

Nueva sede del BBVA en Madrid

La obra civil aplicada a la edificación singular (I)*

José Antonio Martín-Caro Álamo

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Ines Ingenieros Consultores

Damián Javier Terrasa Díaz

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Ines Ingenieros Consultores

María González Fajardo

Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos
Acciona Infraestructuras

Carlos Gustavo Lorente Elvira

Ingeniero Técnico Industrial
Acciona Infraestructuras



Vista aérea

BBVA está construyendo en Madrid su nueva sede corporativa a partir de un proyecto de arquitectura de Herzog & de Meuron dirigido por Ortiz y León Arquitectos. Esta gran obra, que es uno de los mayores proyectos en construcción en Madrid (más de 250.000 m² de superficie construida), se ha implementado en fases: la fase I, totalmente operativa a la fecha, convive con una fase II que continúa en ejecución.

La fase I (tercio este del complejo) se caracteriza porque dos edificios otrora separados por una calle fueron sometidos a grandes transformaciones estructurales para adaptarlos a la nueva arquitectura del proyecto de Herzog & de Meuron que, al mismo tiempo, los reorganiza y los unifica —entre sí y también con la fase II, que se sitúa al oeste de ambos—.

El proyecto lo compone una serie de edificios, calles y jardines lineales que se despliegan como una alfombra que se adapta a la topografía existente, mediante desniveles y zonas con pendientes.

Como consecuencia de esta configuración de espacios, se genera un microclima fresco y húmedo, por lo que cada puesto de trabajo dispone de una “vista al verde”.

El aspecto global de esta gran estructura arquitectónica es, por tanto, el de siete edificios sobre rasante de hormigón postesado (plantas 1^a, 2^a y cubierta) lineales o ‘fingers’ de hasta 160 m de largo, con luces longitudinales de generalmente 16,20 m y transversales descompensadas de 10,10 y 7,20 m, que se conectan entre sí mediante pasarelas transversa-

les. Existen tres sótanos bajo rasante que ocupan la totalidad de la planta de ambas fases. Las plantas sobre rasante albergan los distintos espacios de oficina mientras que los tres sótanos se destinan a aparcamiento y locales de instalaciones. Asimismo, la cubierta es, en gran parte, ajardinada, y en ella se ubican algunas de las instalaciones.

La Fase I: una rehabilitación estructural a gran escala

La adaptación de la fase I, en la que se ha mantenido gran parte de la estructura preexistente —lo que supuso un ahorro con importantes implicaciones medioambientales— introdujo cortes longitudinales en dicha estructura para transformar el volumen de los dos edificios en un solo conjunto de marcado carácter lineal y geometría prismática de poca altura.

* En la ROP de junio se publicará la segunda parte de este reportaje



Fase I: los dos edificios preexistentes en proceso de transformación geométrica



Detalle de las lamas de la fachada

Para conseguir esto último, fue necesario también suplementar los volúmenes resultantes mediante losas de hormigón armado o postesado, horizontales o inclinadas (con vigas invertidas postesadas) completando y “suturando” de este modo las estructuras, hasta conseguir la configuración final integrada con el conjunto de la sede.

Esta rehabilitación estructural a gran escala derivó en soluciones especialmente diseñadas para resolver conexiones de estructuras nuevas a preexistentes (ménsulas metálicas de apoyo a media madera ancladas a forjados preexistentes, pasadores tipo crets, soldaduras, etc.) y para reforzar dichas estructuras por cambios de uso o de configuración (con recrecidos de microhormigón o adhesión de bandas de fibras de carbono).

La nueva configuración arquitectónica no solamente dio lugar a nuevos elementos estructurales, sino también, como ya ha sido mencionado, a

demoliciones de grandes áreas para generar calles interiores o zonas cubiertas diáfanas de gran altura. En este último caso, se daba el caso de pilares que, al perder el arriostramiento a media altura con un forjado demolido, debían ser recrecidos con microhormigón para mejorar su esbeltez, que de lo contrario se veía reducida a aproximadamente la mitad.

La fase II, en cambio, es totalmente nueva, si bien se conecta con la fase I para constituir una única “mini ciudad”. Tanto la conexión entre fases como las juntas interiores de estas se han resuelto disponiendo pasadores de cortante tipo cret.

La Fase II: el Edificio Horizontal (“la Alfombra”) y su plaza circular

La fase II consta de tres estructuras interconectadas: el Edificio Horizontal (la Alfombra), el Vertical (la Vela) y la plaza circular. Cada una de ellas ha requerido tipologías y soluciones estructurales bien diferentes.

Los edificios que configuran el Edificio Horizontal están formados por losas macizas de hormigón armado bajo rasante, cuyo espesor oscila entre 0,30 y 0,50 m en función de las cargas que vayan a soportar. Estas losas se apoyan en una retícula de pilares más o menos uniforme cuya luz máxima llega a 10 m.

Como excepción a lo anterior, podemos citar el noroeste de la planta baja, que al tratarse de la zona del muelle de carga requiere el apeo de pilares en vigas descolgadas (canto total hasta 1,35 m) de hasta 16,2 m de luz, fuertemente postesadas.

La configuración sobre rasante de estos edificios cambia sensiblemente. El esquema estructural transversal de cada uno de los *fingers* se ha resuelto mediante una losa maciza (postesada en su vano mayor, de 10,10 m de luz) de 0,28 m de canto en las plantas 1ª y 2ª, pero de 0,35 m en la cubierta, donde las sobrecargas para equipos de instalaciones son mucho mayores.



Viga upstand postesada en cubierta



Pasarelas peatonales



Cubierta del auditorio

El esquema longitudinal consiste en una serie de vigas postesadas, de tal forma que las vigas situadas en las fachadas tienen un canto total invertido de 0,875 m en plantas 1ª y 2ª, y 1,10 m en planta cubierta. La viga central, en cambio, tiene un canto total descolgado de 0,63 m en las plantas 1ª y 2ª y de 0,70 m en la planta cubierta.

La estructura vertical del bloque de edificios alargados o *fingers* se compone de pilares de hormigón armado, elípticos en su gran mayoría, y de núcleos de comunicación (albergan escaleras, ascensores y patinillos de instalaciones) del mismo material.

Entre los *fingers* se han definido unas pasarelas de comunicación. Existen cuatro por planta y su construcción fue independiente de la de los *fingers*, por lo que se definieron entre juntas de dilatación. Las pasarelas situadas en

las plantas 1ª y 2ª cuelgan mediante una serie de tirantes metálicos de la de planta cubierta, que consta de dos vigas postesadas de canto 1,10 m. También existe otro tipo de pasarelas entre *fingers*, destinadas estas últimas a soportar las lamas de las fachadas sur y norte, en las que una lámina de hormigón armado ubicada en planta 2ª cuelga mediante tirantes de una única viga invertida de planta cubierta (cada tirante quedará oculto detrás de una lama de fachada).

Los *fingers*, que discurren en dirección sur-norte, se funden en el noroeste en un único volumen que alberga un auditorio de planta elíptica (de ejes 30 y 20 m) cuyos suelo y techo (coincidentes con las plantas 1ª y cubierta, respectivamente) son losas postesadas aligeradas de 80 y 60 cm de canto y su cierre lateral, un muro de hormigón armado de casi 9 m de altura. Estos

muros se soportan en pilares separados entre sí hasta 19 m, de forma que actúan como vigas de gran canto.

Para dar visibilidad a la nueva sede del BBVA en la silueta de la capital, la alfombra se recorta hacia el norte siguiendo una forma casi circular. Se genera así una gran plaza de unos cien metros de diámetro alrededor de la cual se disponen ocho escaleras helicoidales (las dos primeras en Fase I y las restantes en Fase II) que comunican la planta baja con la planta segunda en el entorno de dicha plaza exterior.

Estas escaleras helicoidales de hormigón armado no aligerado tienen su cara inferior continua (no “marcan” rellano) por lo que llegan a tener, en la zona central de su tramo, casi 1 m de espesor.

“La Vela”: un edificio emblemático con una estructura singular

La gran plaza circular aloja en su interior una delgada extensión vertical de la alfombra: el edificio “La Vela”, que a finales de 2014 ‘ondeará’ en el *skyline* de Madrid.

Como puede verse en la figura anterior, la plaza y el cuerpo en vertical anclan el conjunto y proporcionan la orientación en el complejo. El cuerpo vertical, además, contribuye a la gran diversidad de espacios y a la riqueza de condiciones de trabajo: en ella se encuentran, entre otras dependencias, oficinas con vistas a la ciudad y a la sierra de Madrid. Sus plantas bajo rasante serán destinadas a instalaciones y albergarán también a la sala de prensa y a dos grandes aljibes.

Este edificio “tipo pantalla” con forma de disco asimétrico, diecinueve plantas



Muros testeros de espesor variable, pilares de fachada y núcleo rígido en una etapa intermedia

sobre rasante, tres sótanos y casi cien metros de altura desde cota de calle, consta de un alzado con forma de disco asimétrico o elipse ligeramente deformada que se trunca en la base (a nivel sótano -1), siendo todo el contorno o “cáscara” de dicho disco un muro de hormigón armado de espesor variable, visto en la mayor parte de su superficie (hacia el interior y en los cantos) y forrado de acero inoxidable en su cara exterior. Las otras dos fachadas (norte y sur) son planas y acristaladas.

Las plantas son rectangulares de ancho constante 16 m y longitud variable en función de la altura a la que se sitúa, entre 82 m en la parte más ancha (plantas 7ª y 8ª) y 37,5 m en la más estrecha (truncamiento inferior de la corona de la elipse deformada).

La estructura del Edificio Vertical o “La Vela” está constituida por los siguientes elementos:

Núcleo rígido

El núcleo rígido es un conjunto de muros de hormigón armado de espesores entre 25 y 50 cm que se combinan formando un cajón o tubo, de sección similar a un rectángulo que tiene sus lados largos ligeramente curvados. Este núcleo es coincidente con el núcleo de comunicaciones verticales, el cual está dispuesto con una ligera excentricidad respecto al eje vertical del alzado de la elipse deformada y también al longitudinal de las plantas.

Corona o anillo

Los muros curvos de espesor variable en los testeros este y oeste —que se

cierran en cubierta formando una bóveda— definen la corona o anillo. El espesor de estos muros curvos es continuamente decreciente desde 1,90 m hasta 0,37 m; este último espesor se mantiene constante en la bóveda asimétrica que corona sobre la planta 21ª.

Forjados

Los forjados hasta la planta 19ª inclusive, en general destinados a oficinas, son losas de hormigón postesado aligerado, eminentemente unidireccionales, de 35 cm de canto salvo en los voladizos, donde el espesor se reduce a 35 o 25 cm.

Estas losas, de 16 m de ancho constante, apoyan en el núcleo rígido central, en los muros curvos extremos y en dos hileras de pilares de fachadas (norte y sur). Estos forjados, además de esa única crujía de 12 m de luz, presentan voladizos al norte y al sur, siendo este último bastante más importante que el primero: hasta 3 m desde ejes de pilares.

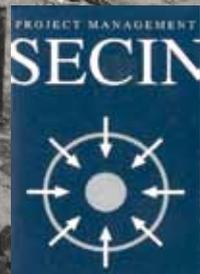
Las plantas 20ª y 21ª, “técnicas” (destinadas a instalaciones y maquinarias) en cambio, no van de “anillo a anillo”, sino que ocupan algo más que el ancho del núcleo de comunicaciones. Estos últimos dos forjados se resolvieron con losas de hormigón armado (no aligeradas) de 25 ó 35 cm de espesor. La planta 20ª, en concreto, es una losa apoyada en el núcleo y sustentada en el extremo occidental por unos perfiles metálicos HEB que cuelgan de la cubierta o bóveda del anillo.

Pilares

Los pilares son de hormigón armado de dimensiones variables, desde 30 x 75 cm² en las plantas inferiores hasta 25 x 35 cm² en las superiores. Se dis-



INGENIERÍA ESTRUCTURAL Ejecución de Estructuras de Hormigón



C/ Alcalá 249, 28027 Madrid
Tel + 00 34 91 323 76 90
Fax + 00 34 91 323 76 94
www.gruposecin.es
secin@gruposecin.es

ponen muy próximos entre sí, concretamente cada 2,4 m entre ejes, en dos hileras coincidentes con las fachadas norte y sur –hileras que distan la una de la otra unos 12 m–.

Sistema de rigidez

La interacción entre el núcleo rígido situado en el interior de la planta y los dos muros curvos de los testeros que forman la corona, unidos a través de los forjados (actuando estos como diafragmas rígidos) configuran un sistema de rigidez suficiente frente a las cargas horizontales, sobre todo las que actúan en la dirección frontal o perpendicular a la fachada de alzado con forma de disco deformado (fachada acristalada). En caso de la acción del viento, esta dirección frontal supone una superficie de incidencia mayor que la lateral o perpendicular a los testeros, actuando sobre una inercia transversal del conjunto (referida al canto de 16 m coincidente con la profundidad de la planta) menor que la inercia longitudinal (referida a un canto de 37,5 m, coincidente con la longitud de la planta en el empotramiento en la base de los muros testeros que forman la corona). Además, este sistema de corona y núcleo rígido mejora enormemente la rigidez a torsión del conjunto, con respecto a la que tendría el núcleo solo, y por tanto también la respuesta de la estructura ante acciones horizontales excéntricas.

Losa de cimentación

El terreno que se sitúa por debajo del edificio, una vez superado el estrato de rellenos antrópicos, presenta una compacidad densa a muy densa y una tensión admisible de 0,45 MPa, por lo que se ha optado por una solución de cimentación directa mediante losa de hormigón armado de canto variable de 4,00 m en la zona central, donde



Losa de cimentación

arranca el núcleo rígido de la torre, y 2,00 m en el perímetro. El cambio de sección se produce fuera de la proyección en planta de la base de la torre mediante un quiebro a 45° que permite adaptar y anclar el armado inferior de la sección de ambos cantos de manera suave sin generar conflictos constructivos o acumulaciones de tensiones por cambios bruscos de sección. La zona central se hormigonó en dos etapas, de 2 m cada una.

El hecho de que la losa tenga un canto de grandes proporciones y que además esté rigidizada por los muros longitudinales y transversales que soportan el anillo, hace que el compor-

tamiento de la losa sea el de una gran zapata rígida.

Postesado longitudinal, control de tracciones en forjados y de apertura del arco invertido

La combinación de los muros del anillo en las plantas inferiores trabajando a compresión, recogidos mediante los forjados –trabajando a tracción desde el núcleo– forma un sistema de bielas y tirantes que funciona como dos grandes ménsulas en voladizo en los que pueden apearse los pilares que quedan fuera de la proyección de la base de la torre en el empotramiento. Según este sistema, el anillo sería una gran biela comprimida de hormigón



Cajetines para tesado longitudinal en plantas 1ª a 4ª y operación de tesado de la planta 1ª



/ Encofrados
/ Soluciones
/ Ingeniería
/ Seguridad
/ Experiencia
/ Servicio

Sede Central Banco BBVA Madrid, España



Viviendas



Equipamientos



Industria y Energía



Infraestructuras de Transporte



Infraestructuras Hidráulicas



Infraestructuras Marítimas

que incrementa los esfuerzos en las plantas inferiores por la acumulación de las cargas de los pilares apeados, y los forjados serían unos tirantes horizontales.

Para la absorción de las tracciones explicadas en el párrafo anterior se planteó un postesado longitudinal mediante tendones de hasta de 31 cordones de 150 mm² de sección, dispuestos en las alineaciones norte y sur de los forjados de planta baja a 7^a. Este postesado garantiza que en cualquiera de las fases de construcción, así como en estado final, el hormigón de estos forjados se mantuviera comprimido para las comprobaciones de Estado Límite de Servicio, y no se superara en ningún caso el valor del axil de fisuración en las comprobaciones de Estado Límite Último. Estas dos premisas permitieron asegurar que el comportamiento en cuanto a distribución de esfuerzos en función de las rigideces no se veía alterado ya que en cualquier caso se mantendrían las secciones brutas.

Antes y después de cada paso relacionado con lo arriba explicado (hormigonado de un tramo del muro del anillo, ascenso de la trepa, hormigonado de forjado, tesado longitudinal, etc.) se realizaba una medición topográfica de deformaciones para comprobar que las hipótesis de proyecto tenían su fiel reflejo con lo que se iba obteniendo en la obra.

Arranque de pilares en anillo o corona
El alzado de este edificio, con forma de disco truncado, dio lugar a que una veintena de pilares tuvieran que nacer en el anillo curvo o corona, es decir, de una superficie inclinada previamente hormigonada. Este hecho, además de motivar un análisis teórico para conocer los efectos locales derivados



José Antonio Martín-Caro Álamo



Damián Javier Terrasa Díaz



María González Fajardo



Carlos Gustavo Lorente Elvira

(armando y dimensionando convenientemente para evitar, por supuesto, el deslizamiento del pilar por una superficie inclinada) condujo a buscar una solución en obra por el problema añadido que representaba que el anillo se realizara con encofrado trepan-te. Siendo así, no existía la posibilidad de dejar las esperas de los pilares de manera tradicional, resultando necesario dejar unas vainas corrugadas para obtener un cáliz típico de los pilares prefabricados. Cabe destacar que otras soluciones con pilares prefabricados tuvieron que ser desechadas por requerimientos arquitectónicos respecto a los acabados.

Escaleras laterales

Otra singularidad arquitectónica que tuvo su consiguiente solución estructural la constituían las escaleras laterales

de hormigón armado, oeste y este, que no ascienden en una única vertical – como la central, que lo hace dentro de uno de los huecos del núcleo y por tanto es mucho más convencional– sino que van siguiendo el mismo alzado curvo de los muros testers, adosándose a estos cada dos plantas y alejándose de estos en plantas intercaladas.

Para dar soporte a los tramos más desfavorables (con más metros de hueco debajo) de estas losas macizas ‘paralelas’ a los dos muros curvos –pero que no apoyan en estos, sino que vuelan de forjado a forjado– se proyectaron sistemas de apuntalamiento especiales, e incluso plataformas provisionales jabalconadas a los muros curvos (a la vez que ancladas a estos mismos muros a cota superior). **ROP**