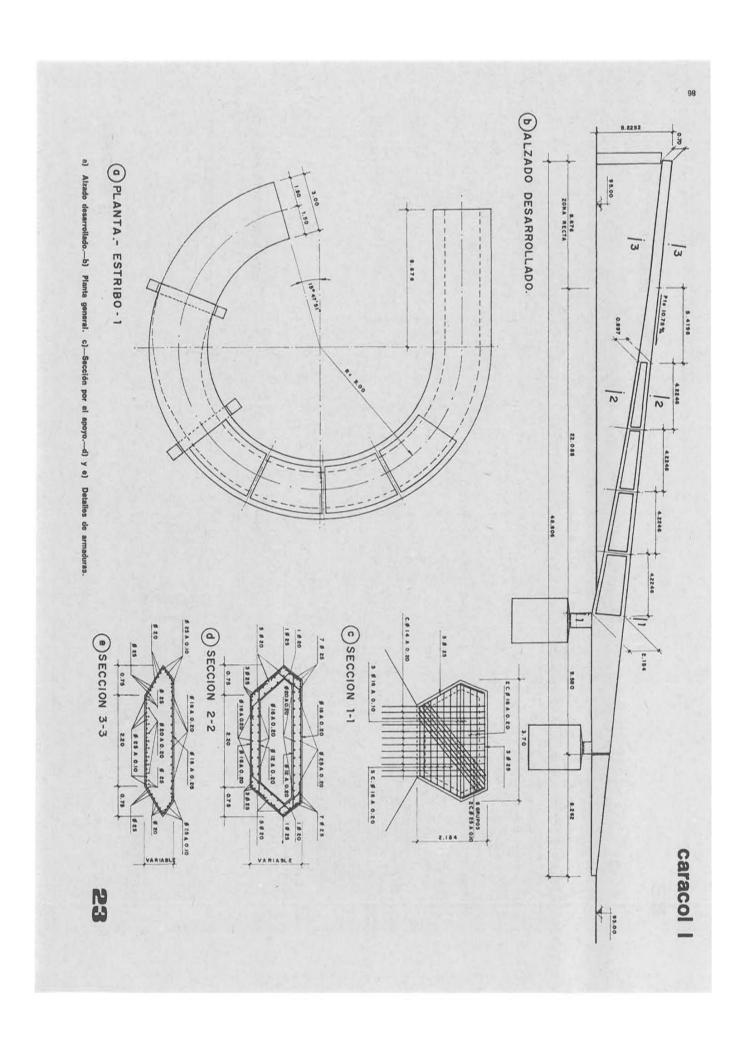
Se han colocado en la zona aligerada cuatro diafragmas internos fuertemente armados para disminuir lo más posible el efecto de la distorsión sobre el cajón.

**Armadura.** La armadura a torsión se ha dimensionado siguiendo las recomendaciones del Comité conjunto FIP-CEB. La comprobación del agotamiento del hormigón a torsión ha obligado a disponer los cercos en forma helicoidal en la primera parte del caracol, porque no tiene sentido aumentar los espesores de las paredes del cajón, debido a que la sección útil de éstas viene determinada por las dimensiones de la sección y no por su espesor real.

El cálculo de la armadura a flexión se ha efectuado teniendo en cuenta los momentos en plano vertical y horizontal, porque este último es considerable, del orden del 30 % del primero.







Cimentación. Ha resultado muy complicada, ya que todo el elemento se encuentra situado sobre la bóveda del Metropolitano (fig. 22).

Esto nos ha llevado a disponer un emparrillado de vigas pretensadas para resistir la carga vertical y las flexiones según los dos ejes ortogonales que produce el caracol. La transmisión a la viga de cimentación de la torsión en el apoyo se ha realizado mediante pretensado en un borde, a causa de que la carga vertical no contrarresta el tiro que la torsión produce en él (fig. 21 b).

### V-b) CARACOL I

De características análogas al anterior, aunque menos solicitado por estar apoyado en su extremo (fig. 23). No ha sido necesario en este caso disponer cercos helicoidales para la torsión, motivo por el cual se ha armado totalmente con cercos verticales.

Tampoco ha sido necesario el empotramiento vertical mediante pretensado, por lo que se ha realizado con armadura pasiva.

La cimentación se ha resuelto con dos macizos en cada apoyo, dispuestos transversalmente a la sección y separados 6 m, que recogen el par producido por la torsión.

### résumé

# Passarelle suspendue à Barcelone (Espagne)

C. Fernández Casado, J. Manterola et L. Fernández Troyano, Dres. ingénieurs des Ponts et Chaussées.

L'union de trois secteurs privés de communication pour les piétons a été résolue par la construction d'une él6gante et audacieuse passerelle, constituée par un embranchement principal se divisant en deux courbes et réalisée par des rampes à pente maximale de 11 %.

Le dense réseau de services de tout genre situés sous la place de Las Glorias a rendu difficile l'implantation de piliers, ce qui a obligé à adopter de grandes portées. La solution de passerelle suspendue, avec un seul pilier, d'où partent trois systèmes de câbles droits, un pour chaque embranchement de la passereqe, a été choisie pour assurer que la hauteur du linteau soit réduite.

Dans cet article, les auteurs décrivent les difficultés que représentaient le projet et la réalisation de cet intéressant ouvrage de génie, ainsi que les solutions géniales adoptées.

# summary

### Suspended crosswalk in Barcelona - Spain

C. Fernández Casado, J. Manterola and L. Fernández Troyano, Civil Engineers

An elegant and daring crosswalk has solved the problem of pedestrian inaccessibility to three sectors in the site mentioned above. This construction consists of a main passage that branches into two curves and is based on two ramps with a maximum gradient of 11 % which results in a winding staircase at two ends.

The thick network of all types of utilities that run under the Plaza de las Glorias made for difficult footing implantation as wide spans were called for. To reduce lintel extensions, it was decided to use a suspension system with a single footing from which three straight cable systems issued. Each of these cables corresponds to one of the crosswalk branches.

The article describes the difficulties that this project entailed and the solutions that were found for this highly interesting engineering

# zusammenfassung

### Hängeubergang in Barcelona - Spanien

Dr. Ing. C. Fernández Casado, J. Manterola und L. Fernández Troyano

Die Verbindung zwischen drei Sektoren, die an dieser Stelle für die Fussgänger unzugänglich waren, wurde mittels eines eleganten und gewagten Übergangs hergestellt. Dieser besteht aus einer Hauptachse, die sich in zwei Kurven gebelt. Die Rampen fallen im Höchstfall 11 % ab, das führt dazu, dass sich beidseitig Wendel bilden.

Das dichte Verkehrsnetz auf dem Platz «Las Glorias» hat die Errichtung von Säulen sehr erschwierigt und zur Installation grosser Scheinwerfer gewungen, Zur Erzielung gekürzter Rahmenkanten, hat man die Hängelösung gewählt. Von einer einzigen Säule gehen drei Kabelsysteme aus, ein System für jede Übergangsabzweigung.

Der Artikel beschribt die technischen Schwierigkeiten, die bewältigt werden mussten, die Durchführung dieses äusserst interessanten Werks der Ingenieurswissenschaft und auch die Lösungen zur Bewältigung der Schwierigkeiten.