

Ejemplar gratuito por cortesía de FONORTE, S.A.

Ejemplar gratuito por cortesía de DRAGADOS, S.A.



la estructura de

**ISOZAKI**

**atea**

**BILBAO**

## Edita

Vizcaina de Edificaciones, S.A.

## Coordinador (estructura)

Diego Martín

## Coordinador (arquitectura)

Josep Egea

## Coordinación y gestión

Eduardo Galnares

## Fotografías

E. Galnares

E. Peñalosa

D. Martín

M. Gaztelu

## Ilustraciones

Brufau, Obiol, Moya & Ass, S.L. (Estructura)

Inaki Aurrekoetxea & B. (Arquitectura)

## Diseño y maquetación

Enutt Comunicación, S.L.

## Fotomecánica e impresión

Gráficas Valdés

Vizcaina de Edificaciones, S.A. es titular o tiene las correspondientes autorizaciones y/o licencias sobre los derechos de explotación de propiedad industrial e intelectual de los contenidos de esta publicación. Queda prohibido modificar, copiar, reutilizar, explotar, reproducir, comunicar públicamente o de cualquier forma usar, tratar, o distribuir de cualquier forma la totalidad o parte de los contenidos, marcas, nombres comerciales, fotografías, diseños, dibujos o cualesquiera otros elementos incluidos en la presente publicación sin contar con la autorización expresa y por escrito de Vizcaina de Edificaciones y, en su caso, del titular de los derechos que corresponda.

ISBN

Depósito legal



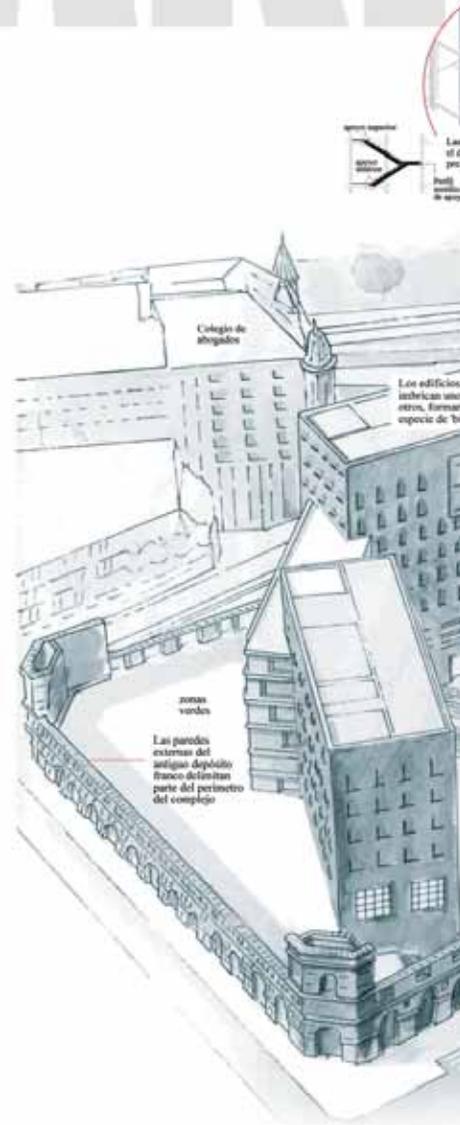


<b>0. Introducción</b>	12
0.1 La otra estructura.	14
0.2 Isozaki Atea, un reto de obra.	16
0.3 Una intervención a gran escala.	18
0.4 Concepto urbanístico-arquitectónico del conjunto.	20
0.5 El papel de la estructura en la arquitectura.	22
0.6 Planteamiento de la estructura del conjunto Isozaki Atea.	28
<b>1. Descripción de la estructura y metodología de cálculo</b>	32
1.1 El derribo.	34
1.2 Intervenciones en el depósito.	36
1.3 Cimentación exterior al depósito.	42
1.4 La losa postesada.	48
1.5 Nivel de planta comercial.	54
1.6 Nivel de viviendas.	60
1.7 Las torres.	62
1.8 Los puentes.	68
<b>2. La puesta en obra</b>	74
2.1. La sistematización de los sistemas constructivos.	76
2.1.1. El sistema de encofrados mediante mesas.	
2.1.2. Escaleras prefabricadas.	
2.1.3. Pilares metálicos con forjados de hormigón.	
2.2. Ejecución del postesado en obra, vigas y losa.	84
2.3. Consolidación de fachadas existentes y puentes.	90
<b>3. Arquitectura</b>	92
<b>4. Relación de colaboradores</b>	100
<b>5. Glosario</b>	102

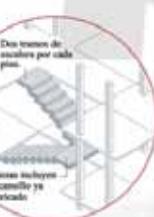
# ISOZAKI

## La nueva puerta a Bilbao

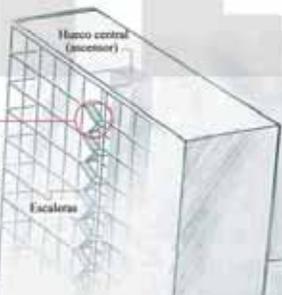
Isozaki Atea reconfigurará el muelle de Uribartarte con un complejo urbanístico de más de 80.000 m<sup>2</sup> de viviendas, oficinas y áreas peatonales, rematado por dos torres a modo de puerta hacia el núcleo urbano.



# ATEA



**EL ESQUELETO**  
La estructura está basada a buen ritmo gracias, entre otros, a la utilización del sistema de escaleras de hormigón prefabricado, de Buerklin.



Humo central (accidental)  
Escalera

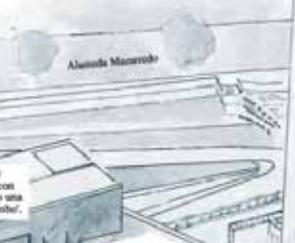


Galerías comerciales

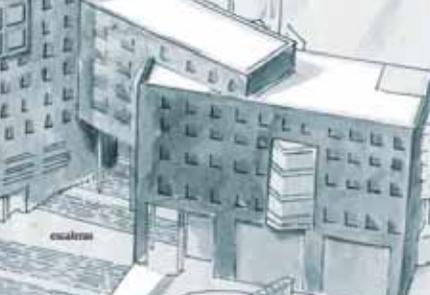


Vivienda

Vivienda



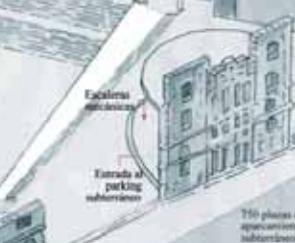
Alameda Marqués



escalera

Escaleras hacia Marqués

Paseo de la Ría



Escalera mecánica

Entrada al parking subterráneo

Fachada del antiguo depósito Franco restaurada

Línea peatonal

Se han aprovechado los existentes del antiguo depósito franco, lo que ha obligado a utilizar una plataforma en su zona superior para transmitir las cargas.

Un paso elevado unirá la Pasarela Calatrava con el complejo

Pasarela Calatrava

750 plazas de aparcamiento subterráneo



Por el interior de la losa, de 60/90 cm. de grosor, discurren varias con tensores de acero que se fijan poco a poco.

Tranvía

Ría de Bilbao







<b>Emplazamiento</b>	<i>Muelle de Uribitarte, Bilbao, España.</i>				
<b>Programa</b>	<i>Conjunto de viviendas, zona de ocio, aparcamientos y espacios públicos.</i>				
<b>Propiedad</b>	<i>IBAIBIDE, S.A. - Vizcaina de Edificaciones.</i>				
<b>Fecha proyecto</b>	<i>1999 - 2002</i>				
<b>Fecha obra</b>	<i>2002 - 2005 (Estructura).</i>				
<b>Arquitectos</b>	<i>Arata Isozaki &amp; Associates Iñaki Aurrekoetxea (Bilbao).</i>				
<b>Consultores</b>	<table border="0"> <tr> <td><b>Estructura</b></td> <td><i>Brufau, Obiol, Moya &amp; Ass. S.L.</i></td> </tr> <tr> <td><b>Instalaciones</b></td> <td><i>Francesc Labastida.</i></td> </tr> </table>	<b>Estructura</b>	<i>Brufau, Obiol, Moya &amp; Ass. S.L.</i>	<b>Instalaciones</b>	<i>Francesc Labastida.</i>
<b>Estructura</b>	<i>Brufau, Obiol, Moya &amp; Ass. S.L.</i>				
<b>Instalaciones</b>	<i>Francesc Labastida.</i>				
<b>Empresa constructora</b>	<i>UTE DRAGADOS y Fonorte Cimentaciones Abando.</i>				
<b>Superficies Construida</b>	<i>90.000 m<sup>2</sup>.</i>				

0.1

La otra estructura.

0.2

Isozaki atea, un reto de obra.

0.3

Una intervención a gran escala.

0.4

Concepto urbanístico-arquitectónico del conjunto.

0.5

El papel de la estructura en la arquitectura.

0.6

Planteamiento de la estructura del conjunto Isozaki Atea.





# introducción

---



# 0.1

introducción

## La otra estructura

*Juan Luis Pereira*

*Director General de Ibañde*

Al alzar la vista desde el paseo de Uribartarte lo evidente es la estructura de acero y hormigón que se levanta como anticipo de lo que va a ser una de las obras más singulares y atractivas del nuevo Bilbao. Pero detrás de los materiales y los forjados queda oculta la otra estructura, inmaterial, silenciosa, hecha de palabras y procedimientos, de gestión y compromisos, sin la cual el sueño que fue en su día Isozaki Atea no sería posible.

Reconvertir las ruinas del viejo Depósito Franco, víctima entonces de un proyecto fallido que acabó en quiebra, en un proyecto brillante, atractivo y útil para la ciudad, resultaba un desafío que pocos estaban dispuestos a asumir. Requería el apoyo de los gestores municipales, la negociación con los acreedores y las entidades financieras implicadas... y encontrar al arquitecto de prestigio que vislumbrase en el espacio la solución urbanística.

Arata Isozaki hizo bueno el proverbio de que todas las obras de arte deben empezar por el final. Recién aterrizado, observó desde el monte Artxanda la gran manzana entre la Ría y la Alameda Mazarredo, y rápidamente bosquejó un croquis, que es hoy el logotipo del proyecto que lleva su firma.

Este libro expone las soluciones constructivas originales, en muchos casos pioneras en el ámbito de la arquitectura, que han debido ponerse en práctica para actuar sobre una construcción preexistente, hasta lograr ese conjunto ambicioso, que ha ido creciendo a una planta diaria. La estructura es aquí un objeto del equilibrio y la resistencia, marcado por la funcionalidad y la racionalidad.

En los cimientos intangibles de Isozaki Atea se ha ido tejiendo esa otra estructura de acciones enlazadas que han dado sentido al conjunto, en forma de coordinación, empeño personal, asunción de riesgos y apuesta por una creencia que salía del corazón.

Porque algo de nosotros queda en esa morfología estilizada que da una fisonomía nueva a la ciudad que mira al futuro. Desde los que hemos encabezado el proyecto hasta quienes han estado al pie del cañón. Elena Iráculis Ruiz, Arquitecto Técnico; Luis Arroyo Rodríguez, colaborador inestimable en cálculos de obras anexas y seguimiento de obra; José Bilbao Goicolea y Antón Ruiz Zubillaga, en coordinación de obra; José M<sup>a</sup> Romo Aranzábal, supervisando los trabajos de derribo. Y el resto del equipo, que ha dado lo mejor de sí. Gracias.

Ha sido una experiencia gratificante para todos los que hemos puesto nuestro grano de arena en pro de la calidad, la precisión, la seguridad y la belleza de Isozaki Atea. Porque, como decía Séneca, "las obras se tienen medio terminadas cuando se han comenzado bien".



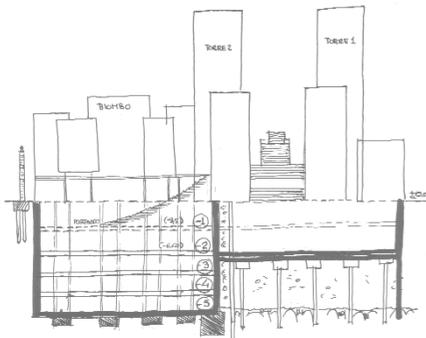
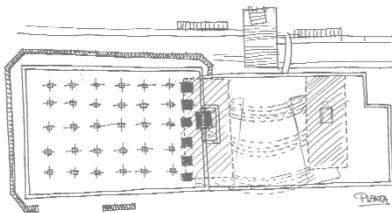
# 0.2

## introducción

### Isozaki atea, un reto de obra

*Eduardo Galnares*

*Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos*



Hemos estado en la mirada de muchos bilbaínos durante este último año. ¡Quién no se ha parado mientras paseaba por la ría o en su ir y venir del trabajo a contemplar la magnífica vista de las torres creciendo a una planta por semana! Todo el mundo opinaba. Unos, sin ser técnicos, se sorprendían de esta tipología de estructura tan poco vista por esta zona: "la torre parece como un castillo de palillos y papel". Otros, los más allegados, pudieron ver la estructura desde dentro, subir uno a uno los 457 peldaños y al final, deleitarse del Gran Bilbao 360 grados. A todos les mereció la pena, incluso a los que salvaron su vértigo.

Realmente disfrutamos ejecutando esta estructura. ¡Vaya equipo de profesionales que he tenido a mi alrededor! Sin duda, el éxito y buen hacer de este proyecto parten de la ilusión y dedicación de este gran equipo. ¡Cuántas cosas han pasado en este año! Nevaba cuando finalizábamos la primera de las torres y los termómetros marcaban cuarenta grados el 30 de Junio de 2005 cuando finalizábamos la segunda. Sin embargo, nunca se perdió un ciclo de trabajo. El complejo Isozaki Atea creció desde el primer día a una planta por semana gracias a los cien profesionales que colaboraron durante todo el proceso de construcción.

Fue un 13 de Abril de 2004 cuando comenzamos a ejecutar el esqueleto de Isozaki Atea. Los primeros meses fueron duros, trece máquinas en los sótanos de la estructura existente reforzaban y adaptaban dicha estructura a las nuevas solicitudes. El núcleo de la torre n.4 debía nacer igualmente haciéndose sitio entre la estructura existente. Eran muchos los planos, pero la obra era más fácil de entender con el croquis dibujado por D. Juan Luis Pereira, el cual permaneció colgado en mi despacho durante todo el proceso de construcción.

Desde que comenzaron a nacer las torres, tuvimos un seguimiento diario tanto en prensa como en la web. No podíamos fallar.

La ejecución de esta obra ha sido un verdadero reto, principalmente de plazo además de técnico. Se nos encargó hacer una obra de libro. Perseguimos desde el primer momento la industrialización de los sistemas constructivos, y lo conseguimos. Establecimos ciclos de trabajo semanales con una combinación entre el trabajo "in situ" y la prefabricación. De esta forma, incorporamos el sistema de encofrado mediante Mesas, pilares metálicos prefabricados en taller en altura de tres plantas y escaleras de hormigón prefabricadas.

Hoy, el esqueleto de Isozaki Atea está levantado y todo ha encajado según lo previsto. Ha sido una obra realmente rápida. Ahora es el momento de compartir nuestro esfuerzo y trabajo.



# 0.3

## introducción

### Una intervención a gran escala

*Iñaki Aurrekoetxea*

*Arquitecto*



El proyecto de Isozaki Atea es, a mi entender, uno de los grandes Proyectos de Bilbao. Se trata de un proyecto urbanístico y arquitectónico en clave de ciudad. Este proyecto resuelve definitivamente dos cuestiones que no lo había hecho la planificación urbanística: por una parte la entrega del Ensanche a la Ría, y por otra, la unión de las dos tramas urbanas del Ensanche y Campo Volantín de modo rotundo y a su vez sensible, incorporando además el depósito Franco y rematando la manzana.

Todo esto se realiza con una sensibilidad exquisita dotando a la ciudad de un acceso directo al Paseo de Uribitarte, es decir a la Ría, mediante una escalinata monumental, sin timidez, integrando a su vez la pasarela Zubi Zuri y generando en el entorno un complejo de espacios públicos diversos, ricos en matices y usos en sus tres niveles.

El Proyecto va a suponer la regeneración definitiva de esta parte de la ciudad. Completa su trama urbana y potencia de manera definitiva la calle Ercilla como un eje fundamental de Bilbao.

Si es tal su importancia en el plano urbanístico, en el arquitectónico no lo es menos. Será un referente por su singularidad, sus características constructivas y volumen. Enmarcará el comienzo de la ciudad desde la Ría, entendida ésta como su eje vertebrador, con esos dos edificios de cristal de una simplicidad impresionante en donde el valor lo representa el espacio, que al mismo tiempo se ausenta y está presente.

En este proyecto nuestra participación ha sido y es fundamental, además de constituir una experiencia única tanto por el proyecto en sí como por el hecho de participar directamente junto con la oficina de Arata Isozaki tanto en la definición inicial como en su desarrollo posterior y, por supuesto, en su ejecución. Aunque inicialmente el proyecto parece sencillo, es verdaderamente complejo y singular en todos sus aspectos.

Para un estudio como el nuestro supone el cambiar de escala de trabajo: comprender los mecanismos de definición de un proyecto de esta entidad, valorar las diferentes partes del proyecto hasta su máxima definición y comprenderlos, con el objetivo de que el resultado final esté controlado en la medida de lo posible. Para ello, se ha colaborado con prestigiosas firmas en sus campos, innovando aspectos constructivos tan diversos como son el muro cortina de silicona estructural con ventanas de apertura hacia el interior o la ejecución de una losa postesada de 6.000 m<sup>2</sup>.



# 0.4

introducción

## Concepto urbanístico- arquitectónico del conjunto

*Arata Isozaki and Associates*

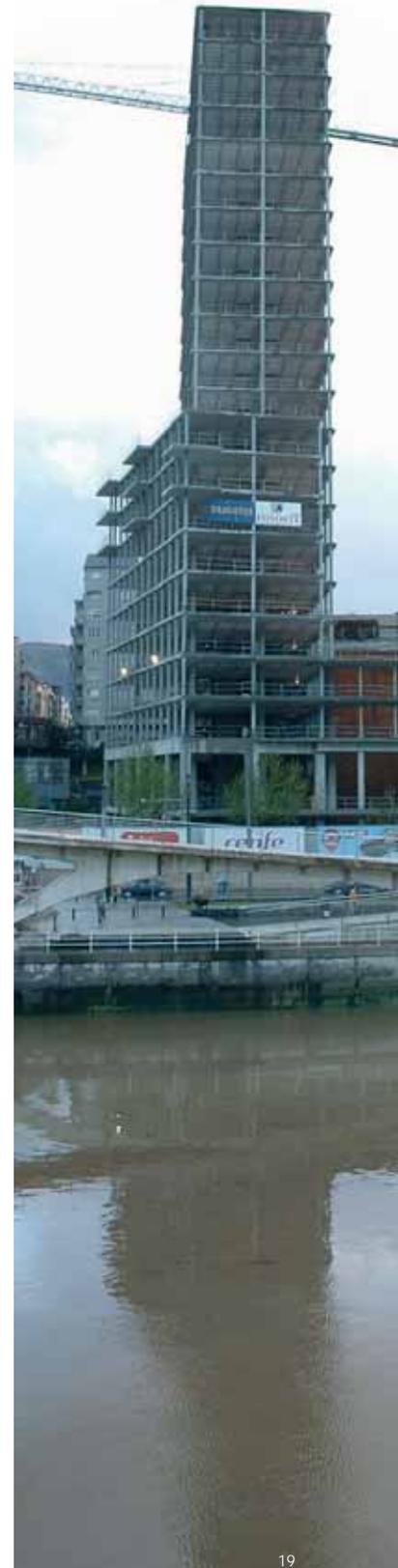
Después de haber intentado por diferentes iniciativas privadas rehabilitar el antiguo Depósito Franco, situado en el Muelle de Uribitarte, y no habiéndose logrado este objetivo por una u otra razón, dejándose más de una década en un lamentable estado de abandono, se plantea un importante y complejo problema urbanístico en esta intervención.

Por un lado, en la actualidad, la Pasarela de Uribitarte diseñada por Calatrava no conecta exac-

tamente con la zona de Ensanche, donde existe vida cotidiana intensa, creando una barrera física entre la Ría y la zona de Ensanche. Éste es un problema genérico que existe en Bilbao, dado que la ciudad ha vivido siempre de espaldas a la Ría. No existe conexión directa con la Ría, motor de las actividades industriales de la ciudad.

Por otro lado, el Ayuntamiento tiene la intención de crear elementos importantes a lo largo de la Ría. Claros exponentes de este criterio son pun-





tos como el Museo Guggenheim, el Palacio de Euskalduna o las obras de RIA 2000. Además de éstos ya existentes y en proceso de realización, se pretendía la construcción de una plaza pública sobre la colindante calle Marina, y resolver así la problemática de un desnivel de unos 14 metros entre la Ria y la zona del Ensanche.

Posteriormente, la empresa promotora Vizcaina de Edificaciones ha gestionado con los propietarios del solar sito al otro lado de la calle Marina la realización de una actuación conjunta del área.

La solución expuesta por Isozaki para responder a estas necesidades es diseñar una gran escalinata de unos 70 metros de longitud, equivalente a la de la Plaza de España en Roma, para conectar estos dos niveles y hacer dos edificios de unos 80 metros de altura a ambos lados de ésta. Es la propuesta de diseñar una Puerta de la Ciudad en el siglo XXI con el fin de conectar el Ensanche y la Ria.

Una de estas torres penetra directamente en la prolongación de la pasarela existente para dar la mayor diversidad de conexión con ambos lados de la Ria.

En el interior del Antiguo Depósito de Aduanas, aparte de una de las torres, se organizan otros bloques colocados en forma de biombo. Esta disposición convierte el antiguo edificio en un recinto totalmente abierto formalmente, conservando el perfil de su antiguo trazado. Desde la cota intermedia de la Gran Escalinata penetra en el recinto y continúa hasta planta sótano 1, donde se encuentran los accesos al café, restaurante y comercios dando una mayor integración entre la ciudad y el edificio.

El uso de cada bloque está definido según las condiciones de su ubicación, es decir, la parte que se encuentra con la cota de la calle o plaza y los sótanos están destinados a actividades comerciales o parking, mientras que los demás niveles serán destinados a viviendas.

Igualmente, esta diferenciación se puede observar por el tipo de materiales propuestos. La elección de diferentes acabados pretende formar un conjunto diversificado y diferenciador respecto a las viviendas masificadas habituales. Se empleará vidrio en la fachada de las torres y aplacado de piedras y ladrillo visto o vidrios en los bloques restantes.

# 0.5

## introducción

### El papel de la estructura en la arquitectura

Robert Brufau

Dr. Arquitecto



#### 0.5.1. Introducción

Cuando los "especialistas" nos encontramos por primera vez ante una determinada opción arquitectónica con la intención de encajar la estructura más adecuada, siempre es conveniente hacer esta consideración:

Dando por sentado que el papel resistente que tiene que asumir la estructura es incuestionable, hay que suponer que esta función se cumplirá debidamente, y que pondremos todos los medios necesarios para que así sea. Se tratará de encontrar el método de análisis más conveniente a partir de la dificultad intrínseca que comporten las soluciones estructurales escogidas. Pero no hay que dedicarle a esta cuestión más energías que las estrictamente necesarias.

Cuando realmente hay que reflexionar todo el tiempo que sea preciso es cuando se trata de entender cual es el papel que la estructura ha de jugar respecto a la arquitectura que nos llega, a la cual deberá servir de la manera más eficaz. Éste es el aspecto más importante del tema, y, verdaderamente, donde hará falta invertir los mayores esfuerzos.

Los alumnos de arquitectura que comienzan conmigo su aprendizaje del mundo de las estructuras en la edificación no han de extrañarse cuando, ya en uno de los primeros temas, se les plantea, precisamente, esta reflexión. Este texto inicial que se

adjunta es, precisamente, el que se imparte en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura del Vallés, y forma parte de los apuntes "Introducción a la Arquitectura" que se imparten a lo largo del Primer Curso de Carrera.

#### 0.5.2. Las funciones de la estructura

El Arquitecto deberá definir con precisión las funciones a cumplir por su estructura, tanto en lo que afecta a su aspecto resistente como en lo que concierne a su integración dentro de un concepto mucho más amplio cual es la obra arquitectónica.

##### 0.5.2.1. La función arquitectónica de la estructura

El papel a desempeñar por la estructura dentro del contexto proyectado será una de las primeras decisiones a tomar. Podrá, de este modo, adoptar desde una función muy relevante hasta una función estrictamente como soporte de la construcción. Ordenando el papel de la estructura por su importancia relativa con respecto a la arquitectura,

se puede establecer esta gradación, basándonos en algunos ejemplos clásicos:

a) La estructura es, por sí misma, la propia finalidad del proyecto. Se convierte en "objeto arquitectónico" por encima de su propia función de uso. En esta línea se pueden mencionar modelos tan representativos como la Torre de Eiffel, como el Gran Arco de Eero Saarinen, o como algunas esculturas monumentales planteadas a partir del reto de su estabilidad.

b) Un uso determinado da pie a plantear una estructura que asuma la concreción arquitectónica del proyecto. La solución formal de la estructura acaba siendo más importante que el propio programa funcional. Algunos ejemplos significativos dentro de este grupo: Las cúpulas geodésicas de Buckminster Fuller, las cáscaras de Félix Candela, las láminas de ladrillo armado de Eladio Dieste, las mallas espaciales de Konrad Wachsmann, los proyectos utópicos del Constructivismo Soviético, etc... En obras de ingeniería esta situación se da con mayor frecuencia, en especial en ciertas opciones de puentes. Es interesante, en este sentido, el conjunto de la obra del ingeniero suizo Robert Maillart.

c) La estructura asume su función como definidora de la Arquitectura de modo que ésta desarrolle sus espacios a partir de las formas concretas que aquella le proponga. En esta línea se puede mencionar, como ejemplo más relevante, el conjunto de las grandes catedrales góticas. De la historia más reciente se recuerda la mayoría de obras de Pier Luigi Nervi, de Ricardo Morandi o de Eugène Freyssinet. Es también remarcable el conjunto de la obra de Eduardo Torroja, repartida por España, así como ciertos ejemplos de la arquitectura modernista catalana, como son las atrevidas construcciones en ladrillo de los arquitectos César Martinell y Lluís Muncunill, así como algunos de los espacios creados por Antoni Gaudí.

d) La estructura acentúa una determinada arquitectura, sin pretender imponerle, en absoluto, una definición formal excluyente. Esta acentuación podría ser interpretada como "generadora de orden", a la manera clásica, o bien como "aportadora de una cierta imagen" dentro de un planteamiento funcional en el que la estructura asuma un papel menos ambicioso.

Del primer caso se encuentran numerosos ejemplos a lo largo de la Historia, como podrían ser los templos griegos o romanos, los edificios públicos

árabes, las iglesias y palacios renacentistas, algunos modelos de la arquitectura monumental del XIX y, quizás, como ejemplo más representativo, los macroedificios de la Escuela de Chicago. La arquitectura moderna americana está llena de edificios planteados con esta idea: Mies Van de Rohe, Craig Ellwood, Louis Kahn, el grupo SOM, e, incluso, una buena parte de la obra de Frank Lloyd Wright. Como ejemplos próximos, en esta línea, podemos citar los dos grandes Pabellones Olímpicos barceloneses: el de Montjuic, obra de Arata Isozaki, y el de Badalona, obra del equipo Bonell-Rius. Es notable asimismo, de una época algo anterior, el conjunto de las Facultades de Derecho, de Económicas y de Empresariales, en la Zona Universitaria de Barcelona.

Del segundo se puede mencionar una buena parte de la obra de Le Corbusier, de un buen número de arquitectos del movimiento racionalista (es memorable el proyecto que Hannes Meyer presentó para la Peterschule de Basilea). Es ciertamente interesante, en esta línea, la obra de los franceses Auguste Perret y Jean Prouvé, y de los ingenieros ingleses Owen Williams y Albert Kahn, así como algunas muestras de la arquitectura "brutalista", tanto europea como japonesa, personificada esta última especialmente en Kenzo Tange. Aquí se podría incluir el reciente movimiento "High-Tech", propio del último cuarto del Siglo XX, donde los ingenieros Ove Arup y Peter Rice, y los arquitectos Richard Rogers, Renzo Piano y Nicolas Grimshaw son las figuras más representativas.

e) La estructura se encaja, sin estridencias dentro de la arquitectura. Ha de hacer posible una correcta relación espacial, sin pretender significarse. Se trata de conseguir una "estructura neutra" que no imponga limitaciones de ningún tipo, ni al uso ni a la expresión arquitectónica, que ahora ya no contaría con los recursos estructurales para manifestarse.

Hay que tener en cuenta que "neutralidad" no es sinónimo de "vulgaridad". El proyectista debe procurar que esta neutralidad vaya acompañada de la elegancia y el orden necesarios para garantizar un buen comportamiento resistente.

f) La estructura puede tener que asumir una función únicamente resistente. No se la necesitaría para nada más y podría, incluso, ser considerado como valioso el que se organizara para quedar totalmente "oculta", aunque ello pudiera implicar



un cierto desorden o un peor comportamiento. Es una opción, aunque en manos de proyectistas incompetentes pueda llegar a ser ciertamente dudosa.

#### 0.5.2.2. La función resistente de la estructura

La función resistente es la función primaria de la estructura. Ante cualquier sollicitación debe dar siempre una respuesta satisfactoria, tanto desde un punto de vista tensional como desde un punto de vista deformacional. Equivale a decir que la estructura debe garantizar la imposibilidad de un colapso, pero también que no se pueda deformar más que lo que se considere razonable en función del uso del edificio.

El proyectista, situado ahora ya plenamente en una primera fase de información del proceso proyectual de su estructura, deberá plantearse algunas cuestiones al respecto:

- ¿Cuáles son las acciones “ordinarias” según las cuales deberá realizar sus cálculos? ¿Se conoce suficientemente bien el uso del edificio como para poder plantear correctamente todos los estados de carga? ¿Están suficientemente definidas las propiedades dimensionales de todos los elementos de acabado, como pavimentos, enyesados, aplacados, falsos techos, etc... como para poder estimar certeramente sus pesos propios? ¿Qué tiene de especial el edificio cuando se tenga

que considerar la aplicación, por ejemplo, de las acciones eólicas? etc...

- ¿Pueden actuar acciones “atípicas”? ¿Está la obra en zona sísmica? ¿Existe en las proximidades del edificio alguna causa que le pueda provocar efectos vibratorios? ¿Se controlan adecuadamente las acciones térmicas? ¿Podrá la realidad del terreno ser motivo de problemas futuros? etc...

- En lo concerniente a las deformaciones, ¿se trata de un edificio en el que la aparición de fisuras derivadas de sus movimientos pueda comportar consecuencias de inadecuación a su uso? ¿Deberá imponerse alguna limitación especial de sus flechas máximas? ¿Habrá algún elemento significativo que, por razón de su posición visual, pueda poner en evidencia algunas deformaciones excesivas? ¿Sería aceptable, en función de su uso, la aparición de flechas diferenciales? etc...

#### 0.5.2.3. Adaptación de la estructura a edificios plurifuncionales

A menudo el arquitecto debe plantear, como es el caso, edificios plurifuncionales con usos muy diferenciados según se trate de unas zonas u otras. Esta posibilidad complica enormemente la elección tipológica, ya que hay que responder con una estructura “única” a diversos requerimientos, tanto resistentes como arquitectónicos.



Cada uso funcional tiene unas exigencias a imponer cuando se intenta encajar la mejor estructura posible que resuelva todas las dificultades. Así, por ejemplo, en un caso habitual (y no precisamente de los más difíciles de resolver) en que el edificio tenga dos o tres plantas subterráneas dedicadas a aparcamiento, una planta baja pensada como galería comercial, una planta entresuelo proyectada para albergar oficinas, varias plantas superiores con uso de vivienda y un ático con una solución diferenciada respecto a las plantas inferiores, el arquitecto deberá conjugar de la mejor manera posible las opciones estructurales para que ninguno de los usos previstos se vea limitado por un mal posicionamiento de los pilares o de las jácenas. La disposición de los pilares en planta pide diferentes modulaciones según se trate de un aparcamiento, de un local comercial, de una oficina o de una vivienda. Las alternativas del proyectista, si no es capaz de encontrar una solución unitaria, son varias: Podrá utilizar tipologías estructurales diferenciadas para cada una de las zonas que lo requieran. Podrá recurrir a la utilización de importantes “jácenas de apeo” con desplazamiento de pilares. Podrá también utilizar complejas estructuras proyectadas espacialmente que adapten la posición de sus barras a todas las exigencias funcionales, etc...

#### 0.5.2.4. Aportación de una cierta flexibilidad espacial desde la estructura

Cuando se proyectan determinados edificios con un programa no excesivamente bien definido o con unas expectativas de uso o de funcionamiento cambiantes, puede ser interesante recurrir a tipologías estructurales que posibiliten una cierta flexibilidad de uso, de manera que las presumibles modificaciones de la subdivisión de los espacios tenga fácil solución. Este requerimiento funcional influenciará la elección tipológica, la organización del esquema ideal dentro de las posibilidades que ofrece la tipología escogida y, de una manera muy especial, el dimensionado de los espacios, en el que se podrá intervenir principalmente por las distancias ideales derivadas de la óptima implantación en planta de los soportes verticales.

### 0.5.3. El caso particular de Isozaki Atea

Nuestra colaboración con el arquitecto Arata Isozaki se viene produciendo de una manera bastante regular desde 1998, cuando la Fundació La Caixa lo incorporó al Proyecto de la recuperación de la antigua Fábrica Textil de Can Casaramona (obra del Arquitecto modernista Puig i Cadafalch, 1909) para reconvertirla en el Recinto Museístico de Caixaforum. El arquitecto coordinador de este proceso de reconversión era Roberto Luna, y el encargo que recibió Isozaki fue el Proyecto de la zona de acceso peatonal. Fue una construcción de pequeña dimensión, pero sumamente compleja por su emplazamiento y por la propia singularidad del espacio del recinto textil que se aprovechaba. Ya desde los primeros días de trabajo comenzamos a aunar nuestros esfuerzos con sus arquitectos, formando un auténtico equipo en el que las decisiones en las que pudiera estar implicada cualquier decisión estructural eran tomadas conjuntamente. El resultado fue muy satisfactorio y, desde entonces hemos colaborado en numerosos concursos y proyectos.

En este marco se inserta el Proyecto de Bilbao. Dada la buena relación profesional que se estableció en el Proyecto de Caixaforum, Isozaki nos propuso como sus colaboradores en los temas estructurales necesarios para el conjunto de edificaciones que debían llevarse a cabo en el Complejo de Uribitarte. En el mismo instante en que Vizcaina de Edificaciones aceptó la propuesta, comenzamos a trabajar intensamente con los arquitectos del equipo de Arata Isozaki. Nuevamente se produjo la misma química satisfactoria y el proyecto fue avanzando de manera unitaria, con un contacto cotidiano y fructífero, con la Dirección Facultativa Vasca (el arquitecto Iñaki Aurrekoetxea) y con los equipos de ingeniería de instalaciones.

La complejidad estructural derivada de las preexistencias –que se explican en otros capítulos de esta publicación– y la singularidad de las edificaciones programadas sugirieron, desde el primer instante, la conveniencia de “andar juntos” en todas las decisiones importantes. Ésto era particularmente necesario por la correlación imprescindible entre el programa funcional arquitectónico y los medios técnicos para conseguirlo. Cualquier decisión de Proyecto que implicara varios factores era convenientemente analizada en conjunto y no se resolvía hasta que todas las





partes (arquitectos, propiedad, consultores estructurales, ingenieros de instalaciones, etc...) estuvieran de acuerdo. En fase de ejecución de la obra esta colaboración solidaria se hizo extensiva también a las Empresas Constructoras (DRAGADOS, Fonorte y Cimentaciones Abando), ajustándose algunas decisiones iniciales para el mejor desarrollo del proceso.

Entre las restantes colaboraciones mantenidas recientemente con el Arquitecto Arata Isozaki destacan los bloques de oficinas del Distrito 38 de la Zona Franca de Barcelona (Arata Isozaki y Alejandro Zaera-Polo, 2003), aún en proceso de licitación. También se encuentra en proceso de licitación el Complejo Lúdico-Deportivo de la Ciudad de Blanes (Girona). Para este Proyecto, Isozaki diseñó únicamente el Anteproyecto, siendo continuado posteriormente por nuestro gabinete (B.O.M.A), contando en todo momento con el asesoramiento arquitectónico de Toshiaki Tange, director del Estudio de Isozaki en España.





DE CASERIO DEL PUERTO

# 0.6

## introducción

### Planteamiento de la estructura

Diego Martín  
Arquitecto



FASE 1 Estado actual de la estructura en el interior del depósito.



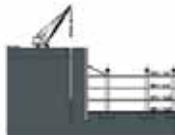
FASE 2 Derribo de las plantas inferiores de la estructura existente hasta la cota. GLF=0.0



FASE 3 Derribo del techo sótano=1. Derribo de la parte inferior de la fachada del depósito. Reapuntamiento pantallas.



FASE 4 Derribo del techo sótano=2. Los pilares que soportan el techo también se derribarán dejando las esperas para el arranque de los nuevos pilares. Retirar pasarela provisional existente



FASE 5 Excavación de las nuevas pantallas desde cota GLF=0.0 mediante pantalladora y lodos de bentonita, de los módulos de pantalla.

Desde que me licencié en arquitectura y durante los años que llevo trabajando con Robert Brufau en el campo de las estructuras, he tenido oportunidad de participar en grandes proyectos en los que la estructura juega un papel relevante, no sólo desde el punto de vista tecnológico y de estricto cálculo, sino de una manera muy especial, por la implicación que nuestra participación desde la estructura ha tenido durante la concepción del Proyecto Arquitectónico.

Durante toda la historia de la arquitectura la estructura ha representado un papel esencial. Desde las bóvedas y arcos romanos hasta las grandes catedrales góticas, la estructura supone una herramienta básica y componente fundamental de la arquitectura.

Con la utilización de las estructuras metálicas en el s. XIX y más tarde con la aparición del hormigón estructural, surge la necesidad de reconsiderar la relación entre la arquitectura y las nuevas tipologías estructurales.

Los grandes arquitectos del s. XX, como Le Corbusier, Frank Lloyd Wright o Mies Van de Rohe, y en general la mayoría de proyectistas del movimiento moderno plantearon diferentes maneras de relacionar estos elementos, bien separándolos, bien integrándolos en la arquitectura, difícil tarea que no siempre se llevó a cabo con elegancia.

Por supuesto, en la actualidad la estructura sigue cumpliendo un papel fundamental dentro de la

arquitectura de vanguardia. Arquitectos de primera fila del panorama mundial consideran a menudo la estructura como uno de los elementos principales dentro de su arquitectura.

El esqueleto del entramado de acero o de hormigón es casi con toda certeza el motivo que aparece con mayor periodicidad en la arquitectura contemporánea, y seguramente es uno de sus elementos constituyentes (Collin Rowe, La estructura de Chicago).

Según Le Corbusier, los ingenieros americanos de su época estaban guiados "simplemente" por los resultados de un cálculo, sin tener en cuenta la búsqueda de una idea arquitectónica.

Ésto se resolvió separando la funcionalidad entre arquitectura y estructura, unas veces pasando la estructura a un primer plano protagonista, otras disolviéndola en la arquitectura. Unas veces como retícula generadora, y por tanto cumpliendo una función de pauta y orden del espacio, y otras veces sometida a las necesidades espaciales y relegándola únicamente a su función de soporte.

La intención en el conjunto Isozaki Atea, desde los primeros planteamientos, ha sido la de reconsiderar la función de la estructura en cada una de las partes, compatibilizando los aspectos arquitectónicos, funcionales y constructivos que parecían como más adecuados para cada caso.

De un primer análisis funcional del conjunto se puede identificar una gran variedad de usos, confi-

gurando un sistema complejo que por supuesto se traduce también en una complejidad de planteamiento de tipologías estructurales.

No obstante, el proyecto arquitectónico en inicio planteaba una estructuración a través de la yuxtaposición de volúmenes, tanto en vertical como en horizontal. Este planteamiento facilitó nuestra labor, de manera que se pudo asimilar una tipología estructural a cada una de las partes y definir unos elementos de relación entre ellas.

Así pues, a grandes rasgos, el conjunto situado parcialmente sobre el antiguo edificio del Depósito Franco está formado por un conjunto de sótanos existentes y presumiblemente aprovechables; un nivel de nueva construcción de aparcamientos y comercios, parte sobre el depósito y parte fuera del depósito; dos torres que, por su magnitud, cada una de ellas forma una unidad independiente y un conjunto de viviendas articuladas en varios volúmenes sobre el depósito.

Por otro lado, también se pueden identificar los elementos de unión o transición entre diferentes tipologías, sobre todo entre la estructura existente y la nueva y, entre los niveles comerciales y los de viviendas, con unos requisitos espaciales diferentes.

Cada planta sótano del depósito tiene una superficie de unos 6.500 m<sup>2</sup> que, una vez inspeccionados y visto las grandes dimensiones de todos sus elementos estructurales, así como la buena calidad del hormigón, confirmaron que la primera decisión fuese la de mantener las tres últimas plantas, con una superficie total de 19.500 m<sup>2</sup>. Esto supuso un gran ahorro tanto de demolición como de construcción, aunque planteaba el reto de superponer la mayor parte de la nueva estructura sobre una estructura existente.

El problema se suscitaba, no sólo por el hecho de que los elementos existentes debían asumir un nuevo estado de solicitaciones planteando los refuerzos correspondientes, sino sobre todo porque la geometría, orden y lógica de la nueva estructura no coincidía con la de la estructura existente.

Para realizar este cambio tipológico tan importante, se planteó desde un inicio un elemento, finalmente constituido por una gran losa, que traspasase no sólo las cargas de una parte a otra,

sino también el orden de una estructura superior al orden de la estructura inferior existente.

Esta losa, situada al nivel del sótano -1, por debajo del nivel del Paseo Uribitarte, marca también el cambio entre el uso de aparcamiento y el uso intensivo comercial correspondiente a las plantas inferiores del conjunto.

En los niveles comerciales, la exigencia de la estructura es la de disponer de espacios lo más diáfanos posibles, en este caso recurriendo a sistemas estructurales de fácil construcción. De esta manera, en los espacios perimetrales que configuran la plaza de la planta primera (cota +6.00, a un nivel intermedio entre el paseo Uribitarte y el principio de la calle Ercilla), a pesar de la irregularidad de la geometría, se han conseguido luces de 10x10 m aproximadamente, utilizando losas macizas y losas aligeradas con cantos relativamente finos para las cargas requeridas.

Bajo los bloques del biombo, y debido a la pauta estructural superior, las luces son de 6,40 x 5,75 m resolviéndose los forjados con losas macizas.

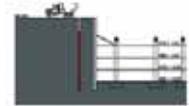
Este nivel comercial culmina en la planta primera (cota +6.00), donde se producen los accesos a las viviendas.

Entre el nivel comercial y el de viviendas, existe un nuevo cambio tipológico, dado que las necesidades espaciales no son las mismas.

De este modo, a través de un sistema de jácenas de canto dispuestas en la planta tercera (cota +12.00), la pauta estructural de los bloques de viviendas de 6,40 x 2,87 m pasa a ser de 6,40 x 5,75 m, apeando pilares alternos.

Como requerimiento de partida entre otros, figuraba la condición de utilizar tipologías estructurales asumidas y aceptadas socialmente para vivienda. En esta zona tradicionalmente el forjado unidireccional se ha utilizado masivamente para el uso de viviendas y, dado que, el segundo requerimiento importante era la ligereza de la estructura, nos pareció la solución estándar más adecuada.

Hay que destacar que toda la estructura del "biombo" descansa primero sobre las jácenas de la planta tercera (cota +12.00) y luego sobre la losa postesada, transición con la estructura existente, por lo que su peso debía aligerarse al máximo.



FASE 6 Armado y hormigonado de cada módulo de pantalla desplazando la bentonita y recogiéndola para su posterior depuración. Ejecutar jácena de coronación.



FASE 7 Vaciado de tierras a ambos lados de la pantalla.



FASE 8 Demolición de la pantalla del depósito hasta el nivel del fondo de la excavación. Demolición de la parte superior de la nueva pantalla hasta cota según proyecto.



FASE 9 Vaciado de tierras entre las dos pantallas. Apuntalamiento de la nueva pantalla a nivel de cada forjado.



FASE 10 Demolición de la pantalla del depósito. Apuntalar la pantalla contra los forjados en cada nivel.



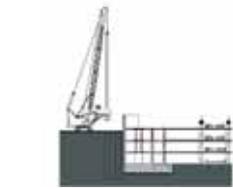
FASE 11 Ejecución de la zapata de cimentación de la parte de torre del interior del depósito.



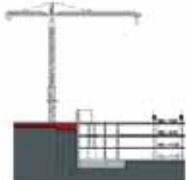
FASE 12 Construcción del núcleo y forjado de la torre hasta techo sótano-5.



FASE 13 Construcción del núcleo y forjado de la torre hasta techo sótano-4.



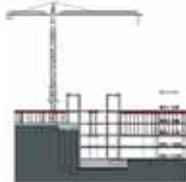
FASE 14 Construcción del núcleo y forjado de la torre hasta techo sótano-3. Ejecución de los pilotes de la zona exterior del "depósito".



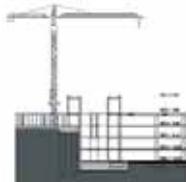
FASE 15 Ejecución de los encapados y losa de subpresión de la zona exterior del "depósito".



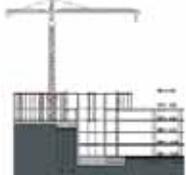
FASE 16 Construcción muros y estructura metálica del núcleo de la torre hasta cota GFL=+0.0. Construcción de los pilares del sótano-2.



FASE 17 Construcción de la losa aligerada del techo sótano-2 y forjados del techo sótano-2 B1FL=-3.5.



FASE 18 Descimbrado de la losa aligerada del techo sótano-2. Primera fase del tesado de los nervios del techo sótano-2.



FASE 19 Construcción pilares y forjado GFL=0.0.

No obstante, la tipología de forjado unidireccional fue reinterpretada y optimizada. En lugar de utilizar viguetas prefabricadas y bovedillas tradicionales se optó por una ejecución "in situ", con casetotes de poliestireno expandido (EPS), consiguiendo un peso propio muy bajo al mismo tiempo que una estructura monolítica con un buen comportamiento laminar.

Para poder optimizar al máximo el espesor de forjados, se intentó cumplir siempre una relación entre la luz del forjado y la luz de las jácenas planas de aproximadamente 1 a 2, cubriendo siempre la luz corta con la jácena plana. En los puntos donde esto no ha sido posible por la geometría, sobre todo en los nexos entre volúmenes, se ha optado por una solución neutra de losa maciza, con igual canto que el forjado unidireccional.

Esta tipología se ha podido adaptar al uso de vivienda ya que éste no requiere grandes espacios diáfanos, consiguiendo por otro lado una estructura ligera y fácil de construir.

En el caso de las torres, el problema fundamental es la estabilidad horizontal debida al empuje del viento por lo que, a diferencia de los bloques del biombo, se ha incorporado un elemento soporte horizontal mucho más potente configurado por un núcleo mixto acero-hormigón.

Aunque cada torre se puede identificar como un sistema estructural independiente del conjunto, se ha intentado plantear su estructura siguiendo los mismos criterios que el resto de la estructura. Así pues, en cuanto a superposición de niveles horizontales, se pueden identificar dos partes, desde la cimentación hasta la planta primera (cota +6.00), con un uso de aparcamientos y comerciales, y desde la planta tercera (cota +12.00) hasta la coronación, con un uso de viviendas. La parte de viviendas, al igual que el resto de bloques, se plantea mediante forjados unidireccionales "in situ", siguiendo los mismos criterios de optimización y aligeramiento anteriormente citados, en este caso con luces de 6.00 x 3.60 m. En la parte inferior, para adaptarse a un uso diferente, las luces son de 6.00 x 7.20 m apeando también pilares alternos en planta tercera. En este caso los forjados son losas macizas.

En cuanto al núcleo, el problema se ha resuelto aprovechando la geometría rectangular de la planta y su distribución. El hecho de tener dos fachadas opuestas próximas junto con la distribución de la planta, dividida siempre por la mitad, ha per-

mitido conformar un núcleo mixto uniendo mediante diagonales los pilares de fachada con el núcleo. De esta manera se ha formado una celosía mixta de gran rigidez, asumiendo los pilares de acero las tracciones debidas al viento y el núcleo de hormigón próximo a la fibra neutra, gran parte de las cargas gravitatorias.

Hay que señalar que, debido a la geometría rectangular de la planta, el comportamiento laminar de los forjados ha permitido transmitir los empujes de viento de cada punto de la planta hasta la posición del núcleo, a modo de viga horizontal de gran canto.

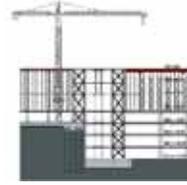
Para terminar, el conjunto de esta estructura se culmina con tres puentes, que, aunque pertenecen a unas tipologías estructurales poco habituales en edificación, aportan el sentido urbanístico a esta intervención.

Dos de los puentes se han planteado mediante una viga cajón metálica, intentando ser lo más neutros posible, dado que están en contacto con estructuras de un carácter muy definido y son nexos entre ellas.

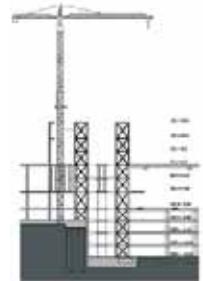
El tercer puente, en realidad es una prolongación de la plaza entre las torres, y se plantea con la intención de salvar el desnivel entre el conjunto y la calle Ercilla. Su estructura de hormigón mediante jácenas de canto, permite adaptarse a su geometría siguiendo los mismos criterios de diseño que en resto del conjunto.



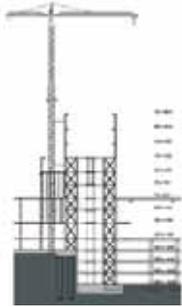
FASE 20 Construcción de pilares y núcleo de torre hasta el nivel 1FL=+6.0.



FASE 21 Construcción del forjado 1FL=-6.0. Arriostramiento de la estructura metálica del núcleo de la torre.

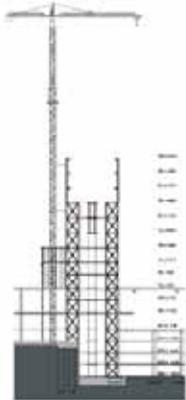


FASE 22 Descimbrado de los forjados inferiores a 1FL=+6.0 una vez el hormigón haya adquirido su resistencia característica. Construcción del núcleo de hormigón y de los forjados. Colocación de pilares metálicos y estructura metálica de la torre hasta el nivel 4FL=-15.5. Segunda fase de tesado de los nervios del techo sótano-2.



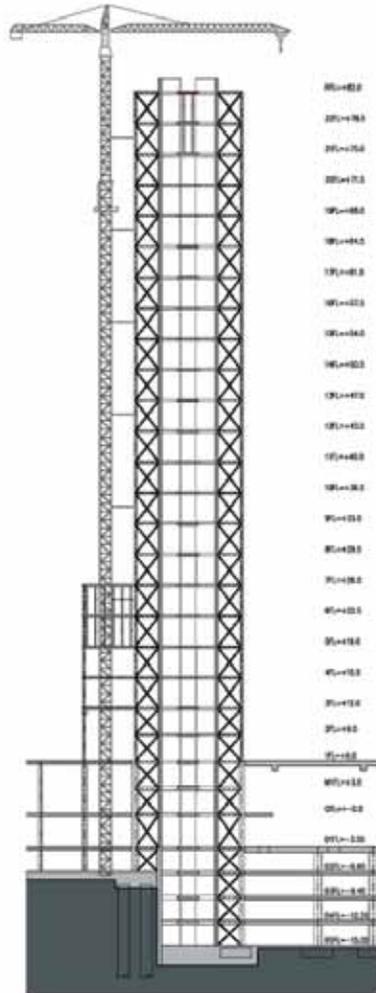
FASE 23

Construcción del núcleo de hormigón y de los forjados.  
Colocación de estructura metálica del núcleo de la torre hasta el nivel 7FL=+26.0  
Construcción del forjado 3FL=+12.0



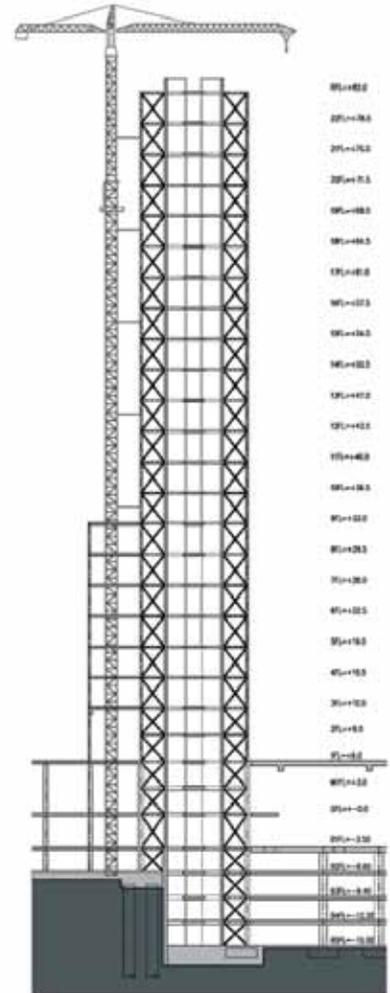
FASE 24

Construcción del núcleo de hormigón y de los forjados.  
Colocación de estructura metálica del núcleo de la torre hasta el nivel 10FL=+36.5  
Construcción del forjado 4FL=+15.5



FASE 49

Colocación de la estructura metálica del núcleo de la torre hasta el nivel SFL=+82.0



FASE 50

Construcción del resto de forjados hasta nivel RFL=+82.0

1.1

El derribo.

1.2

Intervenciones en el depósito.

1.3

Cimentación exterior al depósito.

1.4

La losa postesada.

1.5

Nivel comercial.

1.6

Nivel de viviendas.

1.7

Las torres.

1.8

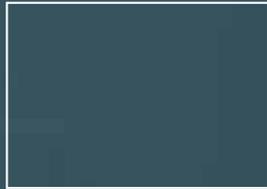
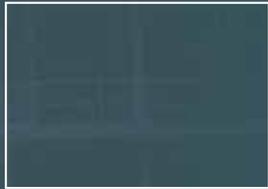
Los puentes.



# 1

descripción de la estructura  
y metodología de cálculo

---

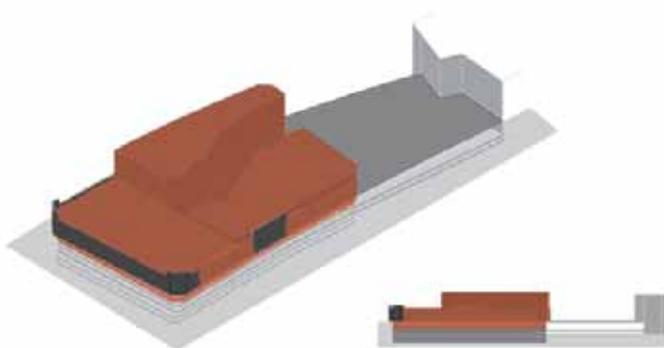


# 1.1

descripción de la estructura y metodología de cálculo

## El derribo

Diego Martín  
Arquitecto



El comienzo de la obra debía abordar la demolición de la mayor parte de la estructura existente que ocupaba el interior del antiguo Depósito Franco. Este recinto ya había sufrido una importante transformación hace algunos años, cuando se demolió todo el edificio original conservando únicamente sus fachadas. La nueva estructura ejecutada en ese momento se descomponía en cinco plantas subterráneas y ocho sobre el nivel de la calle. Estaba sustentada por pilares de grandes dimensiones y sus forjados eran losas macizas de 40cm. En el momento en que se abordó el proyecto actual los dos sótanos inferiores se encontraban inundados de agua, curiosamente no proveniente de la Ría sino del nivel freático.

Al no ajustarse al nuevo planteamiento arquitectónico, las plantas sobre rasante debían ser derribadas por completo, y de los cinco forjados de sótano se decidió conservar únicamente los tres inferiores, por motivos que se argumentan posteriormente.

Debido a la magnitud del edificio y del volumen a demoler, el derribo fue llevado a cabo mediante maquinaria pesada de gran rendimiento. Esto, junto a las grandes acumulaciones de escombros generados, obligó a replantear la posición de las rampas de acceso para facilitar la movilidad de la maquinaria de una planta a otra, y a evaluar la capacidad de carga de los forjados existentes para garantizar la seguridad durante el proceso. Para evitar que sufriesen daños por exceso de carga, los techos que se han conservado fueron parcialmente reapuntalados hasta alcanzar la cimentación.



Hay que hacer notar, por su interés como medida de sostenibilidad, que todo el volumen de escombros, fundamentalmente hormigón armado, se procesó para separar el acero del hormigón y se recicló como chatarra y como material usable para bases de carreteras. En este caso forma parte del nuevo puerto de Bilbao.



Durante el derribo, los elementos estructurales que se han conservado fueron siguiendo, progresivamente, un proceso de descarga que no comportó riesgo alguno. No obstante, el hecho de demoler el forjado de la planta baja y del sótano-1 modificó el funcionamiento de los muros-pantalla, inicialmente "apuntalados" por los propios forjados y ahora, de nuevo, con una altura libre de unos 6 metros. En el momento que se ejecutó este muro pantalla, se dispusieron algunos nuevos niveles de anclajes al terreno, para estabilizarlo. En cuanto a estos anclajes, provisionales para el proceso de obra, se complementaron con unos perfiles metálicos a modo de puntales con la intención de desmontarlos una vez se ejecutasen los nuevos forjados.



Tras esta nueva intervención constructiva, las imponentes fachadas del antiguo Depósito Franco, quedaron libres desde unos 7 metros de altura hasta su coronación, por lo que fue necesario apuntalarlas desde el exterior del depósito mediante una estructura metálica tubular contrapesada con sacos de arena.



La adaptación al nuevo programa arquitectónico del conjunto implicó, por supuesto, una intervención local en los tres forjados conservados, cerrándose algunos de sus huecos y abriendo los que el nuevo Proyecto exigía. El conjunto de estas operaciones se desarrolló sin contratiempos dignos de mención.



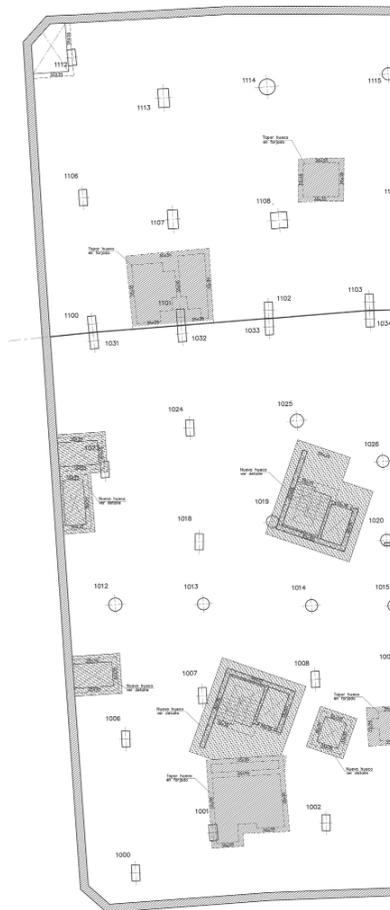
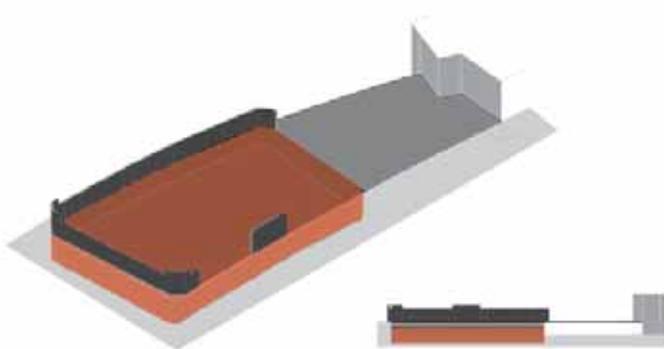
# 1.2

descripción de la estructura y metodología de cálculo

## Intervenciones en el depósito franco

Diego Martín

Arquitecto



Tal como se ha descrito anteriormente, desde el nivel de la cimentación hasta el primer cambio tipológico producido en el primer sótano (cota -3.40), se ha aprovechado la estructura existente, haciendo descansar sobre ella la nueva estructura del conjunto. Dado que el uso al que se destinan estos espacios es el mismo (aparcamientos) que se había previsto en el planteamiento anterior, el nuevo proyecto se ha podido adaptar a esta preexistencia con relativa facilidad.

El aprovechamiento de una parte de la estructura implicaba el recálculo de la misma bajo los nuevos estados de carga y con todos los condicionantes de la nueva situación. Esto comportó un recálculo de todos sus elementos para poder efectuar los refuerzos oportunos.

La cimentación original estaba formada por zapatas aisladas, previstas para unas cargas elevadas si se tiene en cuenta el gran peso propio de la estructura derribada. La buena resistencia de la roca margosa sobre la que se apoyan, facilitó la

reconversión, siendo necesario proceder a su refuerzo en un 10% de los casos aproximadamente.

En cuanto a los forjados conservados, se ha adaptado su geometría a las nuevas necesidades, tales como apertura y cierre de huecos para adaptarse a los nuevos patios de instalaciones y de núcleos de escaleras y ascensores, únicos elementos con continuidad vertical dentro del depósito. No obstante, debido a que esta parte de la estructura no ha sufrido cambio de uso ni grandes modificaciones geométricas, la necesidad de refuerzo sobre los forjados ha sido mínima.

Las grandes dimensiones de los pilares existentes y la buena calidad aparente del hormigón fueron determinantes a la hora de decidir la conservación de esta parte del conjunto. Por otro lado, la constatación de que las solicitaciones finales de la nueva estructura serían similares a las previstas en la propuesta anterior reforzó la decisión.



### 1.2.2. Análisis de la cimentación

Los factores principales para introducir una posible intervención en las zapatas fueron, por un lado, una excesiva tensión de contacto con el terreno, y, por el otro, la insuficiente capacidad de la armadura de su base para asumir las tracciones de la biela inferior. Ello determinó dos tipos de refuerzo.

En el primer caso, el refuerzo consistió en una ampliación de las medidas de la base de la zapata mediante la incorporación de un zuncho perimetral de recreado. Es importante en estos casos el hormigonado conjunto de todo el anillo para aprovechar la retracción del hormigón como efecto de pretensado sobre el dado inicial.

En el segundo caso, dada la imposibilidad de actuar por la cara inferior de la zapata, el refuerzo consistió en aumentar el canto de la misma, con los mecanismos de conexión pertinentes, reduciendo así la tracción en el armado.

Como criterio general, dado que el terreno sobre el que se apoyan las zapatas es bastante rígido, la opción escogida fue el mantenimiento de las proporciones de una zapata rígida, que garantizase una transmisión homogénea de las tensiones sobre el terreno.

La efectividad de estos refuerzos está fundamentada en que la carga de la zapata en el momento de efectuar el refuerzo supone entre un 20% y un 30% de la carga final, por lo que el refuerzo entra en carga de manera natural durante el proceso secuencial de construcción.



### 1.2.3. Análisis de los forjados

A partir de los diagramas de esfuerzos obtenidos en el nuevo modelo de cálculo y conociendo el armado de los puntos críticos, se han podido verificar los siguientes aspectos:

En cuanto a la flexión de la losa, dada la disparidad de armados observados en las catas realizadas, se consideró el armado más desfavorable para toda la superficie. No obstante, la capacidad de esta armadura era suficiente para asumir los momentos flectores en la mayoría de los casos. En las zonas de apoyo, donde los valores de momento negativo son máximos, se tuvieron en cuenta criterios de redondeo de momentos, evitando, de esta manera, tener que recurrir a costosos refuerzos.

Respecto al punzonamiento de los pilares en sus perímetros críticos de encuentro con las losas, dado que el forjado no habría sufrido ningún aumento de carga y que no se observaron defectos al respecto, después de inspeccionar los puntos más críticos, se optó por no efectuar ninguna intervención específica de refuerzo. Hay que señalar que un posible fallo por punzonamiento de una losa en este nivel, no afecta directamente el coeficiente de seguridad global de la estructura, por lo que no se ha tratado este aspecto con el mismo nivel de exigencia que se consideró para la cimentación o los pilares.

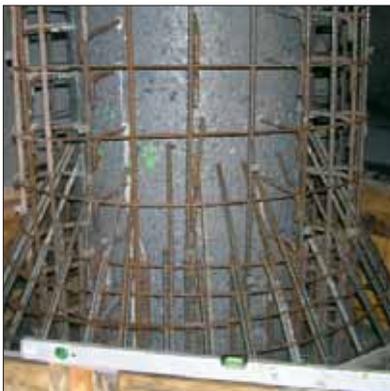
#### 1.2.4. Análisis de los pilares

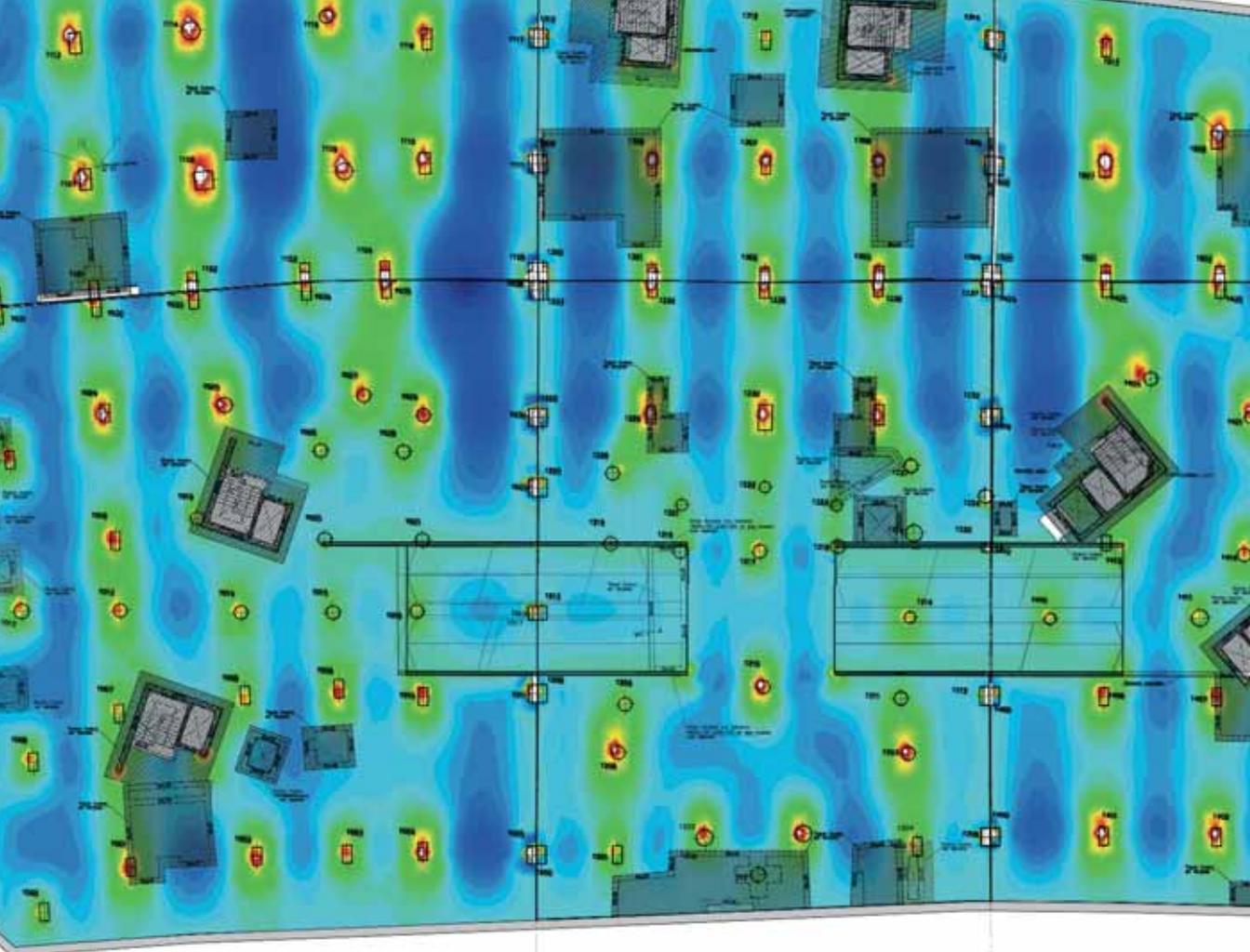
Los pilares fueron considerados un punto crítico para la seguridad global de la estructura por lo que, al igual que ocurrió con la cimentación, el método de verificación utilizado alcanzó a su totalidad.

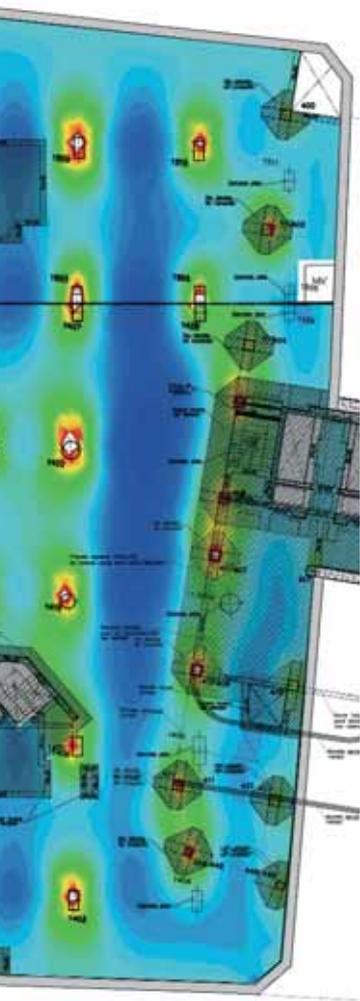
Al igual que en el resto de elementos, a partir de los esfuerzos finales de sollicitación y de los datos obtenidos, tanto de la resistencia del hormigón como del número y calidad de las barras de acero utilizadas, se dedujo un coeficiente de seguridad parcial para cada pilar preexistente. En la mayor parte de dichos pilares, aproximadamente en el 90%, no fue necesario plantear ningún tipo de refuerzo, al haberse obtenido coeficientes de seguridad elevados. En el 10% restante se plantearon los refuerzos oportunos para conseguir coeficientes de seguridad aceptables.

En estos casos, la mejor solución de refuerzo, dado que la mayoría de los pilares tenían sección circular o cuadrada, hubiese sido un zunchado con fibras de carbono adheridas al hormigón mediante resinas. Este método se utiliza de manera generalizada para situaciones similares, pero en este caso la Oficina de Control Técnico no consideró oportuna su aplicación por ser un sistema aún novedoso dentro del ámbito local. Por este motivo, el refuerzo acabó realizándose mediante un aumento de la sección de hormigón, disponiendo de una corona envolvente de hormigón armado en cada uno de los pilares a reforzar.

Al igual que en la cimentación, la efectividad de estos refuerzos se basa en una puesta en carga progresiva del elemento durante el proceso de construcción del resto del edificio.







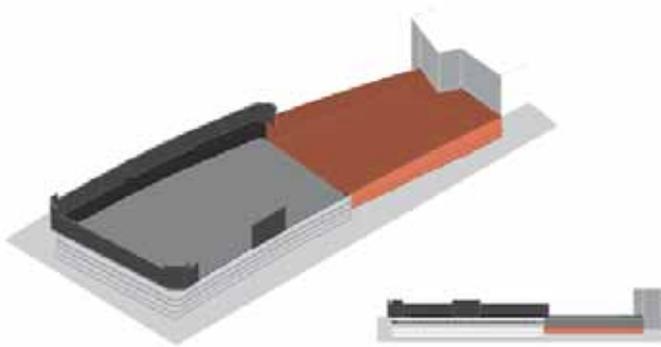
1. Diagrama de momentos de los forjados existentes.
2. Secuencia de ascensión del núcleo de la torre izquierda.

# 1.3

descripción de la estructura y metodología de cálculo

## Cimentación exterior al depósito

Diego Martín  
Arquitecto



*La parte del conjunto que queda fuera del ámbito del depósito se apoya directamente sobre el terreno. Esta parte corresponde a las dos torres y al edificio de nexo entre ellas, que forma una gran plaza en la planta primera (cota +6.00) y consta únicamente de dos sótanos.*

*Dentro de la cimentación de este sector pueden diferenciarse tres elementos. Por un lado los muros pantalla que defienden la excavación para alojar los dos sótanos de esta parte. Por otro lado una losa que, convenientemente unida en su perímetro a los muros pantalla, configura un vaso hermético frente al nivel freático exterior, a modo de casco de barco. Finalmente unos pilotes de gran diámetro que forman una cimentación que transmite el peso de los edificios hasta el nivel de roca margosa situado a mayor profundidad.*

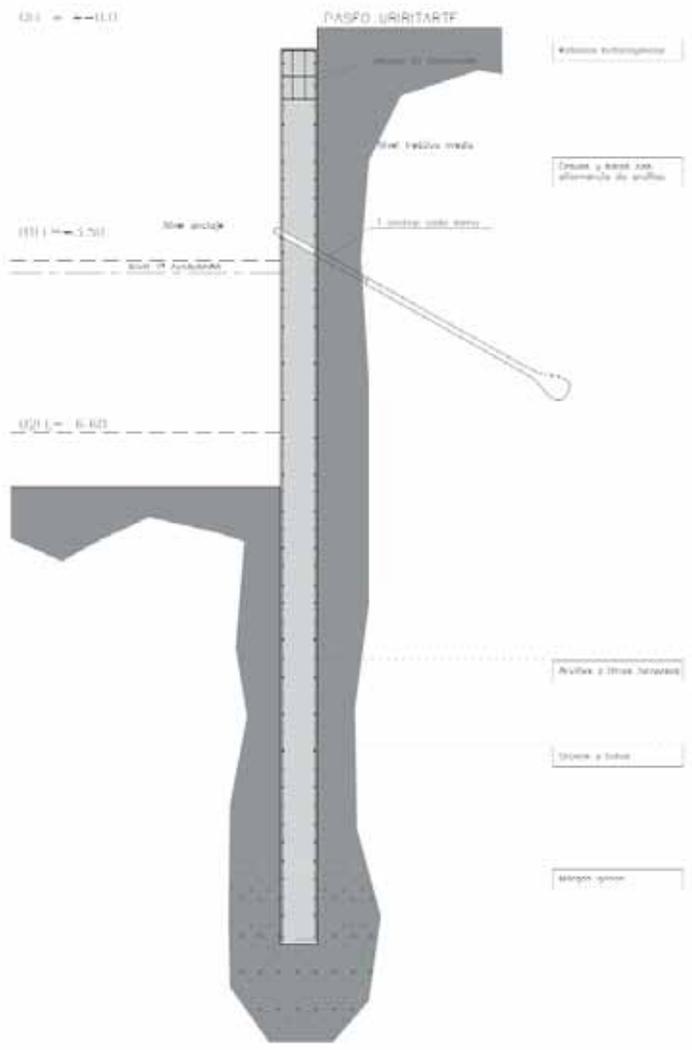
### 1.3.1. Los muros pantalla

Los muros pantalla, de dos sótanos de profundidad, tienen una altura vista de unos 7,5 m y se ejecutaron mediante módulos alternos de unos 3,5 m de longitud.

El terreno atravesado está formado por una superposición de capas de sedimentos aluviales, esto es arenas, gravas y bolos, con un espesor de unos 14 m. Por debajo de estos estratos se encuentra una roca de tipo margoso de gran dureza.

Para la construcción de las pantallas, teniendo en cuenta el tipo de terreno y la posición elevada del nivel freático, fue necesario utilizar lodos de bentonita, material más denso que el agua, pero menos denso que el hormigón. De esta manera, durante la excavación, el espacio excavado se rellenó con este lodo que desplazaba el agua hacia la superficie, “engañando” al terreno para que no se desmoronase. Una vez realizada la excavación de cada uno de los módulos, se vertía el hormigón que desplazaba la bentonita, recogiendo ésta en un tanque para su posterior reutilización. Antes de que el hormigón comenzase a endurecer, se sumergía la jaula que forma el armazón de la pantalla. Este proceso se repitió módulo a módulo hasta completar el mosaico de las diferentes damas que definen el vaso de excavación.

Sección tipo muro pantalla





En este caso, la entrega del nuevo muro pantalla con el existente planteaba un punto débil de entrada de agua, por lo que se optó, a sugerencia del contratista, por formar un tapón con bentonita desde el exterior. Con posterioridad se pudo comprobar la eficacia de este sistema, que limitó considerablemente la entrada de agua durante el proceso constructivo.

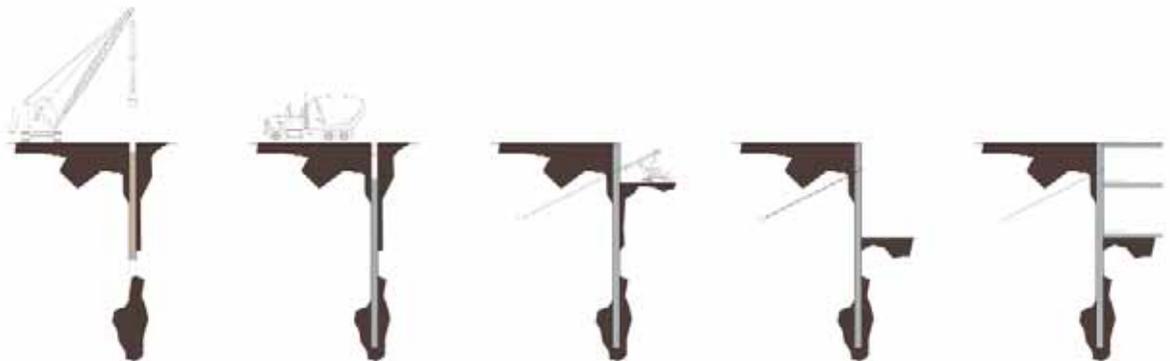
El hecho de plantear en esta parte del conjunto únicamente dos sótanos en lugar de cinco, como ocurre en el antiguo depósito, fue motivo de reflexión. En un principio la intención era hacer el mismo número de sótanos, cosa que obligaba a recurrir a un sofisticado método de excavación, mediante hidrofresa, para garantizar un buen resultado. Este tipo de tecnología, por su alto coste, no hacía justificable económicamente la construcción de los tres sótanos restantes. Este análisis, junto con el problema del aumento de la

subpresión sobre la losa inferior, condicionó el número de nuevos sótanos, fijándolo en dos.

Una vez cerrado perimetralmente el vaso, se procedió a su vaciado en dos fases, la primera hasta la realización de un primer nivel de anclajes al terreno que estabilizase las pantallas reduciendo sus deformaciones, y la segunda hasta el fondo de excavación.

Hay que señalar que la existencia de edificios colindantes en uno de los laterales, obligó a limitar muy sensiblemente las deformaciones del muro para evitar daños en los edificios, realizándose, en consecuencia, un control exhaustivo de las mismas.

Una vez completados los forjados de los sótanos, los anclajes se pudieron desactivar, quedando los muros apuntalados por los forjados inferiores de la propia estructura.





### 1.3.2. La losa de subpresión

Debido a la presencia de agua a un nivel próximo al de la calle, al completar el fondo de excavación con una losa que cerraba herméticamente los sótanos, se producía un empuje hidrostático sobre el fondo de esta base. De esta manera, la losa quedaba sometida a fuertes esfuerzos derivados del empuje, que eran de sentido inverso al de las cargas gravitatorias. Las reacciones de la losa frente a estas solicitaciones ascendentes se canalizarían por los propios pilares del edificio.

Para que este mecanismo funcionase correctamente, el peso propio del edificio debía ser, como mínimo, igual que el empuje del agua. En el caso de las torres, por su altura, esto quedaba directamente solucionado, pero en el caso de la plaza ubicada entre ellas, debido a la poca altura de su estructura, el empuje del agua hacia arriba era mayor que el peso de la estructura. La solución a este problema consistió en controlar la columna de agua mediante rebosaderos desde los que se bombeaba el agua sobrante, evitando, de esta manera, que el edificio "flotase".

No obstante, como medida pasiva de seguridad, los pilotes se armaron de manera que pudiesen asumir posibles esfuerzos de tracción, especialmente en la fase de vaciado, cuando estuviese ya hecha la excavación, pero no los forjados.



### 1.3.3. Los pilotes

La transmisión de las cargas de los pilares al estrato resistente rocoso se realizó mediante pilotes tipo CPI-4. La denominación del pilote hace referencia al sistema constructivo utilizado. En este caso, debido al tipo de terreno disgregado entre la superficie y la roca; para garantizar la correcta ejecución se utilizaron tuberías de acero, conteniendo el terreno durante la excavación. Una vez acabada la excavación y hormigonado el pilote, la tubería se extraía para su reutilización.

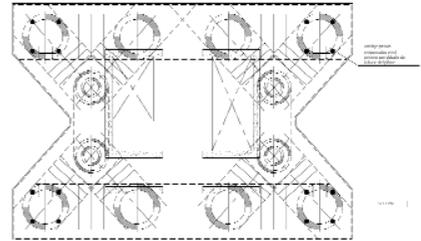
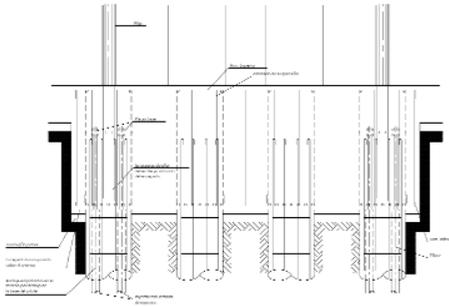
Este tipo CPI-4 es muy recomendable para las condiciones dadas, con suelo arenoso, presencia de agua y poca profundidad del pilote. Hay que señalar que la ejecución de los pilotes estaba condicionada por la conveniencia de que su cota de inicio estuviese situada por encima del nivel freático, por lo que todos se excavaron antes de realizar el vaciado de los sótanos.

Debido a las elevadas cargas de los pilares de las torres, fue necesario utilizar pilotes con una amplia gama de diámetros, desde  $\varnothing 85\text{cm}$  hasta  $\varnothing 250\text{cm}$ , con gran capacidad de carga. Para garantizar su correcto funcionamiento se inyectó mortero a alta presión a través de unos tubos reservados dentro del pilote, colmatando el contacto con la roca. Estos tubos también sirvieron para chequear, mediante ultrasonidos, posibles discontinuidades de hormigón en el fuste del pilote.





*Encepado del núcleo de la torre izquierda*



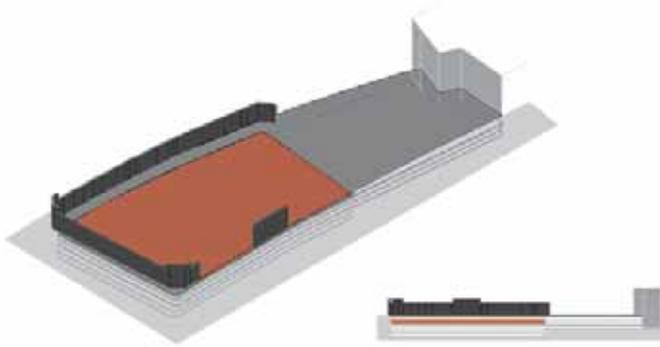
# 1.4

descripción de la estructura y metodología de cálculo

## La losa postesada

Guillem Baraut

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos



Tal como se ha explicado en la introducción, con el objetivo de aprovechar la estructura de los tres sótanos inferiores, fue necesaria la disposición de un elemento que hiciese posible el cambio tipológico entre la estructura existente y el nuevo edificio, posibilitando el apeo de toda la retícula de pilares superiores. Este elemento estructural, de crucial importancia, se concretó en una losa de hormigón nervada y aligerada, con el espesor necesario para dar una respuesta satisfactoria a todas las solicitaciones. Con la intención de reducir al máximo este espesor, se planteó el postesado de unas jácenas embebidas, coincidentes con los ejes de los bloques apeados y con los ejes de los soportes. El canto total resultante, de 75cm, incluía unos aligeramientos de poliestireno expandido (EPS) entre dos capas de hormigón de 7,5cm cada una, definiendo secciones resistentes de gran inercia "en doble T", dispuestas bidireccionalmente en toda la extensión de la planta.

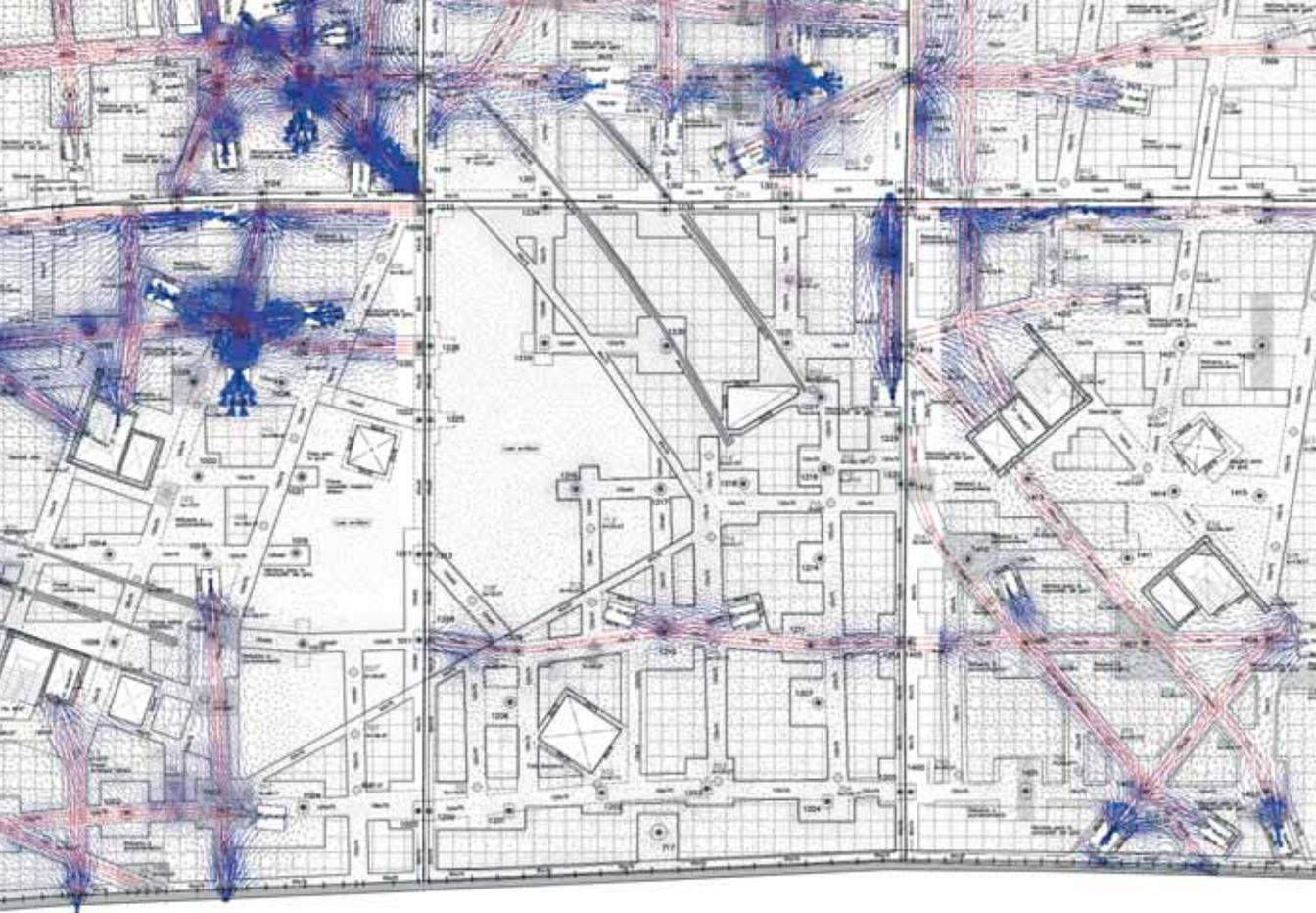
Hay que tener en cuenta también que el trazado de las juntas de dilatación de las plantas exis-

tentes no coincidía exactamente con el de las juntas de dilatación de los bloques superiores, por lo que fue necesario recurrir al uso de apoyos deslizantes.

Las luces entre pilares de soporte eran variables, llegando a los 11 m en algunos bloques. En algunos puntos de estas luces considerablemente importantes se apearon pilares con una carga vertical de más de 380 Tn.

El postesado ha sido de tipo adherente en todos los casos, utilizando vainas corrugadas metálicas para su colocación.

La gran ventaja del uso del postesado de tipo adherente en una losa de estas características es principalmente la reducción del peso de armadura pasiva, en el cumplimiento de cuantías mínimas mecánicas y sobretodo en el punzonamiento. Además se debe considerar otra gran ventaja consistente en la seguridad en caso de corte acciden-



tal de los cables por apertura de agujeros o pasos de instalaciones en la losa.

Sólo se proyectaron jácenas planas postesadas en los casos de mayores luces entre soportes o en los pilares apeados más cargados. El resto de losa se diseñó con criterios de forjado aligerado armado, manteniendo el mismo canto por razones constructivas.

#### 1.4.1 Modelización, cálculo y dimensionado de la losa

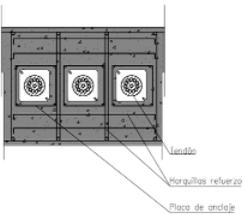
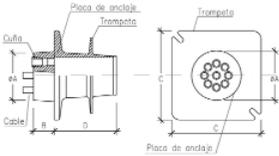
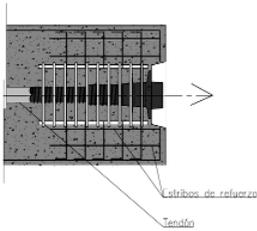
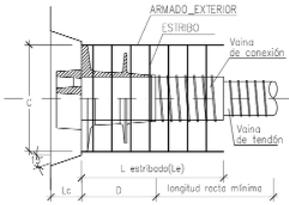
Para el cálculo se ha modelizado toda la estructura mediante el método de elementos finitos, utilizando como base informática un programa desarrollado en el CIMNE (Centro internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería) de la Universidad Politécnica de Cataluña.

La simulación de la losa aligerada se realizó a través de dos modelos diferentes:

- Un modelo de inercia equivalente, con las mismas características mecánicas que la sección en doble "T" de la zona aligerada.
- Un modelo de área equivalente de la sección transversal.

Estos dos modelos son necesarios ya que en el primero podemos analizar y valorar los esfuerzos de flexión y cortante. En cambio el segundo modelo es necesario para estudiar la dispersión y distribución de las fuerzas de postesado en el plano de la losa.

El proceso de cálculo, dimensionado y comprobación en este tipo de elementos se realiza mediante una iteración manual, prueba-error, hasta conseguir un comportamiento correcto de la losa, ajustando los trazados y fuerzas del postesado.



Por este motivo el proceso de cálculo de este sector llegó a durar varios meses de intenso trabajo.

El criterio de dimensionamiento principal de la losa fue por fisuración, donde se comprobaron las secciones críticas de cada jácena embebida, tanto en los puntos de apoyo de la losa como en los de apeo de los pilares de los bloques superiores.

En las zonas en que se necesitaba un trazado de la armadura activa con un mínimo recubrimiento siempre se intentó conseguir un estado biaxial de compresiones, para asegurar una buena durabilidad de la estructura.

Por razones constructivas del forjado aligerado con bloques de EPS siempre se dispone un malla inferior y superior, por lo que la fisuración quedó perfectamente controlada en todas las secciones.

El punzonamiento de los pilares apeados en una losa es realmente crítico. En este proyecto se solucionó trazando en todos los casos una jácena plana por el eje de todos los pilares tanto apeados como de soporte. Con un canto de 75cm estas jácenas siempre iban armadas a cortante, permitiendo eliminar en prácticamente todos los casos las crucetas de punzonamiento. La solución a este problema fueron unos simples refuerzos de cortante o el uso del pretensado de tipo adherente.

Para asegurar la transmisión de la fuerza de tesoado como esfuerzo axil en la losa se decidió liberar los desplazamientos horizontales de este elemento respecto a sus soportes.

Esto es, se dispusieron aparatos de apoyo de neopreno zunchado en todos los pilares de soporte, capaces de permitir pequeños desplazamientos horizontales. De este modo también se consiguió



no transmitir grandes momentos flectores entre los pilares de soporte y la losa postesada. En las pantallas perimetrales se colocaron conectores con vainas ovales en sentido horizontal para permitir también estos desplazamientos.

#### 1.4.2 Proceso constructivo

El proceso constructivo se consideró desde un inicio del proyecto, ya que el tesado de la losa no se podía realizar en una sola fase. Un exceso de post-tesado con el relativo poco peso de la losa aligerada, habría podido provocar la rotura de este elemento.

Se consideró entonces una construcción evolutiva, con un tesado de la armadura activa en un máximo de tres fases, para evitar sobreesfuerzos en las cuñas de anclaje de los cordones. La primera fase se realizó en todos los bloques cuando el hormigón conseguía una resistencia mínima del 75%, tesando todos los tendones al 50% de su tensión definitiva. De este modo se pudo seguir construyendo los bloques superiores sin necesidad de realizar ningún apuntalamiento provisional de los pilares apeados.

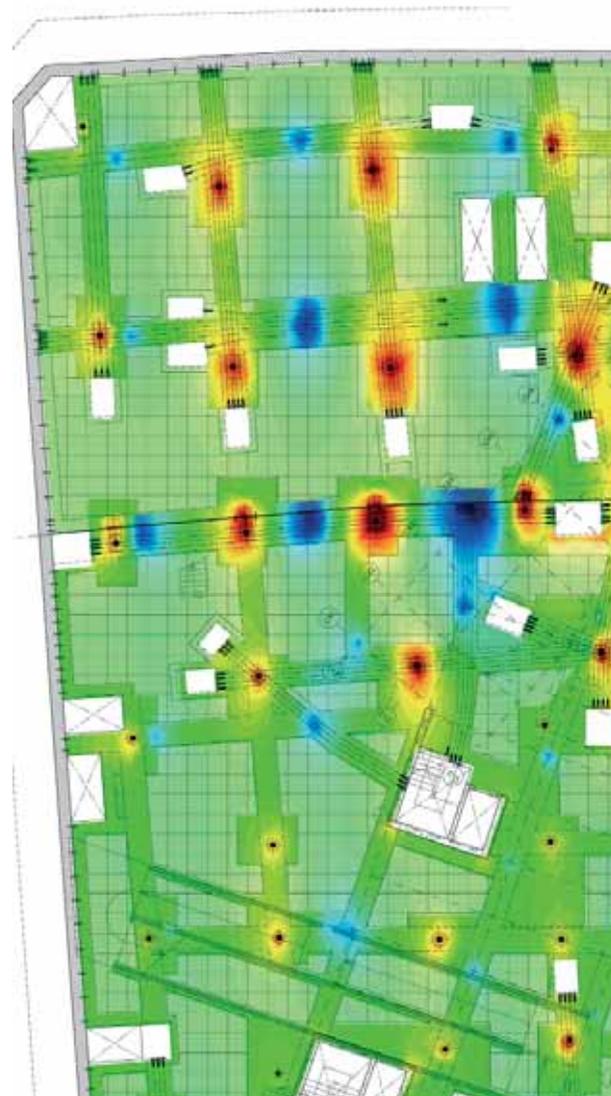
Las siguientes fases fueron cada una incrementando la tensión en los tendones en un 25%, cuando se llegó a media altura de los edificios apeados, y llegando al 100% de la tensión de proyecto cuando se hormigonó el forjado de cubierta de cada uno.

Naturalmente siempre se esperó a que el hormigón de estas plantas de los bloques superiores tuvieran una resistencia mínima correspondiente al 75% de la resistencia característica.

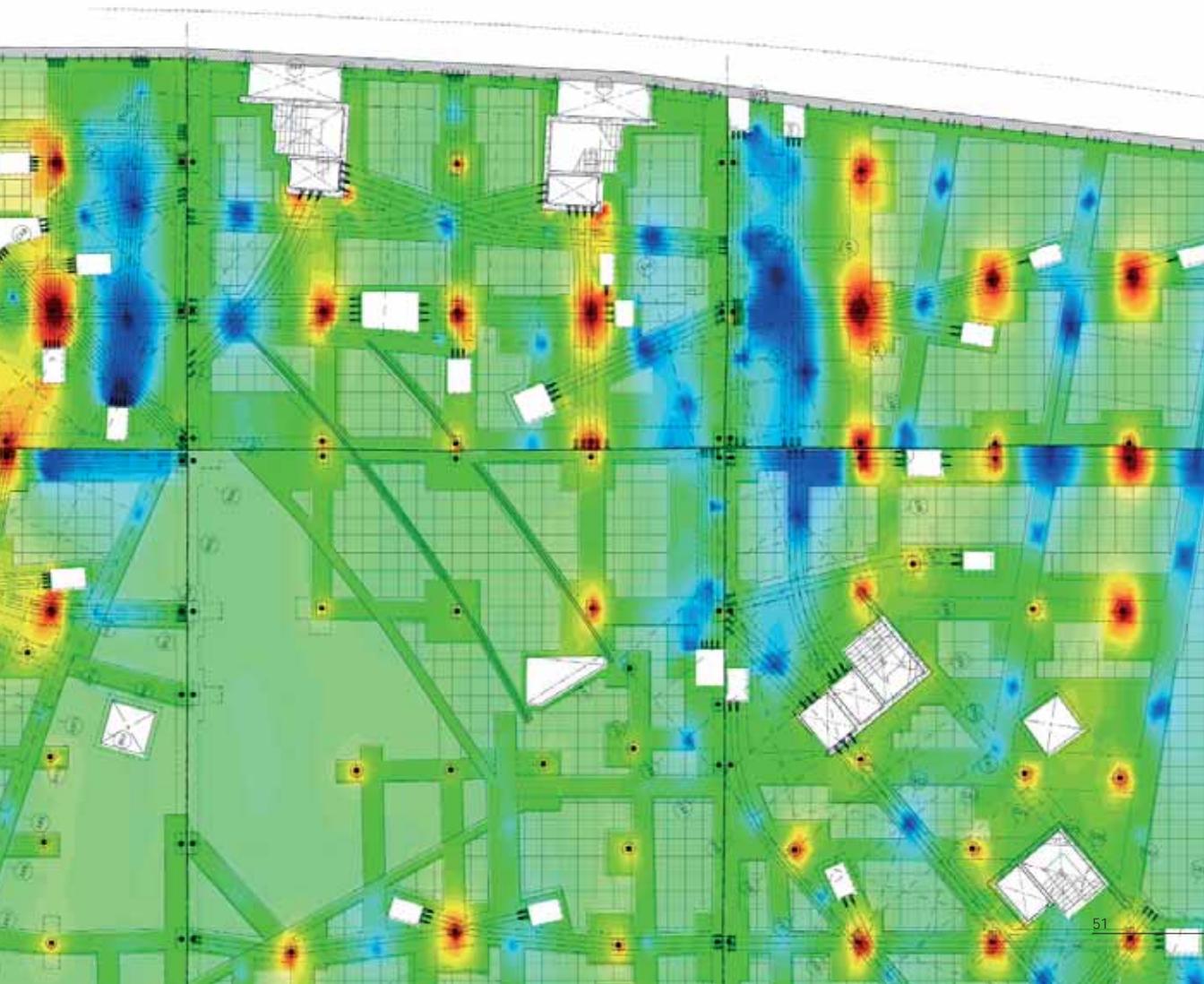
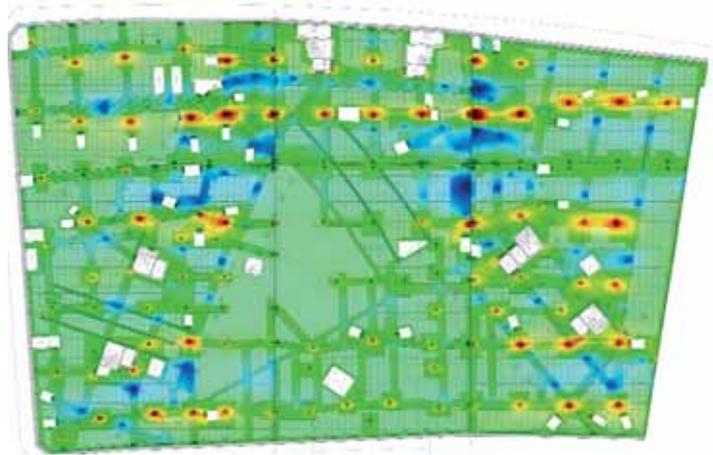
Una vez terminado el tesado se inyectó una lechada de cemento en el interior de las vainas para la protección del acero de los tendones, y para asegurar la adherencia de estos con el resto de losa de hormigón.

Los últimos trabajos consistieron en tapar las ventanas que se dejaron provisionalmente para la colocación de los gatos de tesado de las diferentes jácenas.





*Diagramas de momentos  $M_x$ - $M_y$  de la losa postesada*



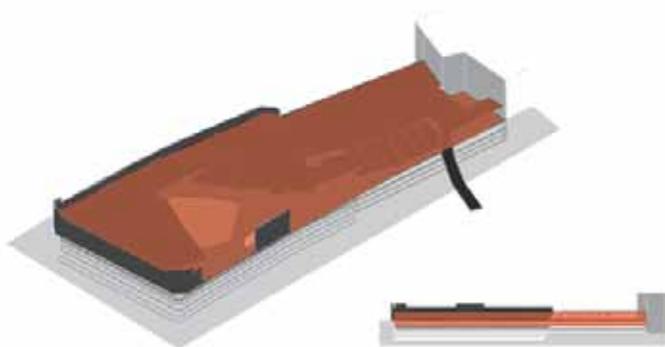
# 1.5

descripción de la estructura y metodología de cálculo

## Nivel de planta comercial

Diego Martín

Arquitecto



*El segundo de los tres niveles tipológicos superpuestos arranca de la losa postesada "a modo de cimentación" y llega hasta la planta tercera (cota +12.0), a partir de la cual únicamente habrá viviendas.*

*Este nivel está formado por pilares de hormigón armado, si bien en algún caso, en el perímetro paralelo a las fachadas del antiguo depósito, son metálicos. Debido a la irregularidad geométrica de la planta, las luces entre pilares oscilan entre los 6,5 m y los 10 m, consiguiendo en algunas zonas espacios libres de pilares de 10x10 m.*

*Para los forjados intermedios de las plantas baja y mezanine (cotas +0.0 y +3.0 respectivamente), se escogió una solución de losa maciza, por ser la de más fácil adaptación a las singularidades geométricas. Para el forjado de la planta primera (cota +6.0), que forma la gran plaza de este nivel, debido a la sollicitación de cargas elevadas, se optó por una losa aligerada tipo "sandwich", de 45cm de canto, utilizando casetones de poliestireno expandido (EPS) como aligeramientos entre dos capas de hormigón de 7,5cm de espesor.*

*En el nivel superior de esta zona, en la planta tercera (cota +12.0) es donde se produce otro cambio tipológico, ya que nacen las plantas con viviendas y se configura la geometría del biombo. En este nivel se produce el apeo de algunos pilares sobre jácenas de gran canto, en ocasiones postesadas.*

### 1.5.1. El forjado tipo "sandwich"

Este tipo de forjado lo venimos utilizando desde hace ya algunos años, cada vez con mayor éxito al permitir cubrir, con techos planos, luces importantes para cargas elevadas con cantos relativamente reducidos y sobre todo con una ligereza y un coste de ejecución altamente competitivos. La cara inferior, completamente plana, puede tener un acabado de hormigón visto. La geometría de la sección facilita una fácil protección contra incendios, en el caso de aparcamientos y locales comerciales. Otra ventaja radica en que el trazado



posterior y la suspensión de las instalaciones técnicas son sumamente sencillos.

El forjado intercala, entre dos capas continuas de hormigón armado, una capa de poliestireno expandido, organizada en nervios que conectan las dos capas en una o dos direcciones. El resto de elementos del forjado, tales como jácenas embebidas, zunchos de borde o capiteles, son los que corresponden en cada caso, según el planteamiento sea unidireccional o bidireccional, de forma similar a como se haría para resolver forjados más convencionales.

Las dos capas de hormigón conforman, conjuntamente con los nervios, una sección en doble "T" de gran inercia, de manera que un forjado de 7,5+30+7,5cm, como es el caso, tiene una inercia equivalente a una losa maciza de 41cm de espesor. Sin embargo, la losa de 41cm pesa 1.025 Kg/m<sup>2</sup> y el forjado aligerado 740 Kg/m<sup>2</sup>. Esto quiere decir, que con este tipo de forjado, para la misma inercia requerida (en función de la luz entre pilares y la carga) se tiene un forjado un 30% más ligero, con el correspondiente ahorro en material, repercusión en pilares y en cimentación.

En este caso la retícula formada por los nervios es isotrópica, con la misma separación en los dos sentidos, pero para otro tipo de geometrías podrían adaptarse soluciones con una dirección de nervios predominante, asemejándose más a un techo unidireccional que a un forjado reticular.

No obstante, este tipo de solución tiene una componente de mano de obra mayor que la de una losa maciza, por lo que su rentabilidad es operativa para distancias entre pilares entre 7,5 m y 15 m.

En cuanto al sistema constructivo, para que el montaje de la armadura y los casetones sea operativo, exige una cierta organización del contratista. En primer lugar, sobre el encofrado continuo, se extiende la malla inferior de toda la planta, colocando a continuación el armado inferior de los nervios de la dirección secundaria (que normalmente no están estribados). Después se montan los nervios de la dirección principal, que pueden venir fabricados de taller con sus estribos. Una vez colocados, sirven para apoyar el armado superior de los nervios secundarios.

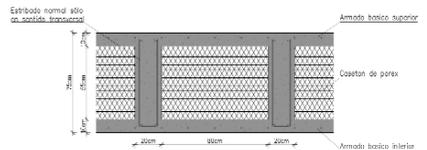
Siempre tiene que haber una dirección predominante de manera que en esa dirección los nervios estén estribados, y en la otra no. Si los nervios se estriban en las dos direcciones, el montaje de su

armado se complica considerablemente ya que debe hacerse todo "in situ" sin posibilidad de prefabricación de nervios. La dirección no estribada se refuerza a cortante, si procede, mediante celosías de cortante a 45° o mediante horquillas verticales añadidas.

Una vez que todo el armado de la planta está montado, a excepción del mallazo superior, se puede proceder al hormigonado, que se efectúa en dos fases. Es importante que estas dos fases sean secuenciales, dentro del mismo día, por lo que es preferible terminar por completo un sector y continuar al día siguiente a partir de una junta de hormigonado, que no dejar el proceso interrumpido, ya que sería necesario disponer de conectores y puentes de unión entre las dos fases.

En la primera fase se hormigonan los 7,5cm de la capa inferior. A los 15 o 20 minutos, un operario va colocando los bloques de poliestireno, que quedan adheridos al hormigón tierno con una ligera presión del pie. Por detrás de los grupos encargados del hormigonado y de la colocación de bloques, la cuadrilla de ferrallas va colocando la malla superior, generalmente electrosoldada, de manera que cuando el primer grupo llega al extremo del primer sector, puede ya volver al principio para hormigonar la segunda fase.

Este doble proceso de hormigonado no implica un retraso en la ejecución ya que es el ritmo de llegada de los camiones-cuba y la capacidad de bombeo lo que marca el ritmo y los tiempos de ejecución.



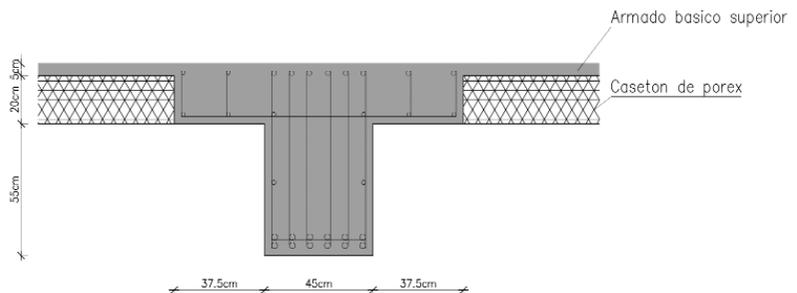


### 1.5.2. Las jácenas de apeo

En cuanto a las jácenas de canto, por un lado soportan el forjado unidireccional de la primera planta de viviendas y por otro lado apean los pilares alternos de la estructura superior del biombo. Estas jácenas son de 45x80cm en la mayor parte de los casos y se ha controlado pormenorizadamente la flecha de todos los puntos donde se producen apeos, para evitar cualquier problema derivado de una flecha excesiva.

Los pilares que nacen de la losa postesada, tienen todos una dimensión de 45cm, de manera que encajan con la base de la jácena, evitando así toda una casuística de encuentros entre elementos de diferentes dimensiones. En algún caso, ha sido necesario considerar la sección "T" formada conjuntamente con el forjado, para poder repartir de manera racional todo el armado en las zonas de momento negativo. Esto también ha facilitado la colocación de las placas base de los pilares metálicos que arrancan de este nivel y cuyos anclajes podrían interferir con el armado superior de las jácenas.

Desde el punto de vista estructural, estas jácenas no tenían una complejidad excesiva, pero eran, sin embargo, un claro elemento de unión y transición entre las dos tipologías y, aunque de manera indirecta, con la obra terminada se manifiestan en las fachadas mostrando huecos pequeños por encima de su nivel (viviendas) y huecos grandes por debajo (comercial).



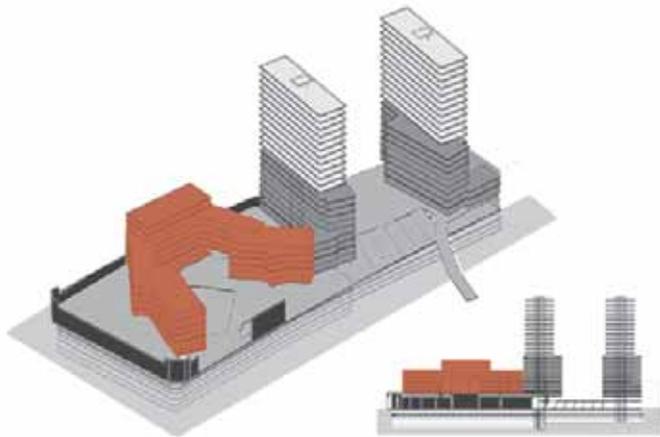


# 1.6

descripción de la estructura y metodología de cálculo

## Nivel de viviendas

Diego Martín  
Arquitecto



*Como ya se ha mencionado anteriormente, dentro de la superposición de tipologías del conjunto, los niveles que corresponden a las viviendas arrancan de la planta tercera (cota +12.0), sobre las jácenas de apeo de este nivel.*

*El objetivo prioritario en esta parte de la estructura fue el de aligerar al máximo el peso propio de ésta, ya que todas las plantas de los bloques del biombo descansan sobre la losa postesada del techo del sótano-1.*

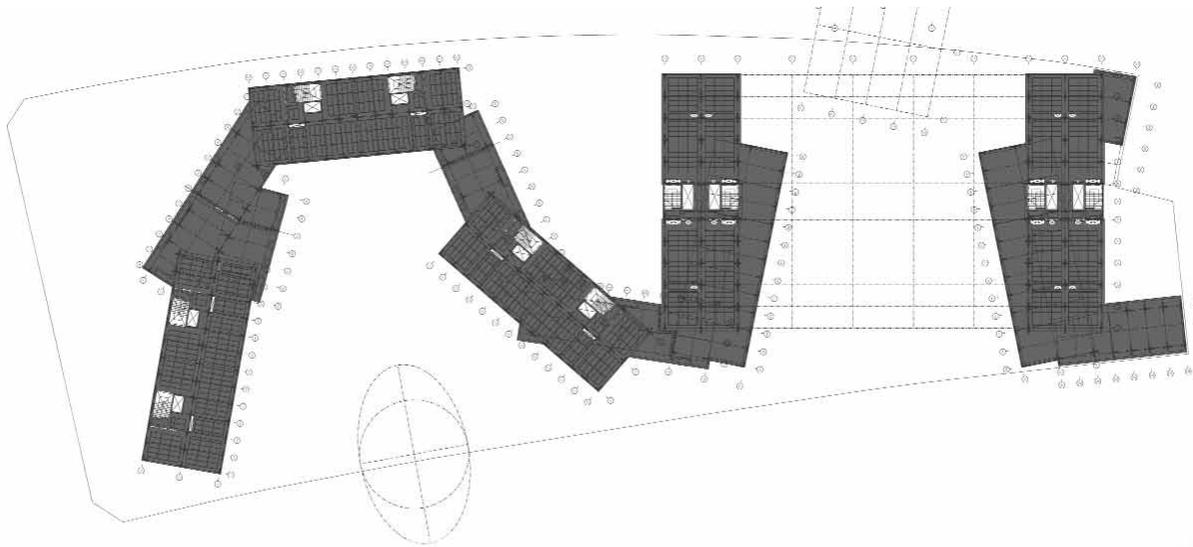
### La elección del tipo de forjado

Existen varias tipologías de estructuras de poco peso propio con forjados ligeros. Entre las más habituales se puede citar, como ejemplo, la que se forma con vigas metálicas y chapa colaborante, pero en este caso se consideró conveniente que el diseño de la estructura en la parte de viviendas se

basara en la utilización de un sistema constructivo más tradicional. Según el promotor, el sistema más utilizado para viviendas en el País Vasco es el forjado unidireccional, bien sea "in situ" o con semiviguetas prefabricadas. En este caso, se optó por la solución "in situ" ya que otorga al forjado un monolitismo que hace idóneo su comportamiento trabajando como una placa nervada, de manera que no sólo transmite las cargas gravitatorias a los pilares, sino también el empuje del viento hacia los núcleos.

La utilización de bloques de aligeramiento de poliestireno expandido (EPS), en lugar del clásico casetón de hormigón celular tipo jardinera, permitía reducir aún más su peso propio.

Las luces que cubre este forjado se extienden a lo largo de todo el biombo con una retícula aproximada de 6,50 x 3,00 m. Estas dimensiones permitían optimizar el funcionamiento del sistema unidireccional a la vez que encajaban perfectamente con las distribuciones de las viviendas.



Sobre la dirección principal de la retícula y cubriendo la luz más corta, se dispusieron unas jácenas planas con suficiente anchura como para permitir ser atravesadas mediante pasatubos para el paso de instalaciones sin una reducción significativa de su sección resistente. Sobre la dirección secundaria los nervios del forjado cubrían la luz larga. Esta relación entre las dos direcciones permitió optimizar al máximo el canto del forjado, en este caso de 25cm (20+5cm).

Perpendicular a la dirección de los ejes principales se dispusieron nervios transversales, que por un lado unificaban las deformaciones del forjado y por otro lado mejoraban su comportamiento laminar como placa.

Debido a la geometría a base de maclas de todo el biombo, este orden riguroso que se cumple en la mayor parte de su estructura, queda, sin embargo, distorsionado en los puntos donde se produce la intersección entre volúmenes. En estos casos fue difícil mantener la pauta y se optó por una solución de losa maciza, por ser ésta la tipología que mejor se adapta a cualquier tipo de geometrías.

El desarrollo total de los bloques del biombo es de unos 150 m de longitud. En estructuras de hormigón y situaciones convencionales no es posible realizar estructuras de este tamaño sin subdividir la edificación, por lo que se troceó el conjunto en varios bloques mediante la disposición de las oportunas juntas de dilatación.

La junta de dilatación mediante doble pilar ha quedado ya en desuso debido a la aparición de los pasadores metálicos que posibilitan una solución análoga a la del apoyo sobre "diente", pero con la ventaja de una ejecución más fácil y segura. En este caso, debido a la geometría de la planta del

biombo, se han utilizado pasadores que permiten tanto el movimiento en sentido longitudinal como transversal, permitiendo de esta manera la libre dilatación de cada una de las partes que forman la estructura.



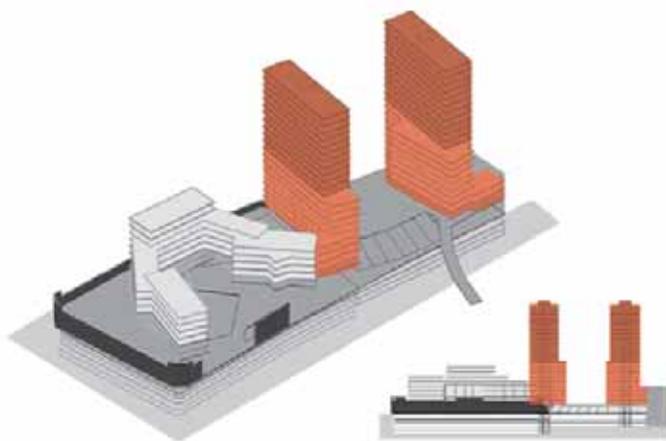
# 1.7

descripción de la estructura y metodología de cálculo

## Las torres

Diego Martín

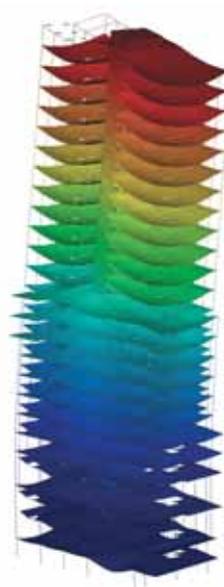
Arquitecto



La estructura de las dos torres se planteó mediante el esquema clásico de núcleo rígido central, configurado en este caso por los muros de hormigón que forman la caja de ascensores unidos a los pilares de fachada mediante cruces y consolidando así un núcleo mixto hormigón-metálico de gran rigidez.

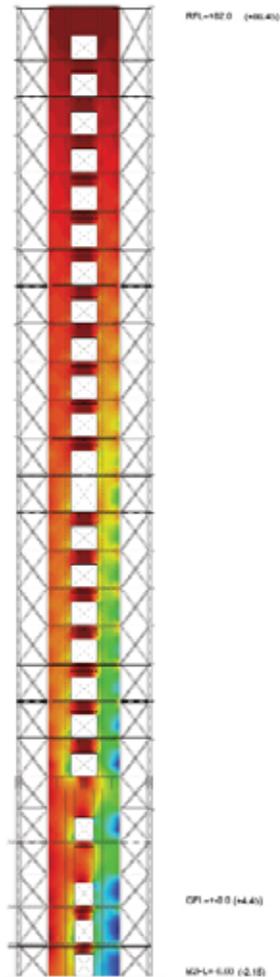
No obstante este núcleo no está emplazado en el centro de una planta sensiblemente cuadrada sino en el medio de un prisma de relativa esbeltez, por lo que los empujes de viento incidentes en las zonas de fachada alejadas del centro se transmiten a través del forjado, a modo de diafragma o viga horizontal de gran canto hasta el núcleo.

Al igual que en la estructura del biombo, hay una superposición de tipologías en altura. Las plantas sótano e inferiores, destinadas a aparcamiento y comerciales, se plantearon mediante losas macizas de 35cm de espesor sobre una retícula de 6,0 x 7,2 m. Este tipo de estructura se repitió desde la



cimentación hasta la planta tercera (cota +12.0), donde, al igual que en el resto del biombo, el uso pasaba a ser residencial y la retícula de la estructura se subdividía en 6,0 x 3,6 m. Para ello, en esta misma planta se dispusieron también unas jácenas de canto, en este caso de 80x120 cm, que apeaban los pilares alternos que descendían de la parte superior de las viviendas.





*Esfuerzos axiales verticales  
en el núcleo bajo la acción  
del viento y las cargas  
gravitatorias*

A partir de la tercera planta (cota +12.0) y hasta la coronación, los forjados se plantearon según el requisito fundamental de cualquier edificio en altura: Sistematización del sistema constructivo y máxima ligereza. En este caso, al igual que en el biombo, con el condicionante añadido de ser un tipo de forjado realizado mediante una construcción tradicional y aceptado socialmente en el ámbito local para el uso de viviendas. Por este motivo se optó por la misma solución que en el resto del conjunto, utilizando un forjado unidireccional "in situ" de 25cm de canto, aligerado con casetones de poliestireno, siguiendo las mismas reglas de diseño que en los bloques del biombo. Para las zonas irregulares de la planta, también se recurrió a una losa maciza de 25cm de espesor.

Puntualmente se consideró necesario, aproximadamente a media altura de cada torre, disponer una losa maciza de 30cm de espesor en una buena parte de la planta, a modo de techo reforzado para soportar una zona técnica donde se ubicarían algunas instalaciones técnicas especiales.

### 1.7.1. Modelización de la estructura

Para la obtención de los esfuerzos que solicitarían los diferentes elementos estructurales de las torres, se procedió a su análisis mediante diferentes modelos que permitiesen evaluar cada uno de los estados de la estructura, durante cada etapa de la construcción y en su estado de servicio final.

En un primer modelo global, se incluyeron todos los elementos y cargas desde la cimentación hasta la coronación, lo que sirvió para evaluar las cargas máximas sobre la cimentación y las deformaciones generales del edificio.

Con la intención de tener en cuenta las diferentes fases constructivas, un segundo modelo dividió el primero en dos partes en función del cambio tipológico de la planta tercera (cota +12.0), donde pilares alternos quedarían apeados mediante jácenas. De esta manera se pudieron evaluar certeramente las aportaciones de los pilares apeados sobre las jácenas durante las diferentes fases de ejecución, simulando en este modelo apoyos de diferentes rigideces. Ciertamente, en el análisis mediante un modelo global de cada una de las torres hubo que tener en cuenta la diferencia de rigideces entre

los soportes. Este aspecto determinaba los acortamientos por compresión de los elementos de soporte, de manera que el núcleo de hormigón, al ser más rígido, se acortaba menos que los pilares metálicos y por lo tanto, los forjados de las últimas plantas quedaban literalmente “colgados” del núcleo. Este efecto sólo es cierto para las sobrecargas posteriores a la construcción de la estructura y no para el peso propio de la misma, ya que la puesta en carga del peso propio se hace de manera progresiva, según se va construyendo el edificio. Para tener en cuenta este aspecto, se realizaron, también, modelos parciales de cada una de las plantas.



En cuanto al límite de las deformaciones horizontales admisibles no existía una regulación concreta, marcándose su tope más por las tolerancias de los elementos de fachada que por valores absolutos.

No obstante había que tener en cuenta que en un modelo de cálculo el empuje del viento se aplica a tiempo infinito, cosa que en realidad nunca sucede. Para que la deformación teórica prevista se llegase a dar debería producirse una energía igual al empuje del viento durante un tiempo determinado, igual a la energía de deformación del edificio.



Otro aspecto a controlar de las deformaciones fue, además de la magnitud de las mismas, la frecuencia de vibración del edificio, intentando ajustar el diseño estructural para conseguir que las frecuencias fuesen imperceptibles para evitar molestias a los usuarios.





### 1.7.2. Comportamiento del núcleo

Como suele ser habitual en edificios de este tipo, el elemento fundamental para soportar el empuje del viento lo constituye el núcleo de comunicaciones verticales.

La distribución de la planta, tanto en los niveles inferiores como en los superiores, hacía posible la definición de un potente núcleo de ascensores y escaleras que subdividía la planta por la mitad. Este recurso permitió unir los muros de hormigón del núcleo con los pilares metálicos de fachada, formando un conjunto mixto de acero y hormigón de gran resistencia frente al viento.

El hecho de concentrar la parte de hormigón en el centro y los pilares metálicos en los extremos del núcleo, permitió optimizar cada material: el hormigón ante esfuerzos de compresión y el acero ante los esfuerzos de tracción y compresión indistintamente. Ambos elementos quedaban unidos por cruces de acero a nivel de cada planta.

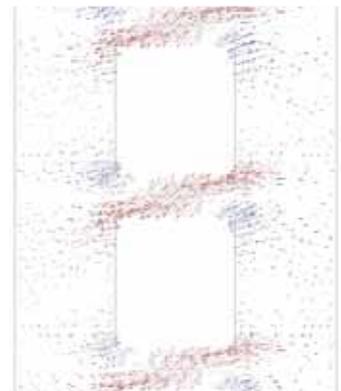
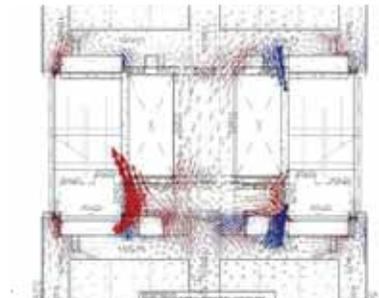
Dentro de los muros de hormigón, los dinteles-jácena de las puertas que dan paso al hall de ascensores jugaban un papel crucial a la hora de transmitir los esfuerzos de una cara a la otra del núcleo.

El otro aspecto importante que se tuvo en cuenta fue la transmisión del empuje del viento a través de los forjados de cada planta, desde sus extre-

mos hasta el núcleo. La diferencia de rigideces frente al viento de una sección por el núcleo y de otra por un extremo de la planta obligó a estudiar el comportamiento de los forjados como una viga de gran canto, apaisada, empotrada en el núcleo y libre en los extremos.

Las jácenas planas, de una anchura considerable, junto con los dos nervios de reparto embebidos en el forjado, conseguían, mediante un efecto laminar a modo de diafragma, transmitir el empuje eólico desde las fachadas hasta el núcleo.

Cerrando las escaleras, un perfil de acero permitía la colocación del muro cortina al mismo tiempo que transmitía los esfuerzos de un lado al otro de la planta.





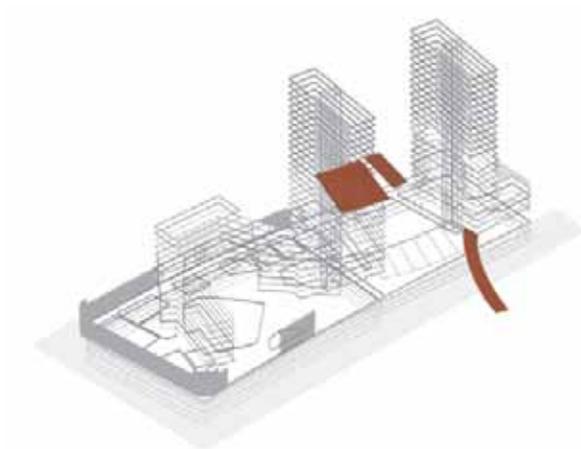
# 1.8

descripción de la estructura y metodología de cálculo

## Los puentes

Diego Martín

Arquitecto



*A nivel urbanístico, el conjunto Isozaki Atea debe hacer de nexo y unión entre la margen derecha de la Ría y el Ensanche, incidiendo en éste por el comienzo de la calle Ercilla.*

*Históricamente, hasta la desindustrialización de la zona, este terreno fue ocupado por instalaciones portuarias y de aduana, por lo que la parte alta de la ciudad siempre quedó de espaldas a la Ría.*

*El objetivo de esta actuación ha sido, no sólo configurar la fachada de la ciudad hacia la Ría, sino también restablecer la comunicación entre ambos márgenes y entre los diferentes niveles, desde la Ría hasta la Alameda de Mazarredo y la calle Ercilla.*

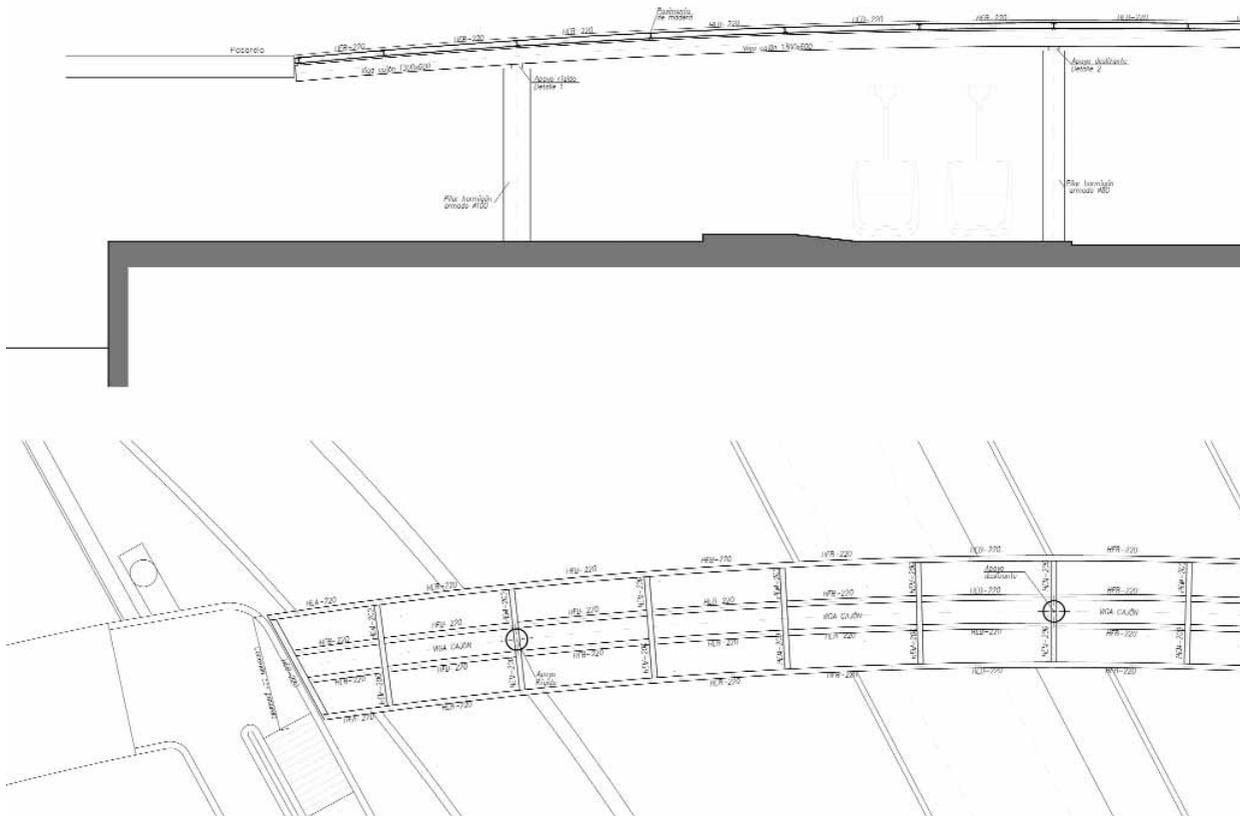
*Esto ha sido posible gracias al planteamiento de tres pasarelas.*

*La primera es una prolongación de la pasarela peatonal de Zubizuri, proyectada por Santiago Calatrava en 1996. Su prolongación posibilita el tránsito hasta el nivel de la planta comercial y los accesos a las viviendas por la planta primera (cota +6.0).*

*La segunda pasarela está formada por una plataforma de 20 m de ancho a modo de escalinata y comunica la plaza entre las dos torres con la parte superior por la calle Ercilla.*

*Por último, debido a un requerimiento de accesibilidad de tránsito ocasional sobre el nivel intermedio de la cota +6.0, otra pasarela comunica las rampas de Uribarte con este nivel.*





### 1.8.1. La prolongación de la pasarela peatonal de Zubizuri

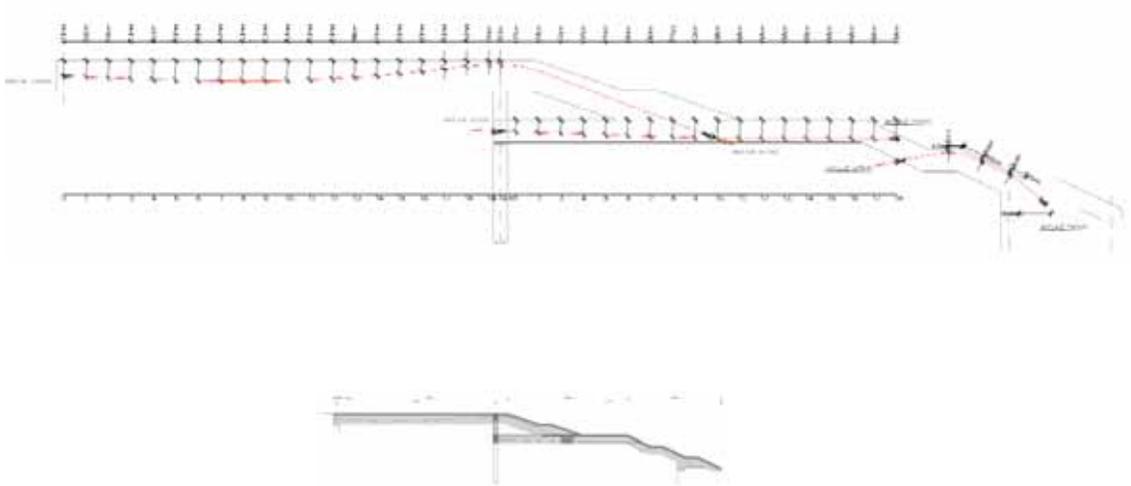
Es un puente curvado, que sigue el esquema clásico de viga-cajón de acero. Con 60 m de longitud total, tiene tres apoyos intermedios formando dos vanos centrales de 20 m de luz, un apoyo sobre los bajos de una de las torres y un voladizo de 8,2 m en el lado de Zubizuri, de manera que las dos pasarelas no quedan estructuralmente conectadas.

El tablero del puente, debido a que las sobrecargas no eran elevadas, se propuso mediante un

entramado de vigas metálicas sobre las que se apoyaba un pavimento de madera, dando una sensación de ligereza y sencillez en contraste con el resto de estructuras colindantes.

La imposibilidad de vuelco del tablero debido a su geometría curvada, se garantizaba por la presencia de un par de apoyos en el lado de la torre y de un nudo rígido sobre el último pilar del otro extremo.

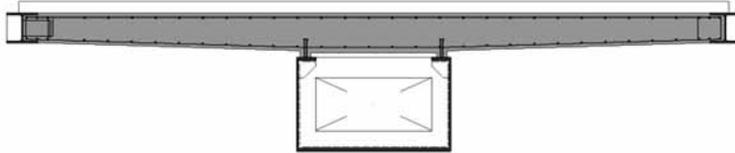




### 1.8.2. La escalinata

En este caso la estructura se planteó mediante una losa de hormigón armado, que permitiera, al ser moldeada, dar forma a la escalinata, apoyada sobre unas jácenas de canto también de hormigón. La plataforma, de unos 20 m de ancho, se desarrolla en dos niveles, coincidiendo el cambio de nivel con un apoyo central sobre pilares. De esta manera queda configurada con una longitud total de unos 40 m, subdividida en dos vanos de 20 m de luz. Para poder reducir el canto de estos elementos fue necesario postesarlos.





### 1.8.3. Un paso para vehículos

Originalmente este tramo de pasarela de un solo vano de 20 m debía tener la misma configuración que el otro puente metálico, aunque, por razones de la mayor sobrecarga impuesta por el paso ocasional de vehículos, se propuso que el tablero, en lugar de ser un ligero entramado de acero, fuese de hormigón armado, configurando así una sección mixta de gran inercia.

En la unión entre la viga-cajón metálica y el tablero de hormigón se dispuso la colocación de unos conectores de madera, a fin de que toda la sección trabajara conjuntamente.



2.1

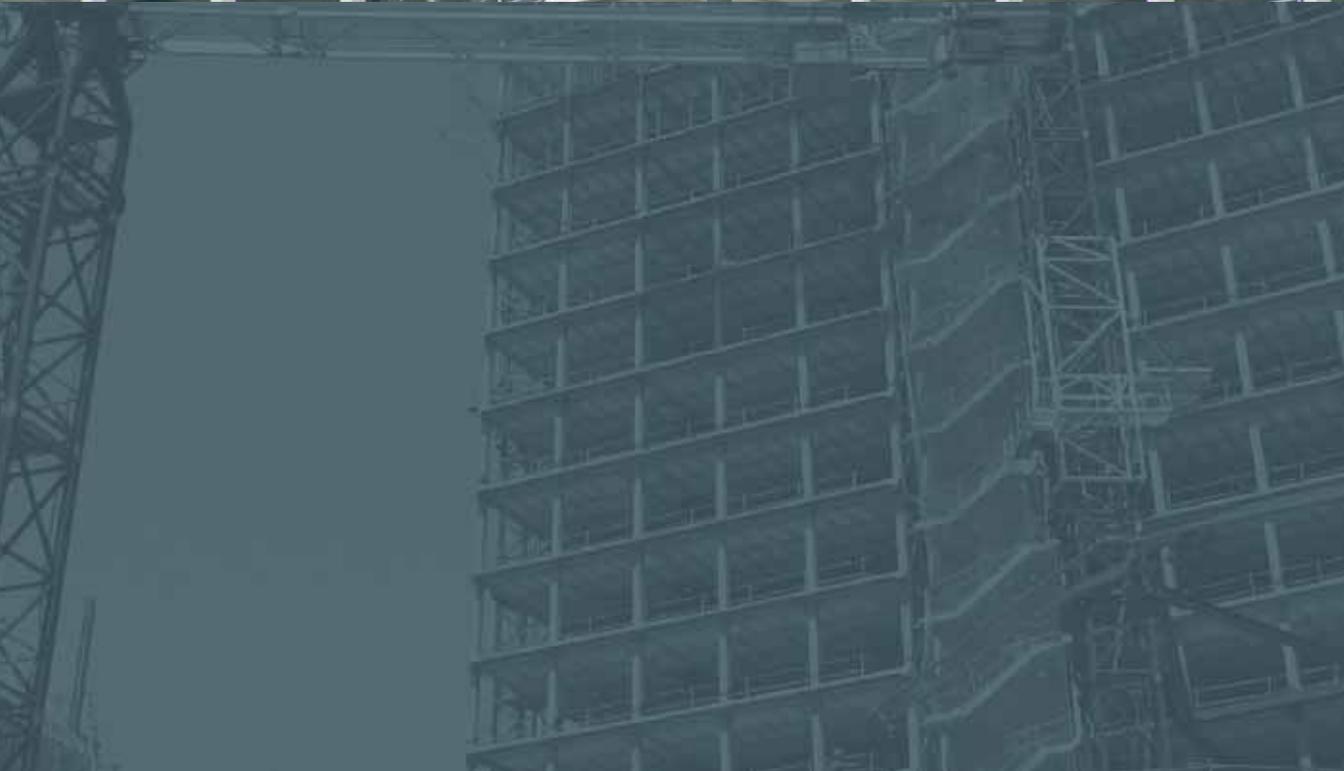
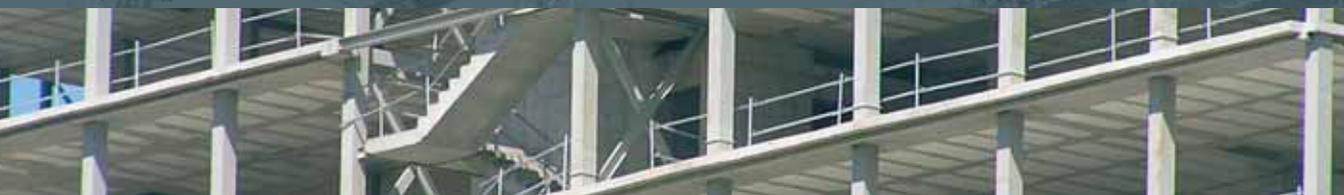
La sistematización de los sistemas constructivos.

2.2

Ejecución del postesado en obra, vigas y losa.

2.3

Consolidación de fachadas existentes y puentes.



# 2

la puesta en obra

---



# 2.1

la puesta en obra

## La sistematización de los sistemas constructivos

*Eduardo Galnares*

*Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos*



### **Ficha técnica estructura**

#### **Objeto de la obra**

Se trata de ejecutar el esqueleto del complejo en un plazo de 11 meses con una superficie apróx. de 90.000 m<sup>2</sup> y que se configura como un conjunto de prismas maclados en los que destaca la construcción de dos torres gemelas de cristal de 23 plantas y 82 m de altura que harán de puerta hacia el Ensanche de Bilbao.

<b>Cimentaciones</b>	11.000 m <sup>2</sup>
<b>Demoliciones</b>	45.000 m <sup>2</sup>
<b>Refuerzos estructura existente</b>	21.000 m <sup>2</sup>
<b>Losa postesada</b>	6.400 m <sup>2</sup>
<b>Losas macizas y aligeradas</b>	23.600 m <sup>2</sup>
<b>Forjado unidireccional</b>	28.000 m <sup>2</sup>
<b>Hormigón estructural</b>	26.000 m <sup>3</sup>
<b>Acero laminado</b>	1.800.000 kg
<b>Acero corrugado</b>	3.700.000 kg
<b>Cable de acero (postesado)</b>	60.000 ml

## Reto técnico

A un lado de las torres están distribuidos los cinco bloques en forma de biombo en los que Arata Isozaki conserva los muros perimetrales y las 3 plantas de forjados existentes del antiguo Depósito Franco de Bilbao.

Los nuevos inmuebles no cuentan con cimientos anclados a la roca sino que éstos se convierten en una prolongación de los cimientos originales. Esta unión sólo es posible gracias a la construcción de una losa postesada que permite una distribución de pilares diferente a la existente.

Se trata de un forjado de canto 75 cm tipo "Sandwich" (10 cm hormigón + 55 cm porex + 10 cm hormigón) aligerado con bloques de porex y postesado.

## Reto de plazo

Las dos torres, camino crítico en la programación de la obra, constituyen el verdadero reto en cuanto a consecución de rendimientos y encadenamiento de actividades. Se consiguen igualar y mejorar los plazos de ejecución en base a la utilización del sistema de encofrado de mesas de DRACE que permite ir a ciclos de planta por semana con superficies de apróx. 700 m<sup>2</sup>.

Según avanza la obra, se tensan cada uno de los tendones formados por cables, mediante gatos hidráulicos para que al terminar de levantar los inmuebles, la losa sea capaz de soportar el peso de la estructura.



La industrialización del proceso de ejecución de la estructura se puede definir como la realización de toda o parte de la misma, utilizando procedimientos repetitivos de forma sistemática, consiguiendo de esta forma aumentar los rendimientos y disminuir los recursos.

*El reto que ha supuesto la construcción de las torres no ha sido tanto su altura sino la velocidad de su ejecución, lo que se ha conseguido combinando unos sistemas constructivos relativamente convencionales. Para acelerar el proceso de construcción debían tenerse en cuenta varios aspectos: la estandarización y repetición de soluciones en las plantas, en la ejecución del núcleo y en la ejecución de los pilares.*

El compromiso que habíamos asumido de plazo no se podía abordar sin conseguir una sistematización de procesos, para ello fue preciso un trabajo previo de adelantarnos a los problemas y dimensionar los equipos de trabajo necesarios por zonas de forma que se consiguieran ciclos semanales de trabajo, de Lunes a Viernes, de forma que siempre se pudiera contar con el fraguado y curado del hormigón en Sábado y Domingo.

Recuerdo el primer encaje global de la obra en 11 meses, había que hilar fino. Era como aquellos plannings que te enseñan en la escuela, divididos por zonas, con sus equipos de encofradores y ferrallas. Estaba todo pensado, sólo había que ponerlo en práctica. Por tanto, los rendimientos y ciclos tenían que ser esos y no otros, no podíamos dejar nada al azar, teníamos que abordar una obra diferente, nada convencional.

La industrialización de la estructura la conseguimos empleando:

- 1.- Mesas de encofrado para la ejecución de forjados.
- 2.- Escaleras de hormigón prefabricadas .
- 3.- Pilares metálicos ejecutados en taller en 3 alturas.
- 4.- Encofrado modular de núcleo de ascensores.
- 5.- Bombas estáticas de hormigón por torre.



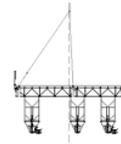
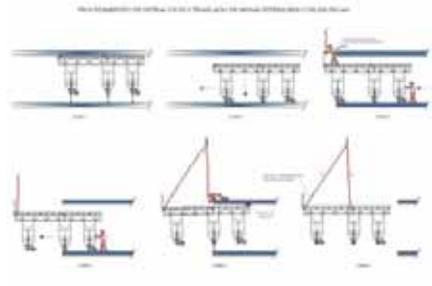
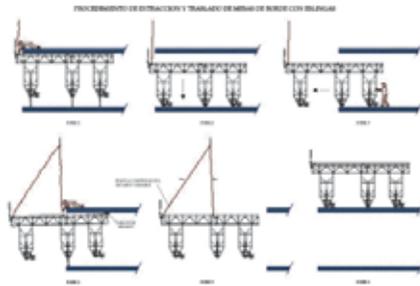
**INDICADORES**

**EDIFICIO 1**

PUNTO	COTA	DESCRIPCIÓN	AREA	ALTURA	DETALLE
06 FL	+13.00	FORJADO UNIDIRECCIONAL 20-5CM	80.54	80.54	3.25 (Prestar atenc. sobre huecos, columnas y acabados)
08 FL	+28.30	FORJADO UNIDIRECCIONAL 20-5CM	437.58	437.58	3.25
07 FL	+08.00	LOSA MACIZA DE 25CM	129.76	147.36	3.05
		FORJADO UNIDIRECCIONAL 20-5CM	437.58		
06 FL	+03.30	LOSA MACIZA DE 25CM	163.88	167.46	3.16
		FORJADO UNIDIRECCIONAL 20-5CM	437.58		
08 FL	+19.00	LOSA MACIZA DE 25CM	163.88	167.46	3.23
		FORJADO UNIDIRECCIONAL 20-5CM	437.58		
04 FL	+18.50	LOSA MACIZA DE 25CM	163.88	167.46	3.23
		FORJADO UNIDIRECCIONAL 20-5CM	437.58		
03 FL	+12.50	LOSA MACIZA DE 25CM	163.88	314.69	2.75 (Prestar atenc. sobre huecos)
		FORJADO UNIDIRECCIONAL 20-5CM	393.89		
03 FL	+9.50	LOSA MACIZA DE 25CM	493.00	493.00	2.75 (Prestar atenc. sobre huecos)
01 FL	+6.00	LOSA MACIZA DE 30CM	363.90	794.28	2.7 (Prestar atenc. sobre huecos)
		FORJADO RETICULAR 40CM	208.95		
00 FL	+3.00	LOSA MACIZA DE 30CM	440.57	440.57	2.75 (Prestar atenc. sobre huecos)
0L	+0.00	LOSA MACIZA DE 30CM	580.27	580.27	3.20
01 FL	-3.00				

SUPERFICIE TOTAL : 5 675.58 m<sup>2</sup>





### 2.1.1. Mesas Hussor

DRACE . Dragados  
Construcciones Especiales

Con la utilización del sistema de mesas, hemos conseguido:

- Disminuir el plazo de ejecución.
- Reducir casi en un 35% la incidencia de la mano de obra.
- Aumentar casi a un 100 % la seguridad y por tanto la productividad.
- Sacar el máximo provecho de los medios auxiliares.

Técnicamente consisten en una serie de elementos modulares tipo celosía, de longitud variable formados por una estructura tubular de acero galvanizado con bridas en sus extremos, de forma que se puedan unir unos a otros por medio de tornillos. Estos elementos modulares (vigas celosías) se apoyan sobre unas zancas o suplementos en altura y éstas sobre unas patas que admiten hasta 5 Tn de carga y permiten regular la altura y la nivelación del conjunto con una aproximación de hasta 1 mm en un recorrido de hasta 1400 mm entre cotas mínima y máxima.

Estas patas llevan un doble sistema de seguridad que evita que las mesas puedan bajar de golpe accidentalmente y cada dos patas están arriostradas entre sí con una viga tipo celosía. Los límites alcanzados por Dragados en sus obras son 16 m de longitud, 4,50 m de anchura y 11,50 m de altura. Todas las mesas van acompañadas de barandillas, pisas, redes, etc...; es decir tienen su propio sistema de seguridad.

Con la utilización del sistema de mesas hemos cumplido una doble función, ciclos de producción semanales y plataforma de trabajo protegida perimetralmente con una barandilla de 1,80 m.

#### Operaciones a realizar con las mesas

##### 1.- Formación de mesetas

Para la obra se realiza un diseño específico asignando a cada espacio una determinada tipología de mesas.

##### 2.- Desencofrado de mesetas

- Se rompen probetas para comprobar si la resistencia es la adecuada para desencofrar, se necesita al menos el 80% de la resistencia característica de proyecto para poder desencofrar.

- Se quitan los buzones que fijan las tabicas.
- Se retiran las tabicas, se limpian y se les da desencofrante permaneciendo en espera hasta su traslado sobre el forjado horrigonado.
- Se pliegan totalmente las cremalleras de las patas de sustentación interiores, utilizando volantes, dejando la mesa apoyada sobre las cuatro patas extremas.

#### 3.- Traslado a planta superior

Una vez desencofrada la mesa, los operarios la empujan, ayudados por barras de uñas o patas de cabra. La mesa se empuja hasta llevarla al siguiente ciclo a ejecutar, procurando que las ruedas queden sobre las líneas de replanteo.

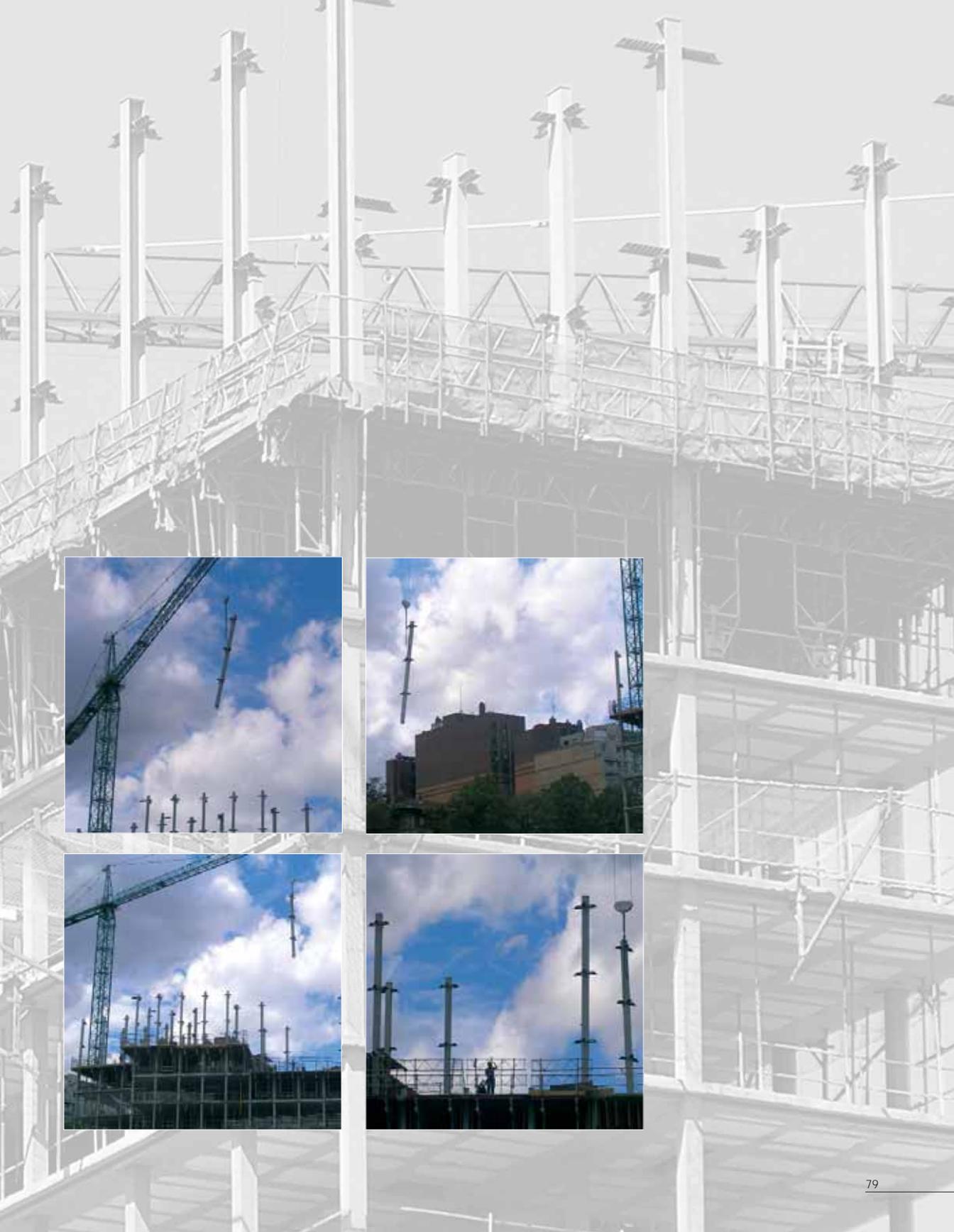
##### 3.1.- Traslado con eslingas

- Una vez desencofrada la mesa, los operarios la empujan hasta que aparece el primer punto de cogida por el borde del forjado. Uno de los operarios coloca en el gancho de la grúa la eslinga de cuatro brazos que se utiliza para cambiar las mesas de ciclo y tomando dos de estos brazos los engancha en el primer punto de cogida.
- Efectuada esta operación, la grúa iza lentamente la mesa hasta que las ruedas primeras estén a unos 20 cm del suelo, quedando la mesa apoyada sobre las ruedas traseras.
- La grúa procede a la extracción, apoyado por dos operarios, hasta que se queda acodada contra el forjado, aflojándose las eslingas. En este momento un operario que esté encima del forjado ejecutado engancha los otros dos brazos de la eslinga y a continuación la grúa saca la mesa al exterior.

### 2.1.2. Escaleras de hormigón prefabricadas

Desarrolladas por la ingeniería del Grupo Afer, conseguimos llegar con escaleras prefabricadas, ya definitivas a falta de colocar pavimento hasta la plataforma de trabajo.





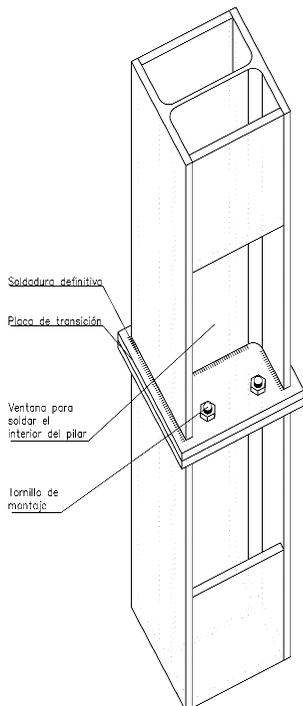
### 2.1.3. Pilares metálicos

Una de las razones por las que ha sido posible la construcción de los 90.000 m<sup>2</sup> de estructura en menos de 12 meses fue el planteamiento de los pilares metálicos. El sistema elegido permitía montar los pilares correspondientes a tres alturas de una sola pieza. La altura de 3,50 m entre plantas es constante en todo el edificio, por lo que tres plantas configuran siempre una pieza de 10,5 m de longitud, fácilmente transportable en camiones de largo convencional.

La unión del pilar con el techo de cada planta se realizó mediante crucetas metálicas embebidas en el forjado, garantizándose con este dispositivo un correcto empotramiento entre el pilar y el forjado.

El pilar, de tres plantas, venía del taller fabricado ya con sus crucetas y con una breve operación de grúa quedaba montado y aplomado mediante una tornillería provisional. En unos minutos la grúa quedaba liberada y se procedía a la ejecución de las soldaduras definitivas.

Este procedimiento permitió independizar los equipos de ejecución de forjados de los de pilares, sin hipotecar la grúa con un montaje deficiente. La otra ventaja de los pilares metálicos era su reducido tamaño en relación a los de hormigón. En la parte de viviendas, debido a la complejidad de las distribuciones, esta decisión resultó crucial para la correcta definición del sistema.



En los bloques del biombo, a pesar de ser de una altura media, con la intención de no penalizar el tamaño que el empuje del viento imponía a los pilares, se dispuso, coincidiendo con cada ascensor, un núcleo de hormigón de mayor rigidez, de manera que la estabilidad horizontal de la estructura quedase garantizada por estos núcleos. Al contrario de lo que ocurre en el resto de pilares, estos núcleos no se interrumpen en la gran losa postesada de la planta del sótano primero, sino que la atraviesan apoyándose directamente sobre la cimentación.

### 2.1.4. Ejecución del núcleo de ascensores

Para la construcción del núcleo se había previsto, en un principio, la utilización de un sistema de encofrado trepante, anclado sobre el mismo muro a medida que avanzara en altura. Esto permitiría que el nivel de ejecución del núcleo estuviese varias plantas por encima de la planta en ejecución. Al final, sin embargo, se decidió utilizar un sistema más convencional, construyendo el núcleo planta por planta.





*Detalles de fijación de los pilares metálicos, replanteo en X, Y, Z con comprobaciones de coordenadas en cada planta*



# 2.2

la puesta en obra

## Ejecución del postesado en obra, vigas y losa

*Eduardo Galnares*

*Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos*

*Eduardo Peñalosa*

*Arquitecto*

*Ramón Ruíz*

*Ingeniero Industrial*

El proceso de ejecución de la losa se dividió en 6 pastillas. Estas pastillas estaban regidas por juntas de doble pilar. En algún caso especial (debido a la eliminación de un soporte) se dispusieron pasadores metálicos.

La losa se encontraba en el perímetro con la pantalla existente, por ello se dispusieron pasadores anclados con resinas epoxídicas, permitiendo el movimiento en la dirección sugerida.

Optamos por colocar láminas de polietileno dobles y superficies de porexpan para evitar que existiera cualquier tipo de coacción entre el hormigón de la losa y la rugosidad de la pantalla.

La dimensión de la losa y su delicada función nos obligó a disponer de más de 30.000 puntales repartidos en los sótanos, garantizando así su estabilidad y protegiéndola de los continuos efectos vibratorios del tránsito de obra.





La mayoría de las vigas contienen un trazado parabólico de largas vainas metálicas. Están previstas de corrugas y su poco peso hace posible la correcta disposición de la forma. Una vez dispuestas las vigas, dejamos los niveles marcados con barras de diámetro pequeño, efectuándose posteriormente una comprobación de los puntos más altos y bajos como referencia. Estas comprobaciones han de ser meticulosas, siendo necesario revisar todas las secciones de la vigas. En muchos casos puede existir confusión ya que las vainas se entrelazan y el trazado de una depende del funcionamiento de otra.

Es por esto que se deben revisar y constatar con anterioridad los puntos altos y bajos a través del tendón, para poder mover con toda libertad las vainas y ejecutar los anclajes lo más recto posible antes de iniciar el enfilado, el cual incrementa el peso e impide la libre maniobrabilidad.

Las vainas no deben tener ningún desperfecto (abolladuras, cortes por fuente de calor) ya que al quedar modificadas sus características permitirían al hormigón ingresar dentro del ducto, impidiéndole su alargamiento. Los empalmes con las trompetas deben ser revisados ya que la colocación de las horquillas y estribos necesarios podrí-

an provocar cortes o daños imprevistos. Cada vaina contiene entre 2 y 4 tendones y cada tendón entre 15 y 19 cables trenzados. Estos cables se deben proteger del contacto del agua. Para ello, una vez colocados, a falta de los tesados previstos, se recubren con tubos de PVC y son sellados a la vaina con cintas especiales.

Los anclajes pasivos como su nombre indica, no son accionados y quedan embebidos en el hormigón. Para los activos se dispone una ventana en el forjado por donde el "gato" (maquina de tensado) será insertado para proceder al tensado, que se realiza de manera gradual. A medida que vamos incrementando el peso de la estructura aumenta el porcentaje de tensado, estipulándose en tres fases de 50%, 75% y 100%. El primer tensado se efectuó inmediatamente después de la ejecución de la losa, cuando el hormigón alcanzó su resistencia.

Antes de hormigonar la losa, se deben dejar los purgadores en las vainas. Éstos sirven de testigo para la inyección de cemento, el cual le da la protección necesaria a los tendones.

A modo de purgadores se dejaron pequeñas mangueras con una barra para conectar con la vaina.



1



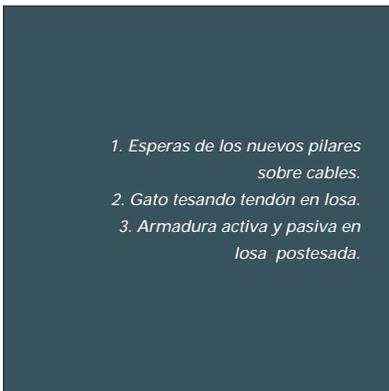
2

Una vez hormigonado y procedido a inyectar, se golpea la barra para que ésta deje salir el cemento, constatando que está perfectamente recubierta del líquido.

Durante el proceso de tensado se deben revisar los alargamientos y si es posible marcar con un spray de color cada fase para así tener controlado el alargamiento de cada fase por medio del parte de tesado suministrado por el industrial. Cuando se da el visto bueno y se han efectuado los tensados al 100% se procede a cortar cables, a tajar las cuñas con mortero y terminar con el inyectado antes comentado.

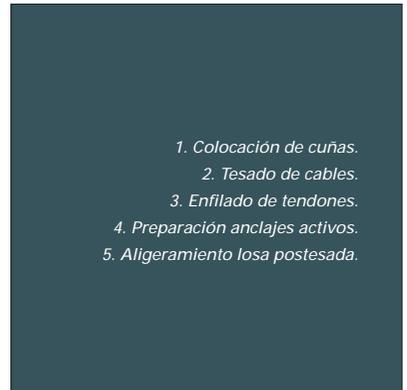


3



Exponemos a continuación un resumen de la elaboración del forjado postesado y su orden de ejecución.

1. Armadura inferior (mallazo) y refuerzos.
2. Vigas perimetrales con los pasadores.
3. Vigas con sus respectivos refuerzos.
3. Colocación de vainas y revisión de trazados.
4. Ajuste de los anclajes pasivos de la vaina (horquillas, cercos, etc).
5. Enfilado de los tendones.
6. Ajuste del anclaje activo y encaje con la ventana, en algunos casos núcleos.
7. Hormigonado por capas.
8. Colocación de las piezas aligeradas.
9. Armadura superior (mallazo) y refuerzos.
10. Al llegar a la resistencia del hormigón, tesado en diferentes fases.
11. Una vez recibida toda la carga estructural tesado al 100%.
12. Inyectado de vainas con mortero y sellado de cajetines.





3



4



5



# 2.3

la puesta en obra

## Consolidación de fachadas existentes y puentes

*Eduardo Galnares*

*Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos*

*Luis Arroyo*

*Ingeniero industrial*

Otro de los trabajos que se abordó paralelamente a la ejecución de la estructura fue la consolidación de las fachadas existentes. Éstas estaban soportadas por un andamio tubular perimetralmente distribuido en el exterior.

Se trataba por tanto de soportar estas fachadas con muros / pilares de hormigón armado distribuidos interiormente. La ejecución del proyecto de consolidación redactado por D. Luis Arroyo consistía en un trabajo de artesanía, en este caso a partir de encofrados a una cara, hormigón y acero.



1

### 2.3.1. La cimentación

Se trata de una zapata corrida de 1,60 de ancho por 1,50 de alto, con armadura en la parte inferior y apoyada en pilotes prefabricados de hincas colocados por parejas.

### 2.3.2. La fachada existente

Compuesta de piedras prefabricadas de 45 cm de espesor adosadas a una estructura con diferentes tipologías.

Podemos dividir esta fachada desde la cota de rasante hasta los 6 metros aproximadamente, en el cuál la piedra está adosada a un muro de hormigón de 60 cm, vertido después de haber colocado la piedra.

La segunda parte desde la cota 6 m, hasta la coronación cota 16,50. Las piedras van pegadas a un muro de ladrillo.

En la primera fase no se realizó ninguna solución para la sujeción, sólo se proyecta la unión con el muro del trasdós con un nuevo muro de hormigón, pero en la segunda tipología se coserán las piedras atravesando el muro de ladrillo y uniendo al nuevo muro de sujeción.

1. Fachada principal.
2. Encofrado de muro a 1 cara.
3. Ejecución de arcos en muro a 1 cara.



2



3

### 2.3.3. El apuntalamiento

Actualmente se encuentra apuntalada en su interior por una estructura de pilares y parte de forjado de la antigua construcción construida en los años 70 y posteriormente demolida. En su exterior está sujeta por un andamiaje de mecano-tubo.

### 2.3.4. Actuaciones a realizar

Todas las actividades a realizar se han hecho con el más extremo cuidado para no provocar esfuerzos innecesarios, principalmente en la piedra del exterior para no perjudicar la estabilidad de las mismas.

Todas las perforaciones se hicieron con máquinas de corte rotativo, sin percusión.

### 2.3.5. Orden de ejecución

1. Micro-pilotaje interior para la nueva zapata.
2. Construcción del muro con las sujeciones de las piedras indicadas en los planos con sus respectivas separaciones.
3. Apertura de espacios en el apuntalamiento del mecano-tubo exterior, de los ocho micropilotes indicados.
4. Zapata exterior, con su respectiva unión al muro.
5. Demolición de estructura residual, mediante cortes de sierra, y grúa.
6. Retirada del apuntalamiento de mecano-tubo.
7. Restauración de la piedra y acabados de revestimiento del interior del muro.



# 3 arquitectura

---



# Arquitectura



## muro cortina

Los siete edificios de muro cortina del complejo Isozaki Atea, destinados en su integridad a uso de viviendas, planteaban nuevos retos en el mundo de los muros cortina. Se trataba de conjugar el objetivo de obtener una caja de cristal con perfilaría oculta (vidrio estructural) y a su vez posibilitar que la misma pudiese tener un sistema de apertura "tradicional" de ventanas oscilobatientes hacia el interior, acorde con el uso



*Estudio de cubierta de torres*



*Vista de muro cortina aplicado en fachada*

de viviendas. El mercado de muro cortina no había desarrollado este sistema en profundidad hasta que se planteó en esta obra.

Diferentes empresas líderes del sector diseñaron prototipos que fueron analizados por distintos

especialistas según los criterios de confort y estética requeridos. Asimismo, en la selección del vidrio se han llegado a colocar en obra un total de 15 vidrios preseleccionados en base a los requisitos de proyecto, pudiendo así evaluarlos en su medio y condiciones reales.



*Maquetas del muro cortina a escala real*



*Estudio de fachadas ventiladas*

## fachadas ventiladas

Al margen de los edificios con fachadas de muro cortina, existen otros edificios o bien de ladrillo caravista o bien de piedra. En el caso del caravista, el hecho de querer marcar la horizontal conllevó la ausencia de llaga (vertical), lo que a su vez nos inclinó a utilizar un sistema de fachada ventilada, más común en países del norte de Europa o Estados Unidos, que nos ofrece



*Estudio de fachadas ventiladas*

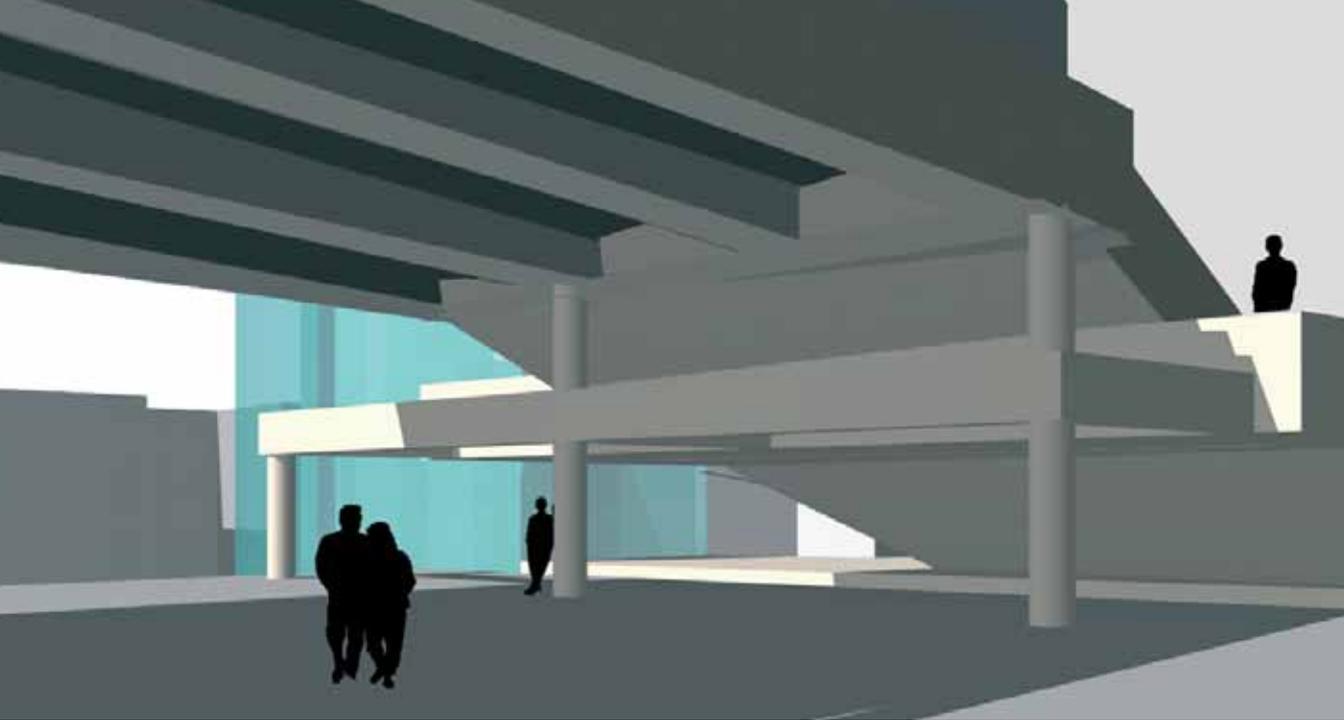


unas prestaciones de impermeabilización y térmicas muy superiores al sistema constructivo convencional. Asimismo, la particular dimensión del ladrillo establecido por A.Isozaki así como su tonalidad nos ha llevado a contactar y visitar empresas especializadas no sólo en España sino en toda Europa. Para las fachadas de piedra ventilada, el objetivo era una piedra mate de tonalidad verdosa.

Se valoraron diferentes tipos de piedra, desestimando finalmente piedras pizarrosas y cuarcitas por su fragilidad ante la exfoliación, y se optó por un granito de gran resistencia y durabilidad. La búsqueda de la piedra idónea ha sido también extensa, analizando muestras y canteras de todo el mundo, y que ha dado como resultado la selección de un granito de origen asiático.

*Muestras de ladrillos caravista para fachada*





## Arquitectura

Las necesidades y requisitos de un proyecto de esta envergadura no constan siempre de variables fijas, por lo que su desarrollo debe conjugar el normal devenir de cualquier proyecto con la capacidad y flexibilidad suficiente para estudiar nuevos espacios, configuraciones, y usos.

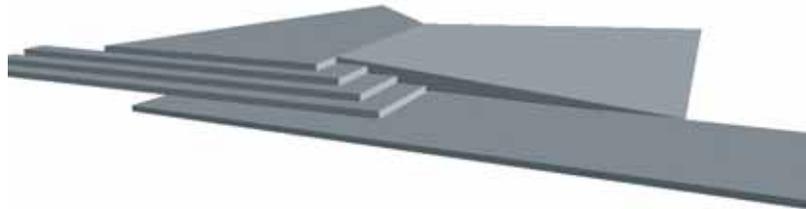
*Detalle de pilares de puente*



*Detalles de rampa peatonal*



*Diseños para rampa peatonal*



*Estudios sobre centro comercial*



# 4.

relación de Colaboradores

## Equipo técnico de la obra

### 4.1. Vizcaína de Edificaciones

Juan Luis Pereira  
Director General de Ibaibide

Elena Iráculis  
Arquitecto Técnico

José Bilbao  
Encargado

Antón Ruiz  
Encargado

José M<sup>a</sup> Romo  
Supervisor de derribos

Luis Arroyo  
Colaborador

### 4.2. Equipo técnico de obra (Dragados - Fonorte)

Eduardo Galnares  
Jefe de obra. Ingeniero C.C. y P

Stephane Perrot  
Jefe de producción. Ingeniero Industrial

Fernando Arregui  
Jefe de producción. Ingeniero Técnico Industrial

Ramón Ruiz  
Jefe Oficina Técnica. Ingeniero Industrial

Aitor del Pozo  
Jefe Administrativo. Licenciado en Admon. y Dirección de empresas

Jesús García Lanza  
Oficina Técnica. Ingeniero Técnico Industrial

Javier Revenga  
Técnico prevención. T.S.P.R.L

Manuel Campo  
Encargado

Santiago Barral  
Encargado

Juan Maiz  
Encargado

#### 4.3. Estudio de arquitectura Arata Isozaki

Yasuyori Yada  
Integrated Design Associates

Jin Hidaka

Naoki Oyawa

Yasumi Taketomi

Toshiaki Tange

Núria Puig

Rafaell Vall

Yashihide Kobanawa

Marcel Bilurbina

#### 4.4. Estudio de arquitectura I. Aurrekoetxea & Bazkideak

Iñaki Aurrekoetxea  
Arquitecto Director

Nerea Aspiazu  
Arquitecto

Daniel Azpitarte  
Arquitecto

Josep Egea  
Arquitecto

Monica Gaztelu  
Arquitecto

Ignacio Lera  
Arquitecto

Cesar Llaguno  
Arquitecto

Fernando Martín  
Delineante

Iñaki Peralta  
Delineante

#### 4.5. Consultoría de estructuras y dirección de obras Brufau, Obiol, Moya & Ass. S.L.

Robert Brufau  
Dr. Arquitecto

Diego Martín  
Arquitecto

Guillem Baraut  
Ingeniero C.C. y P.

Eduardo Peñalosa  
Arquitecto

Marc Gual  
Arquitecto

Santos Valladolid  
Ingeniero C.C. y P.

Luis Ernesto Gómez  
Arquitecto

Lidia Martín  
Arquitecta

Pere Vidal  
Becario de Arquitectura

Gerard Claveria  
Becario de Arquitectura

Ainara Hernández  
Becaria de Arquitectura

# 5.

## glosario

# Términos constructivos

## Glosario de términos constructivos en elementos estructurales

### Comportamiento estructural

#### Solicitaciones

Esfuerzos que inciden en cada uno de los elementos de una estructura.

#### Comportamiento laminar

Comportamiento de un elemento estructural cuya geometría se asemeja más a la de una superficie que a la de un elemento lineal.

#### Rigidez

Oposición de un elemento estructural contra las fuerzas que tienden a deformarlo. Establece la relación entre los esfuerzos con las deformaciones que estos producen.

#### Estado de cargas

Concreción del peso de la estructura, de todos los elementos constructivos, de las sobrecargas funcionales debidas al propio uso del edificio, así como del viento incidente sobre las fachadas o de cualquier otra situación singular.

#### Modelización

Proceso de síntesis que permite pasar de una realidad constructiva a una maqueta simplificada para evaluar las solicitaciones de todos los elementos de la estructura.

#### Esfuerzos, Diagramas

Respuesta de un elemento estructural a las solicitaciones.

#### Coefficiente de seguridad

Relación entre el límite de rotura de un material o elemento y la situación real o de servicio.

#### Zuncho, Efecto de zunchado

Elemento perimetral de atado. Es un efecto favorable que se produce cuando un elemento es "enfajado" en su perímetro. Se aplica para mejorar la capacidad resistente de pilares y forjados.

#### Retracción

Reducción de volumen del hormigón debido a la pérdida de agua por evaporación durante el proceso de endurecimiento.

#### Tracción, Compresión

Son esfuerzos axiales que actúan en la dirección del eje de un elemento o perpendicularmente a su sección. Pueden ser de compresión cuando las fuerzas tienden a aproximarse, o de tracción cuando las fuerzas tienden a alejarse.

#### Cortante, Punzonamiento

Son esfuerzos transversales que actúan perpendicularmente al eje del elemento, intentando cortarlo en una sección vertical u oblicua. En el punzonamiento el corte se produce concéntricamente con el pilar.

#### Flexión

Esfuerzo de giro perpendicular a las secciones de una barra, cuyos efectos producen la curvatura del eje de ésta.

#### Torsión

Esfuerzo de giro transversal que se produce en una sección perpendicular al eje de la barra.

#### Principio acción-reacción

Respuesta de un elemento frente a una fuerza. Es de la misma intensidad, y tiene la misma dirección, pero sentido contrario.

#### Inercia

Propiedad de oposición de un elemento a ser deformado por un esfuerzo de giro.

#### Flecha

Deformación de un elemento de la estructura. Normalmente se refiere al movimiento vertical de una viga.

#### Monolitismo

Característica que garantiza un comportamiento unitario y solidario de diferentes elementos estructurales.

#### Rotura

Límite de resistencia de un material o elemento estructural.

#### En servicio

Estado de trabajo resistente de un elemento estructural durante su vida útil.

#### Frecuencia de vibración

Período de oscilación de una estructura sometida a cargas dinámicas.

## Materiales

---

### Mortero

Conglomerado formado por arena, agua y cemento.

### Hormigón

Conglomerado de mayor resistencia formado por agua, arena, grava y cemento.

### Cemento

Polvo gris proveniente de la cocción de diferentes materiales y que endurece en contacto con el agua.

### Acero laminado

Acero conformado proveniente de una laminación que le da sus formas características en H, I, etc... Generalmente utilizado para vigas o pilares.

### Acero corrugado

Barra de acero con estrías para mejorar su adherencia. Forman el refuerzo del hormigón armado.

### Aceros especiales

Aceros de alta resistencia utilizados para la fabricación de cables, tornillos o elementos singulares.

## Cimentación

---

### Nivel freático

Nivel del agua estable acumulada en el subsuelo. Suele mantenerse con pequeñas oscilaciones a lo largo del tiempo.

### Rasante de la calle

Nivel del pavimento de la calle.

### Anclajes al terreno

Fijación al terreno mediante una perforación donde se disponen cables o barras para la estabilización de muros de contención o pantallas.

### Cimentación

Conjunto de elementos que realizan la transición de la estructura del edificio hacia el terreno. Puede ser superficial o profunda de manera que se adecuen de la mejor manera al comportamiento del sistema formado entre el terreno y la estructura.

### Zapatas rígidas o flexibles

Elementos de cimentación superficial. Según sus proporciones se denominan rígidas o flexibles intentando acomodar su comportamiento al terreno en el que se apoyan.

### Roca marga

Roca de origen sedimentario consecuencia de la compactación de las arcillas.

### Muro-pantalla

Muro de contención ejecutado en el terreno previamente a la excavación de los sótanos. Su equilibrio se basa en aprovechar la reacción del suelo producida en su empotramiento. En algunos casos es necesaria la ayuda de anclajes al terreno.

### Pilotes, pilotaje

Tipo de cimentación profunda formada por elementos lineales de hormigón acero o madera, que transmite las cargas del edificio desde el nacimiento de los pilares hasta el estrato resistente del terreno.

### Excavación por damas

Ejecución a partir de un esquema en damero, siguiendo la modulación en un orden alterno para evitar posibles derrumbamientos durante su ejecución.

### Subpresión, empuje hidrostático

Efecto producido por el Principio de Arquímedes que sucede en edificios donde el último sótano está por debajo del nivel freático. El agua del subsuelo tiende a empujar el edificio hacia arriba.

### Losa de subpresión

Elemento estructural que hace de "fondo del barco" y que se opone al empuje del agua debido a la subpresión, aportando estabilidad.

### Rebosadero o pozo surgente

Nivel a partir del cual se achica el agua del nivel freático de manera que se pueda cuantificar y controlar la magnitud del empuje hidrostático.

### Encepado

Elemento de transición entre los soportes del edificio y los pilotes. Es parecido a una zapata y une los grupos de pilotes de soporte de un pilar.

## Soportes

---

### Núcleo

Elemento de soporte principal de una torre, diseñado para aportar rigidez a su estructura. Está formado por un conjunto de muros y pilares unidos monolíticamente entre sí.

### Pilares

Elementos lineales de soporte. Generalmente son verticales y trabajan mayoritariamente a compresión.

### Junta de dilatación

Discontinuidad de una estructura que permite la libre dilatación de la misma. Está condicionada por la separación entre los soportes más extremos de una estructura. Puede ser mediante doble pilar o bien mediante apoyo en diente o pasadores metálicos.

### Apoyo deslizante, neoprenos

Apoyo de un elemento estructural sobre un mecanismo que permite un cierto desplazamiento o giro en una o varias direcciones. El caso más sencillo el que produce la unión mediante placas de neopreno.

### Placa base de pilares metálicos

Mecanismo de arranque de un pilar metálico, bien sea sobre la cimentación o sobre otro elemento de hormigón.

### Nudo rígido

Mecanismo de enlace entre elementos diferentes que no permite ni el giro ni el desplazamiento relativo entre ambas.

## Forjados y jácenas

---

### Losa

Forjado plano formado por una placa maciza de hormigón armado en dos direcciones. En algunos casos puede estar aligerada con casetones como es el caso de los forjados reticulares.

### Luz estructural - Luz de vano

Separación entre apoyos contiguos de una estructura.

### Jácena

Elemento lineal horizontal. Viga principal que soporta otras vigas o viguetas secundarias. Pueden ser planas (embebidas dentro del espesor del forjado) o bien de canto (con descuelgue respecto al forjado).

### Cota

Nivel de acabado de una planta o forjado.

### Forjado unidireccional

Forjado formado por viguetas o nervios que trabajan principalmente en una sola dirección. Estos pueden estar soportados por paredes de carga o por jácenas.

### Vigüeta

Elemento lineal resistente, normalmente prefabricado, que se sitúa a distancias entre 60 y 80 cm, formando el forjado unidireccional.

### Bovedilla o casetón

Elemento de aligeramiento de un forjado. Suele ser de cerámica, de hormigón ligero, de EPS (porexpan) o de plástico.

### Capa de compresión

Capa de entre 5cm y 10cm de espesor, que recubre y protege las bovedillas. Transmite las cargas hasta las viguetas y participa en el trabajo resistente de las viguetas, mejorándolo.

### Eps, poliestireno expandido

Substancia blanca extremadamente ligera utilizada como aislamiento térmico y como elemento de relleno para aligerar el peso propio de la estructura.

### Canto del forjado

Espesor del forjado.

### Apuntalamiento - Puntales

Soporte provisional del encofrado hasta que el hormigón adquiere su resistencia.

### Forjado

Elemento estructural superficial. Es, a la vez, el techo de una planta y el suelo de la siguiente.

### Capitel

Elemento macizo, normalmente embebido en el espesor del forjado, que mejora el monolitismo del conjunto techo-pilar.

### Forjado reticular

Forjado formado por nervios dispuestos en dos direcciones, con capiteles en el encuentro con los pilares.

### Estribos

Zunchos o anillos de acero corrugado dispuestos en jácenas o nervios para soportar los esfuerzos de cortante y torsión.

### Ejecución "in situ"

Al contrario que el prefabricado, ejecutado en una fábrica y transportado hasta la obra, la ejecución "in situ" se realiza en el emplazamiento definitivo del elemento construido.

### Mallazo

Cuadrícula prefabricada de barras de acero corrugado, generalmente para colocar en la capa de compresión de un forjado.

### Chapa colaborante

Chapa ondulada de acero que sirve como encofrado perdido, pero que, a la vez, participa como elemento resistente en la confección de una losa mixta de acero y hormigón.

### Cruceta

Elemento de transición entre un pilar y un forjado. Evita el punzonamiento entre ambos elementos.

### Encofrado

Superficie metálica o de madera que permite dar forma al hormigón hasta que este endurece.

### Voladizo

Distancia desde el último soporte de un elemento estructural hasta su extremo libre.

### Nervio

Generalmente se denomina así a un elemento resistente lineal, ejecutado "in situ", que substituye a las viguetas prefabricadas de un forjado.

## Hormigón postesado

---

### Losa postesada (o de hormigón postesado)

Forjado plano formado por una placa de hormigón armado, que lleva incorporadas armaduras activas que se tensarán en una o dos direcciones una vez el hormigón haya endurecido adecuadamente. La losa puede, o no, estar aligerada con casetones.

### Vaina - ducto

Conducción de acero o plástico que se introduce dentro de la losa o viga postesada para posibilitar el paso de las armaduras activas que posteriormente se tensarán.

### Trompeta - Placa de anclaje

Pieza metálica de fundición que, colocada en los extremos del ducto, sirve para transmitir la fuerza de tensado del tendón al hormigón.

### Anclaje activo-pasivo

El anclaje activo es el extremo del tendón desde el cual se efectúa el tensado. En el caso del pasivo, el extremo que queda embebido dentro del hormigón.

### Enfilado

Proceso de introducción de los cables o tendones dentro de las vainas.

### Tensado

Momento de activación de los tendones efectuado normalmente mediante un gato hidráulico.

### Tendón-Cordón, Armadura activa

Conjunto de cables de acero trenzados que se "activan" mediante un tensado. Si la estructura es el esqueleto soporte del edificio, los tendones dentro del hormigón hacen la función de los músculos.

### Trazado

Disposición geométrica de los cables dentro del hormigón. Generalmente intentan identificar las direcciones de las tracciones máximas del hormigón.

## Varios

---

### Apear

Sostener o desviar la carga de un soporte o pilar vertical mediante un elemento de transición.

### Estructura mixta

Unidad, pieza o conjunto estructural formado por diferentes materiales, generalmente acero y hormigón. De esta manera se consigue que cada material trabaje de manera óptima según sus características.

### Celosía

Conjunto de barras que mediante triangulación constituyen un elemento estructural como, por ejemplo, una cercha.

### Viga-cajón

Viga utilizada para elementos de grandes dimensiones cuya sección tiene la forma de un cajón o tubo rectangular. Pueden ser de acero o de hormigón.

### Refuerzo Estructural

Modificación de un elemento estructural mediante el cambio de sus características geométricas o mecánicas para poder asumir los coeficientes de seguridad requeridos.

### Probeta

Extracción de una muestra de hormigón para evaluar en un laboratorio sus características características.

### Cata

Apertura de un hueco o agujero de inspección para descubrir y conocer elementos ocultos.