

TORRES BLANCAS Y LAS FIGURAS DE SAENZ DE OIZA Y FERNÁNDEZ CASADO

I. SÁENZ DE OIZA. ARQUITECTO

Francisco Javier Sáenz de Oiza es uno de los grandes arquitectos españoles del siglo XX como se puede comprobar en cualquier manual de arquitectura que se refiere a esa época. Pero creo que su importancia no se debe solo a las grandes obras que hizo, que son muchas, sino también a la influencia que ha tenido en los arquitectos de su generación y de las posteriores.

Era un arquitecto que enseñaba en la Escuela de arquitectura de la que era profesor, y fuera de ella, porque de él se podía aprender mucho, y no solo los arquitectos, sino todos los que nos dedicamos al oficio de la construcción.

Dos de sus obras más importantes son las Torres Blancas y el edificio de Banco de Bilbao, ambos en Madrid, y a ellos voy a dedicar la mayor parte de este trabajo, pero antes quiero hablarles de la personalidad de Sáenz de Oiza, al que conocí poco personalmente, pero estuve con él en varias reuniones con motivo de diferentes proyectos, porque le gustaba iniciarlos con la colaboración de todas las partes que debían intervenir en él. Recuerdo especialmente las conversaciones sobre el edificio del Banco de Bilbao donde, como veremos, la estructura resistente tenía especial importancia porque estaba situado sobre los túneles de los enlaces ferroviarios de Madrid.

Era una persona de una gran cultura, con una extraordinaria curiosidad y apasionamiento por todos los órdenes del conocimiento. Lo mismo se podía pasar un largo rato hablando de algún detalle de un coche, de los que sabía mucho, que del esquema orgánico de un ser vivo, y todo le servía para aplicarlo a la arquitectura. Era una persona extraordinariamente brillante en sus planteamientos y muy apasionado, lo que le llevaba a veces a duras polémicas.

Pero a pesar de ser una persona que le gustaba hacer discursos sobre diversos temas, sabía escuchar y aceptar las opiniones de los demás. Recuerdo las conversaciones sobre el Banco de Bilbao y sobre algún otro concurso de proyectos donde colaboramos con él, como momentos en los que aprendí mucho sobre el arte de construir. De la arquitectura le interesaba todo, incluidas las estructuras. Decía que este

interés se debía en parte a que tenía hermanos ingenieros de caminos. Dentro de las estructuras le interesó especialmente el hormigón armado, aunque exploró campos diferentes de la arquitectura y por ello utilizó diferentes materiales. Destacamos entre sus obras de hormigón la basílica de la Merced en Madrid, Torres Blancas, y el museo Oteiza en Alzuza, Navarra.

Creo que las siguientes palabras del arquitecto Rafael Moneo, que fue discípulo suyo, definen bien la personalidad y la trascendencia de Sáenz de Oiza:

“Oiza fue un maestro en el más amplio sentido de la palabra: nos enseñó a ser arquitectos, haciéndonos compartir sus conocimientos pero también mostrándonos cómo entendía que se debía ejercer la profesión. Inteligencia y pasión definían su persona. Su magisterio es indispensable para entender lo que ha sido la Arquitectura Española en la segunda mitad del siglo XX”

No voy a hacer un estudio de la arquitectura de Sáenz de Oiza que es muy extensa, sino únicamente mostrarles algunas obras de las que hizo a lo largo de su vida, y que creo que reflejan bien su personalidad como arquitecto. Su curiosidad e interés por todo le llevó a explorar opciones muy diferentes en la arquitectura, arriesgando mucho en ocasiones, lo que hace que algunas de sus obras hayan sido polémicas.

Un buen ejemplo de esa diversidad de posibilidades que exploraba y manejaba nos la dan las dos obras que hemos mencionado: Torres Blancas y el Banco de Bilbao, dos edificios altos, con planteamientos radicalmente diferentes.

Vamos a pasar una breve revista a algunas de sus obras más características.

Empezamos por el Santuario de Aránzazu en Oñate, Guipúzcoa, iniciada en 1950, una iglesia de grandes dimensiones construida en el mismo lugar de anteriores santuarios, que hizo en colaboración con el arquitecto Luis Laorga, y en la que intervino el escultor Jorge Oteiza y el pintor Lucio Muñoz; en las puertas intervino Eduardo Chillida.

A la potencia de la arquitectura del nuevo santuario se sumó uno de los conjuntos de esculturas más importantes de Oteiza, y por ello uno de los más importantes de la escultura española del siglo XX; el friso de los apóstoles y la Dolorosa, situados en la fachada principal. La obra estuvo parada durante 15 años, porque las autoridades eclesiásticas no aceptaron “el extravío por las corrientes modernistas” (palabras textuales de dictamen eclesiástico) que habían sufrido los autores. Los apóstoles de Oteiza estuvieron tirados por los alrededores hasta que se levantó la prohibición y se autorizó colocarlos en su sitio.

La relación de Oiza con Oteiza se mantuvo a lo largo del tiempo. La compleja personalidad de Oteiza, también gran conversador y polemista, dio lugar a un buen entendimiento entre ellos. Incluso se ha hecho este año una exposición en San Sebastián sobre la relación creativa entre los dos artistas.

Su última colaboración fue en los años 90, el museo Oteiza en Alzuza, cerca de Pamplona, extensión de la casa taller donde vivía el escultor, un antiguo caserío al que se le añadió un cuerpo paralelepípedo al que se adosan otros volúmenes de geometría análoga. Se consiguió una buena armonía entre el antiguo caserío y el nuevo edificio en claro contraste.

Pienso que este museo es una de sus mejores obras, en el que, igual que en Torres Blancas, ha utilizado el hormigón como material expresivo, tanto en exteriores como en interiores, aunque en este caso utiliza paramentos planos con aristas marcadas, en contraste con las Torres Blancas, donde no hay aristas.

La estructura está formada por dobles pantallas de hormigón armado de 20 cm de espesor, con un núcleo central de 5 centímetros de poliuretano, y losas continuas de hormigón de 35 cm de espesor. El hormigón está teñido con óxidos metálicos para conseguir un color análogo al del acero corten, que a Oiza le gustaba mucho y por ello lo utilizó en varias de sus obras, especialmente en todo el cerramiento exterior del Banco de Bilbao.

En algunas de sus obras buscó geometrías sencillas y rotundas. Prueba de ello es la Torre Triana en la Expo de Sevilla, un edificio de planta circular de gran envergadura, hoy sede de la Junta de Andalucía.

Otro edificio de geometría rotunda es el edificio central de los recintos feriales de Madrid. En él utilizó la configuración del Palacio de Carlos V de Granada, con una planta exterior cuadrada y un gran patio circular central. Creo que es otra de sus mejores obras.

Por último nos vamos a referir a una de sus obras de mayor tamaño, el bloque de viviendas de la M-30, un gran bloque curvilíneo de viviendas, enroscado sobre sí mismo, con más de seiscientos metros de longitud. Esta idea provenía del Plan General de Madrid y por ello se convocó un concurso para desarrollar la idea o proponer modificaciones. El único que optó por la solución propuesta por el plan fue Sáenz de Oiza creando este enorme edificio volcado al interior, con un muro externo perforado por las ventanas. El planteamiento inicial dio lugar a una obra difícil y arriesgada que creo que Oiza resolvió con su buen hacer acreditado en tantas obras.

II. CARLOS FERNÁNDEZ CASADO INGENIERO

Del ingeniero Carlos Fernández Casado hablamos ayer. Por ello hoy solo me voy a referir a un aspecto de su actividad profesional que no mencioné: su trabajo en estructuras de edificios y su colaboración con arquitectos en algunos proyectos.

Como dijimos, una gran parte de su actividad profesional la desarrolló en la empresa constructora Huarte y Compañía, y en ella la mayor parte del trabajo consistía en proyectar estructuras de los edificios que tenían que construir. Muchos concursos los ganaban cambiando la estructura, haciéndola más económica. Hay que tener en cuenta que en la posguerra había poco trabajo, y la mayor parte consistía en la construcción de edificios. A esta labor que le ocupó una gran parte de su vida profesional se debe el libro de Estructuras de Edificios al que ya nos referimos.

Una de las obras que ganaron mejorando la estructura inicial fue el Estadio de Chamartín, hoy llamado Santiago Bernabeu, una estructura de la que estaba orgulloso. Años más tarde hizo la primera ampliación del estadio, la tribuna Este, que también proyectó. Después el estadio ha ido a peor.

Se presentó también a varios concursos con arquitectos. Ayer vimos el estadio de San Mamés, concurso que se ganó con una cubierta de hormigón, que luego se cambió por una metálica. Trabajó en esta obra con los arquitectos José Antonio Domínguez Salazar, Ricardo Magdalena y Carlos de Miguel.

Otra obra en colaboración con el arquitecto José Antonio Domínguez Salazar fue el picadero de Club de Campo, una cubierta colgada hecha mediante piezas de hormigón prefabricadas apoyadas sobre barras de acero, que una vez solidarizadas se pretendían mediante las barras.

El otro aspecto que quiero destacar de Fernández Casado es que fue un ingeniero dedicado fundamentalmente al hormigón, aunque hizo alguna estructura metálica. A Fernández Casado le tocó vivir una época en que los ingenieros se especializaban en un material, creándose compartimentos estancos dentro de la ingeniería, casi aislados unos de otros. Los ingenieros que hacían estructuras de hormigón sabían poco o nada de las estructuras metálicas y viceversa; cada uno defendía su material como único y casi exclusivo, descalificando en ocasiones al otro con una pasión muy alejada de un planteamiento técnico del problema, porque en la ingeniería como en todo saber humano, se termina queriendo lo que mejor se conoce. Buenos ejemplos de esta especialización han sido Maillart, Freyssinet y Finsterwalder del lado del hormigón y

Amman Moisseiff y Steinman del lado del acero. Esta situación se fue superando a lo largo del siglo XX y hoy en día muchos ingenieros utilizan indistintamente ambos materiales. Los que más contribuyeron a superar esa especialización fueron los ingenieros alemanes, y entre ellos cabe destacar a Franz Dischinger y a Fritz Leonhardt.

Fernández Casado fue un ingeniero dedicado al hormigón, y no solo por especialización, sino también por convicción como él mismo dejó claro en algunos de sus escritos. En su artículo de la “Teoría del puente” publicado en la Revista de Ideas Estéticas en 1951, en el apartado de los materiales y la arquitectura dice lo siguiente de las estructuras metálicas:

“El hombre se conforma difícilmente con la Arquitectura metálica. No es posible superar la sensación de desagrado fisiológico que visual y táctilmente recibimos del hierro, demasiado sensible a los cambios de temperatura y cuyas aristas no ocultan que está hecho para desgarrar y cortar. Quizá puede admitirse en forma terminal como dermato-esqueleto de las máquinas, y esta adecuación a los organismos esencialmente dinámicos pone en evidencia su imperfección para lo arquitectónico. Mientras que en las ruinas de la Arquitectura de piedra los sillares conservan su naturaleza y su dignidad, las ruinas de las construcciones metálicas son repelentes, con sus elementos oxidados y retorcidos”.

Está claro que en esa época no era partidario de las estructuras metálicas, ni nunca lo fue de las clásicas estructuras trianguladas hechas a base de perfiles. Aceptó mejor las estructuras de chapas soldadas cuyas formas se asemejan más a las del hormigón armado. Los arcos de San Mamés son buen ejemplo de ello.

Muy diferente es en el mismo artículo su apreciación del hormigón armado:

“El material más reciente y con caracteres verdaderamente nuevos es el hormigón armado. Se ha conseguido reunir en él las cualidades ventajosas desde el punto de vista constructivo de la piedra y del hierro. Dar fibra a la piedra y masa al hierro, según definición de Echegaray. En esta solución de síntesis se logran las formas tradicionales de un modo más simple y se obtienen además otras nuevas. Pero el hormigón armado lleva oculto el artificio del tirante y esto permite realizar no sólo las formas adecuadas, sino todas las falsedades que convengan y especialmente los alardes. La docilidad del modelo, unida al extraordinario mimetismo estructural, dan lugar a que en nuestra relación con este material se haya perdido la norma de lo que debe hacerse. Es una de las tareas más urgentes la revisión de las estructuras de hormigón armado para estudiar el modo de utilizarlas sin falsía, o lo que es lo mismo,

poner en claro sus posibilidades expresivas para traducir valores vivos en la Arquitectura actual”.

Creo que podemos concluir que Fernández Casado no solo era un especialista del hormigón armado y luego del pretensado, sino también un apasionado de este material. La imagen de Echegaray del hormigón.

III. ARQUITECTURA E INGENIERÍA. J.F. SÁENZ DE OIZA, C. FERNÁNDEZ CASADO Y J. MANTEROLA ARMISÉN

Arquitectura e ingeniería son dos profesiones diferentes, aunque proceden de un tronco común, que es la arquitectura según la definía VITRUBIO, o los tratadistas del Renacimiento. Pero como en toda actividad humana, el progreso del conocimiento hace éste cada vez más complejo y obliga a la especialización. El progreso en el arte de construir que se produjo durante la Revolución Industrial, debido a la aparición de nuevos materiales y al origen del conocimiento teórico del comportamiento resistente de las estructuras, llevó a la disociación de las dos profesiones.

Esto no quiere decir que el problema de la estructura resistente aparezca o se potencie con la Revolución Industrial, porque se puede decir que en la arquitectura, la presencia de la estructura resistente ha ido de más a menos. El Pantheon de Roma, las bóvedas del románico o del gótico, o las cúpulas del Renacimiento son básicamente expresión de su estructura resistente. Sin embargo no había un conocimiento científico de su comportamiento; fue fundamentalmente un conocimiento empírico el que permitió llegar a obras tan extraordinarias como las romanas, las románicas y las góticas. Hasta el siglo XX, el conocimiento teórico de las estructuras ha ido por detrás de las realizaciones. Sorprende y produce admiración la audacia y capacidad de empresa de algunos ingenieros del siglo XIX que contaban con unos conocimientos teóricos y unos medios de construcción muy inferiores a las obras que hacían.

Esta pertenencia de la arquitectura y la ingeniería a un tronco común, que es el arte de construir, hace que en muchos casos sean complementarias, y en otros, el límite entre ambas sea difícil de definir. Hay obras de arquitectura que no requieren la intervención de un ingeniero, e igualmente obras de ingeniería que no requieren arquitecto. Sin embargo hay muchas obras donde deben trabajar juntos. No siempre este trabajo en común estará equilibrado, porque la participación de uno y otro estará condicionada por el tipo de obra. En algunos casos el trabajo del ingeniero será secundario respecto del arquitecto y en otros casos será al contrario. Un ingeniero puede

proyectar la estructura resistente de un edificio de viviendas de ocho o diez plantas, pero su incidencia en el conjunto de la obra será mínima. Por otro lado un arquitecto puede intervenir en el proyecto de una presa, pero su intervención en el proyecto será secundaria, si bien puede ser importante en su fisonomía final. Esto hace que no sea simétrica la participación del ingeniero en las obras de arquitectura respecto de la del arquitecto en las obras de ingeniería.

La proximidad y complementariedad de ambas profesiones ha dado lugar a roces y polémicas entre ellos, en gran parte por problemas corporativos, es decir, de competencias profesionales, pero también por problemas de identidad de cada profesión. Esta polémica se inició en el siglo XIX con una violencia inusitada; se superó en gran parte a principios del siglo XX, pero hoy en día sigue habiendo conflictos de competencias y de identidad. Como ejemplo de la situación actual de este problema, podemos referirnos a la polémica que se ha producido en los últimos años, por la irrupción de los arquitectos en el campo de los puentes como diseñadores exclusivos, considerando que el fenómeno resistente ha pasado a ser secundario en ellos; el puente se convierte en un objeto de puro diseño; lo mismo da un puente de 20 que de 200 metros de luz; se olvida el factor escala, fundamental en todo fenómeno resistente. Un ejemplo de esta forma de hacer puentes, ha sido el Puente del Milenio de Londres. El proyecto es de un arquitecto, NORMAN FOSTER, y un escultor, ANTHONY CARO. A posteriori intervinieron los ingenieros de *Ove Arup & Partners*; después de inaugurada surgieron en ella serios problemas de vibraciones, que requirieron un refuerzo de la estructura.

Pensamos que siempre ha sido y será una relación compleja la del arquitecto y el ingeniero porque cada uno sabe que donde él es más débil es donde el otro es más fuerte; pero, a pesar de la diferencia de mentalidades, la colaboración entre ambas profesiones actualmente es un hecho generalizado en todas las obras en que resulta necesaria, y además va en aumento, porque la construcción es cada vez más compleja y los equipos multidisciplinares son cada vez más eficaces.

Creo que un caso de colaboración entre ingenieros y arquitectos fructífera fue la que hubo entre Sáenz de Oiza y Fernández Casado. Eran personas diferentes que se apreciaban y respetaban, y por ello la colaboración entre ambos fue fluida.

Su colaboración más importante fue en las Torres Blancas, y en ella debemos incluir a otro ingeniero, Javier Manterola, que fue el que llevó el desarrollo de la estructura. Su participación en toda la evolución de la estructura de las torres que fue

larga y compleja tuvo una influencia determinante en el resultado. Esta relación se prolongó en el edificio de Banco de Bilbao.

No podemos hablar de Torres Blancas sin citar a otras personas que fueron decisivas en su construcción. Torres Blancas fue una promoción de Hisa, que era la inmobiliaria de la empresa Huarte y Cía, y que dirigía Juan Huarte, un gran experto en todas las facetas del arte, y un auténtico mecenas. Es conocida su relación con Jorge Oteiza, al que ayudó y promocionó en muchas ocasiones. En todo el proceso del proyecto y de la construcción de Torres Blancas estuvo muy presente desde el planteamiento inicial, y participó activamente en él. También es necesario citar a Antonio Payol, el jefe de obra, cuya actuación fue fundamental en la ejecución de una obra tan compleja e innovadora.

La construcción de la torre, en la que intervinieron todas las personas citadas, planteó dificultades, especialmente en la resolución de los encofrados, porque tenían formas muy diversas; y de las cimbras, porque se planteaban voladizos a gran altura que en algunos casos hubo que resolver con estructuras metálicas especiales.

Las pantallas verticales se hicieron con encofrados trepadores, y los petos con encofrados reutilizables. Hay que tener en cuenta que en los años 60, la industria de los encofrados de todo tipo que existe hoy en día a base de casas especializadas, no se había iniciado. Era todo artesanal. Los pies derechos para apoyar los encofrados de las losas eran todavía rollizos de madera. Todo el encofrado se hizo a base de tabla machihembrada, lo que dio al hormigón la calidad que tiene.

IV. TORRES BLANCAS Y SU ESTRUCTURA

Torres Blancas es un edificio de viviendas, situado en Madrid, en la esquina formada por la Avenida de América y la calle Padre Xifré, que consta de 2 plantas de sótano; 21 plantas dedicadas a pisos normales, dúplex y apartamentos; 1 planta de servicios en la planta 22, y 2 plantas más en la parte superior destinadas a una sede social. En la parte inferior y rodeando a la torre hay un aparcamiento para vehículos.

La altura total de la torre es de 81 m y sus dimensiones en planta pueden asimilarse una superficie de $34 \times 34 \text{ m}^2$.

Cada una de las plantas tiene cuatro viviendas, organizadas alrededor del núcleo de comunicaciones situado en la parte central de la torre.

En el estudio de la estructura me he basado fundamentalmente en los artículos que publicaron sobre ella Carlos Fernández Casado y Javier Manterola Armisen, autores de la estructura.

El edificio de Torres Blancas es una de las expresiones más acabadas de lo que significa el hormigón armado en la arquitectura. Prueba de ello es que se ha utilizado con frecuencia como imagen de este material. Creo que Sáenz de Oiza ha sabido obtener del hormigón un valor expresivo comparable al de los puentes de Robert Maillart, los hangares de Orly de Freyssinet, los hangares de Orvieto de Nervi, o las láminas de Félix Candela y Eduardo Torroja.

En este edificio está clara desde su origen la idea de torre; no ha sido nunca una ampliación vertical de un edificio de viviendas. Sus lienzos verticales alternados con las aperturas entre ellos donde destacan las líneas horizontales de los balcones, afirman este carácter de torre, rematada con los discos de cabeza.

En la concreción geométrica de la planta se utilizaron como elementos básicos el círculo y el rectángulo cuya combinación con su distribución funcional dio lugar a una geometría compleja. En ella se han replanteado de modo original todos los problemas de una torre de estas características, entre los cuales uno de los fundamentales es el de la estructura resistente que se ha planteado de forma radical, utilizando el hormigón armado en todos los elementos que forman el edificio, losas, tabiques y cerramiento exterior, que se utilizan como estructura resistente. Los cerramientos de fachada se convierten en lienzos rectangulares de toda la altura del edificio, y parte de los tabiques interiores se convierten en diafragmas de hormigón armado que soportan las losas de las distintas plantas del edificio. No existe en parte alguna de este edificio la clásica estructura en esqueleto de vigas y pilares.

El tratamiento en tres dimensiones del edificio, concebido como volúmenes no desintegrados en plantas y alzados, ha permitido una independencia total en la estructuración de vanos y macizos. Huecos y macizos se han dispuesto en superficies independientes, y por un lado tenemos amplios vanos en las zonas abiertas, y por otro, paramentos ciegos de arriba abajo perfectamente adecuados para transformarse en elementos resistentes.

Tenemos así, por la simple materialización de la estructura de aislamiento del exterior, un primer sistema de elementos sustentantes en los lienzos verticales de fachada, que son como gigantescos perfiles con sección en L y bordes revueltos para

acentuar su rigidez. Hay dos diafragmas por vivienda, es decir, ocho en total, que sobresalen en el conjunto de la torre.

Estos diafragmas se enlazan entre sí por el festoneado de las losas que delimitan en cada planta los bordes de las zonas abiertas, donde los pretilos de las terrazas se incorporan también a la estructura resistente contribuyendo como vigas-balcón al soporte de dichas terrazas, reforzando sus bordes y disminuyendo su flexión al transmitir directamente parte de las cargas a los pilares primarios.

La estructura así conseguida en el contorno, se completa en el centro con los cilindros generados por las circulaciones verticales: una caja central de escalera y tres cajas de ascensores.

Intermedio entre los dos sistemas están los elementos de compartimentación interna: los tabiques que subdividen en cuatro viviendas la planta total, y otros dos de subdivisión dentro de cada piso, que forman pantallas verticales resistentes en toda la altura del edificio.

También se utilizan como pilares los cilindros que alojan el transporte vertical de líquidos, gases y sólidos y los tubos monta-comidas y de bajada de basuras.

A esta estructuración vertical se suman los pilares situados en los bordes de las terrazas que son cilindros macizos rematados con capiteles troncocónicos para mejorar su función de soporte de las cargas de las terrazas.

La estructura horizontal se resuelve mediante la materialización de los planos de los pisos, que son diferentes según que las plantas sean simples, dúplex o apartamentos. Su traspaso a estructura resistente ha sido el más simple en idea y el más complejo en su estudio: losa de espesor constante, que, además de transmitir las cargas a pilares, los arriostran entre sí.

IV.1. Descripción de la estructura

Vamos a describir ahora con más detalle la estructura, analizando su forma de trabajo y el proceso de cálculo. Separamos en esta descripción la organización vertical y la organización horizontal de la estructura.

Estructura vertical. La organización de pantallas resistentes situadas en la periferia, en el núcleo y en la zona intermedia, da lugar a una estructura superabundante, lo que permite a las pantallas adecuarse mejor a su doble función resistente: soportar las cargas verticales que les transmiten los pisos, y resistir la flexión correspondiente a la acción del viento. Esta acción afecta a cada pantalla, en la proporción de su rigidez a la

del conjunto, y, dado el gran número de pantallas, la flexión que corresponde a cada una es reducida. Tienen que resistir además la flexión por efecto del entramado múltiple, pero es de tipo antimétrico en cada altura y no se acumula de piso a piso. Por consiguiente, la flexión no resulta un esfuerzo determinante, sino que es la carga vertical la acción más importante en las pantallas. Éstas tienen plegamientos en los bordes, con una doble finalidad, reducir las tracciones horizontales producidas por la concentración de carga en sus extremos, y aumentar su coeficiente de seguridad al pandeo. Además, desde el punto de vista de las losas, se disminuyen las concentraciones de flexiones y se aumenta el coeficiente de seguridad al punzonamiento.

El edificio tiene 46 pantallas con formas diversas: circulares, U, L, y cerradas sobre sí mismas para constituir pilares, variando sus espesores según su forma y con la altura.

El cálculo de los elementos verticales de la estructura no ha tenido particularidad alguna, pues las cargas verticales quedan bastante definidas y se van repartiendo en cada altura, y las flexiones, que como hemos visto son poco importantes, se determinan con suficiente aproximación.

Su estabilidad se consigue tanto por el arriostramiento que le proporcionan las losas de forjados como por el efecto de su plegamiento.

Las pantallas que corresponden a los balcones se cierran sobre sí mismas hasta convertirse en pilares, con el fin de aumentar la entrada de luz en las viviendas y obtener una rigidez idéntica en todas las direcciones, lo cual es conveniente para las expansiones en voladizo de los balcones.

Estructura horizontal. La organización de la estructura de los forjados tiene, debido a la organización de las pantallas, una distribución de soportes muy alejada de la clásica ordenación de pilares en retícula más o menos rectangular. Por consiguiente, no existen direcciones privilegiadas que especialicen las flexiones concentrando la rigidez superficial en elementos definidos como vigas y forjados. La solución adoptada ha sido la de losa de espesor constante, que valora por igual cualquier dirección de flexión.

A diferencia de la estructura vertical, la horizontal presenta dificultades de estudio por la falta de direccionalidad de las flexiones. Los esfuerzos que solicitan esta losa dependen casi exclusivamente, de las cargas verticales que actúan sobre los pisos, pues la acción del viento no produce efecto apreciable sobre ella, debido a la enorme rigidez vertical que se obtiene con el gran número de pantallas existentes, cosa que no

ocurre en las estructuras corrientes de pilares. Por consiguiente, la conformación de la estructura horizontal viene condicionada únicamente por las cargas verticales.

En las losas de pisos normales y dúplex se pueden distinguir, dentro de su aparente complejidad, tres zonas, que ocupan casi la totalidad de la planta, en donde el trabajo resistente se simplifica bastante:

En primer lugar está la parte central que rodea a la escalera principal y está circundada por las pantallas de ascensores y la escalera de servicio: Su forma semicircular organiza su trabajo resistente a la manera de las losas circulares empotradas en su contorno y huecos en el centro, lo que produce predominantemente flexiones radiales. Flexiones circulares se producen solamente en la parte interior no apoyada.

En segundo lugar tenemos los voladizos que constituyen las terrazas. Desde el punto de vista cuantitativo, las flexiones que producen son mucho mayores que las del resto de la planta. Por ello se le ha dado rigidez a flexión al pilar, con el fin de evitar que las flexiones que produce el voladizo afecten a la losa interior del edificio. Desde este punto de vista, el balcón no es sino una expansión de pilar.

Con respecto al voladizo, al no estar situado el apoyo en el centro geométrico de su superficie, la distribución radial de las flexiones es irregular. La concentración de esfuerzos se ha resistido mediante un acartelamiento en forma de capitel sobre el pilar, con la misma forma del balcón, y plegando la losa para formar el peto que a modo de viga flotante transmite parte de la carga por el contorno a aquellas zonas de los balcones que distan menos de los apoyos. Esta disposición produce un incremento de la flexión transversal sobre la pila y permite una más fácil disposición de las armaduras sin separarse demasiado de la dirección de las isostáticas.

Por último tenemos las zonas de piso que se encuentran entre las dos descritas: Se caracterizan por tener contornos más o menos rectangulares con luces de unos 6 m. La armadura es ortogonal en la cara superior e inferior y se adecua bastante bien tanto a la prefabricación de la armadura como a la distribución de las flexiones principales.

La interconexión de estas tres zonas produce estados semejantes a los clásicos de las losas sobre columnas.

Las losas de apartamentos se diferencian de las losas de pisos únicamente en la forma y tamaño de los balcones, permaneciendo constantes las partes interiores. Por un lado encontramos un incremento del vuelo sobre las pantallas. La armadura en retícula

de las plantas normales cambia su dirección en sentido de los momentos principales al aumentar la cuantía de las flexiones.

Debido a la irregularidad, desde el punto de vista geométrico, de la distribución de los apoyos, no se puede hablar de luces en sentido estricto. Diremos que las pantallas tienen una separación entre ellas de unos 3 m en la parte central de la torre y de 5 a 6 en las zonas que constituyen las viviendas. Los voladizos correspondientes a las terrazas son de 4,5 m en las plantas normales y de 2,6 m en los apartamentos.

La losa de 20 cm de espesor se mantiene constante en toda la planta y únicamente se refuerza con un capitel en las zonas de terrazas de las plantas normales.

El cálculo de las losas se ha efectuado a partir del planteamiento resistente expuesto que, como hemos visto, da lugar a losas de formas irregulares, difíciles de asimilar a un cálculo sencillo de losas. Hay que tener en cuenta que esta estructura se hizo en los años 60 del siglo XX, cuando todavía no existían los ordenadores, y por tanto no era posible la utilización de emparrillados que hoy en día hubieran permitido estudiar con mayor precisión las formas irregulares de las losas. No se plantean en esta estructura grandes luces, pero sí muchas dificultades por las irregularidades de la estructura que hemos visto.

Por ello el cálculo numérico se completó con la ejecución de dos modelos reducidos, de mortero armado o microhormigón, que reproducían un cuarto de planta. Las escalas eran 1/20 y 1/10. Para reproducir la influencia de las otras plantas sobre la rigidez de las pantallas se arriostraron las cabezas por una placa metálica en el primero y de hormigón en el segundo.

Se efectuaron mediciones de flechas por medio de flexímetros y deformaciones por bandas extensométricas pegadas en la superficie del microhormigón. Con estas mediciones se pudieron obtener las líneas de nivel de la deformada de la losa y, por tanto, las direcciones principales de flexión y la cuantía de los esfuerzos por medio de las deformaciones.

Una vez conocido el funcionamiento elástico de la estructura se llevaron los modelos hasta la rotura.

La utilización de modelos reducidos para estudiar el comportamiento resistente de determinadas estructuras era un método de trabajo que se utilizó con frecuencia en obras singulares de la primera mitad del siglo XX y parte de la segunda. Hoy en día prácticamente ha desaparecido su uso por la potenciación de los métodos de cálculo mediante ordenador.

Este método era prácticamente obligado para la comprobación de láminas de hormigón de una cierta envergadura, y para la comprobación de las presas bóvedas, que siempre se ensayaban en modelos reducidos. Todas estas estructuras se pueden estudiar hoy en día con precisión suficiente mediante modelos de elementos finitos que en los años 60 y 70 del siglo XX no existían.

IV.2. Estructura de la cabeza superior de la torre

El planteamiento funcional y por ello el de la estructura de la cabeza superior de la torre es completamente distinto del que hemos visto en las plantas de viviendas, porque se buscó crear grandes espacios circulares libres de apoyos para utilizarlos como sede social. Por otro lado, las acciones del viento que han contribuido de manera definitiva a estructurar la torre, dejan aquí de tener importancia por tratarse de su extremo superior.

Estas dos condiciones dieron lugar a un esquema resistente muy diferente. Las pantallas interiores de la torre desaparecen convirtiéndose en apoyos puntuales que se adecuan mejor a la distribución funcional de la sede social. La transición de estas pantallas y pilas se efectúa en la planta 22, destinada a contener las instalaciones de la sede social.

El problema de la estructura radica fundamentalmente en la transmisión de las cargas que produce la materialización de unos espacios circulares, sobre unos apoyos cuya ordenación en planta sigue rigiéndose por la ordenación en los pisos la cual es totalmente independiente de la circular.

El problema se resolvió con la individualización de estos discos de 10 metros de diámetro entre sí, haciendo que en sí mismos se verificase la transmisión de las cargas del techo, por su borde, al suelo y que éste las transmitiese por flexión a los apoyos.

La importancia que en la forma de las plantas normales y de apartamentos tienen los esfuerzos que actúan en ella, se hace aquí definitiva al producirse luces y cargas más importantes; la losa sustentante del suelo tiene forma lenticular, y se organiza interiormente en una serie de nervaduras, determinadas por las cargas que tienen que resistir y por las pantallas donde se tienen que apoyar.

Esta losa se pliega en su contorno hacia arriba para recoger el techo, que, al doblarse hacia abajo, forma con ella una unidad estructural especial. La tapa se aligera al máximo para reducir peso con forma cupular para resistir su peso. La unión entre la tapa y el suelo se va afinando hasta convertirse en una serie de pilares aislados que

crean grandes ventanales para iluminar el local. Dichos pilares se articulan en el centro para reducir, ya que no eliminar, el intercambio de flexiones entresuelo y techo.

Las zonas entre discos se cubren con una losa de hormigón armado que se apoya sobre ellos por medio de articulaciones con la doble misión: arriostrarlos entre sí y evitar la transmisión de flexiones de los discos a las losas que no les ayudarían nada y perjudicarían mucho a las losas.

Existen doce discos de 10 m de diámetro, cuatro situados en la primera planta del núcleo social y ocho en la segunda. La superficie comprendida entre ellos se salva con una losa de 20 cm de espesor.

Cada uno de los discos está formado por una losa nervada en la parte que constituye su suelo y una losa maciza que le sirve de cubierta: ocho de ellos se apoyan en las ocho pantallas exteriores, tres en las interiores y el último en uno de los pilares de 90 cm de diámetro que prolongan los soportes de las plantas.

La parte inferior, nervada, es de espesor variable entre 80 cm y 30 cm. Los nervios tienen una anchura variable de 15 a 50 cm.

En la parte superior de la torre existen una serie de estructuras destinadas a soportar diversas funciones de la torre tales como: una piscina, la maquinaria de ascensores y montaplatos y los conductos de ventilación y calefacción. Todas ellas están formadas por losas de hormigón armado cuya resistencia principal se consigue con la rigidez de forma de los espacios que delimitan.

IV.3. Estructura de zona inferior

La base del edificio se compone de una serie de estructuras adicionales:

Unos muros que rodean el aparcamiento y salvan el desnivel de tierras entre el piso del aparcamiento y la calle. Son muros en L, de espesor variable, cuya altura y espesor máximo llegan a 7 m y 1 m, respectivamente, y la zapata a 4 m. Igual que el resto del edificio el muro es de hormigón armado.

El aparcamiento forma un anillo circular, de 13 m de ancho, rodeando a la torre. El círculo interior es de 17,7 m de radio y el exterior de 30,60 m.

La estructura de su cubierta está constituida por una serie de vigas radiales, de hormigón armado, de 13 m de luz y separación entre sí de 2,6 m, que descansan sobre otras circulares en su contorno, las cuales llevan la carga a los apoyos. Estas vigas perimetrales son continuas sobre los apoyos y tienen luces que oscilan entre 10 y 12 m.

Las dimensiones de las vigas radiales son 1 x 0,3 y las perimetrales de 1 x 0,6 y 2 x 0,6 m.

Cimentación. El terreno sobre el que se apoya la torre es un estrato arenoso muy profundo. Los sondeos efectuados hasta una profundidad de 50 m demostraron la homogeneidad de la arena en esa zona.

La cimentación está formada por una losa, de hormigón armado, de 1 m de espesor, que se extiende en toda la superficie de la torre. Esta losa se recrece a 1,5 m debajo de las pantallas en las partes que están más fuertemente solicitadas por las cargas.

Los pilares del aparcamiento que se encuentran en la parte exterior de la torre se cimentan sobre zapatas rectangulares.

Esta estructura de losa encuentra su razón cualitativa en los mismos criterios que han dado lugar a las losas de pisos y se confirma, desde el punto de vista cuantitativo, por necesitar toda la superficie de la planta para producir tensiones admisibles en el terreno.

Han pasado ya muchos años desde que se construyó el edificio Torres Blancas, una obra extraordinaria del que lo más negativo que en mi opinión se puede decir es que ni son torres ni son blancas. Creo que el nombre se debe a que en principio la inmobiliaria HISA pensaba hacer dos torres iguales y que la primera idea fue hacerlas con hormigón blanco, pero Oiza, en mi opinión con acierto, decidió hacerlas con hormigón normal.

Torres Blancas se terminó en 1969 y por tanto han pasado 41 años desde que se terminó. Pero creo que es una de las grandes obras que se han hecho en nuestro país, y que sigue teniendo el mismo valor de actualidad que cuando se terminó. No ha envejecido. Es una obra que se ve siempre que se entra en Madrid por la carretera de Barcelona, y sigue sorprendiendo por su expresividad y originalidad. Pienso que es una de las obras singulares de la arquitectura española.

V. EDIFICIO BANCO DE BILBAO

Este edificio que construyó el Banco de Bilbao como sede central en Madrid, está situado en la zona comercial de AZCA en el comienzo de la prolongación de la Castellana, dando fachada a esta avenida y en segunda fila a la calle de Raimundo Fernández Villaverde. Tiene 31 pisos por encima del terreno y cuatro por debajo,

encajándose además en las zonas inferiores los locales para instalación de maquinaria y almacenes.

El planteamiento de este edificio, que ganó Sáenz de Oiza en un concurso, es distinto del de Torres Blancas.

Es también un edificio en altura, en el que la estructura, como veremos, tiene también importancia en su conformación, pero no trasciende al exterior. Las líneas exteriores de pilares están retranqueadas respecto del borde del edificio, terminando la estructura de las plantas en voladizo. Su fachada de cristal y acero corten, que tanto le gustaba a Oiza, con las pasarelas exteriores en voladizo, son los que dan la expresión exterior del conjunto.

De la utilización de la estructura de hormigón como elemento expresivo de Torres Blancas, pasamos en el Banco de Bilbao a una estructura interior compleja que no se refleja en la configuración del edificio. Ambas opciones son válidas, y creo que estos dos edificios en altura son de las mejores obras de Javier Sáenz de Oiza.

Pero, como hemos dicho, la estructura tiene especial importancia en este edificio, porque está situado sobre los túneles ferroviarios de enlace entre la estación de Atocha y la de Chamartín, a la salida de la estación de Nuevos Ministerios. Por ello Sáenz de Oiza tuvo claro desde el principio que la estructura resistente era fundamental en el planteamiento arquitectónico del edificio y nos convocó a los ingenieros Javier Manterola y yo para colaborar con él desde las primeras reuniones con los arquitectos que trabajaban con él, para plantear el edificio. El proyecto de la estructura lo desarrolló Javier Manterola.

Los túneles obligaban a cimentar el edificio en sus dos bordes, lo que daba lugar a una luz libre entre zapatas del orden de 20 metros. Esta condición de base requería una estructura singular del edificio, singularidad que se podía resolver con diferentes esquemas resistentes. Se analizaron varias posibilidades, desde hacer un gran pórtico sobre el túnel que soporte una estructura convencional del resto del edificio, hasta la construcción de dos núcleos sobre las cimentaciones, con una estructura resistente en cabeza desde la cual colgar las plantas del edificio, solución análoga a la que se utilizó en las Torres de Colón.

La situación de los núcleos en la planta del edificio permitía utilizarlos para las comunicaciones verticales y los servicios, y además servían de estructuras contra el viento. Con ellos se podía orientar la estructuración horizontal de los pisos en un emparrillado ortogonal que se apoyaba únicamente en los núcleos con dos vigas

principales longitudinales, adosadas a sus costados y vigas transversales completando la retícula volando en las cuatro direcciones para abarcar toda la planta rectangular de la torre. De este modo se suprimían elementos verticales en fachadas e incluso en el interior, ya que el emparrillado podía servir de apoyo de unas vigas secundarias y un forjado sobre ellas.

Repetir esta estructura horizontal en todos los pisos no hubiera sido económico por los cantos necesarios de las vigas entre los núcleos, lo que hubiera dado lugar a una pérdida en la altura útil del edificio. Por ello se llegó a una solución intermedia que consiste en hacer un emparrillado de vigas de hormigón pretensado ortogonales apoyado en los núcleos cada cinco plantas del edificio, sobre el que se apoyaba una estructura convencional metálica ligera de luces reducidas para las cinco plantas situadas sobre la plataforma. De esta forma el edificio se subdivide en una serie de edificios de cinco plantas superpuestos, apoyados sobre los emparrillados de vigas pretensadas de hormigón. Con esta solución se consiguió una fachada sin elementos verticales de estructura, y una gran diafanidad en todas las plantas, porque los pilares soportan cargas únicamente de cinco pisos. Hay que destacar que aparecen unas plantas diáfanas en los pisos inmediatamente debajo de las plataformas de hormigón pretensado, cuyos únicos pilares en toda la planta son los dos núcleos de hormigón donde se alojan las comunicaciones verticales.

Los espacios creados entre las vigas del emparrillado, que tienen 2 metros de canto, se utilizan para servicios y maquinaria del edificio, y esto fue lo que fijó el ritmo de las cinco plantas sobre cada emparrillado.

Es por tanto una estructura donde se utiliza el hormigón y el acero en su estructura resistente. El hormigón es la estructura principal compuesta por los núcleos de hormigón armado y los emparrillados principales de hormigón pretensado que se apoyan en los núcleos, lo que da lugar a luces grandes en una estructura de edificación. Sobre estos emparrillados se apoya una estructura metálica ligera con luces normales de edificación y forjados ligeros como corresponde a un edificio de cinco plantas.

En el proyecto se planteó un proceso de construcción que consistía en prefabricar los emparrillados de las plataformas sustentantes en el suelo y elevarlos mediante gatos y cables hasta su posición definitiva, con lo cual se pueden organizar seis tajos independientes para la ejecución de la estructura metálica. También era posible, debido al reducido peso de la estructura metálica, construir esta estructura también en el suelo sobre su plataforma correspondiente y elevarlos simultáneamente.

El enlace de las vigas pretensadas longitudinales con los núcleos se resolvía mediante un cosido transversal con cables pretensados.

Pero el edificio no se construyó por este sistema porque la obra la ganó la empresa Entrecanales y propuso un cambio del procedimiento de construcción, que fue aceptado porque no alteraba el resultado final del edificio. Este cambio consistió en construirlo de forma tradicional, empezando por el primer emparrillado que se construía in situ, sobre él se montaba la estructura metálica de los cinco pisos siguientes, y sobre ella se encofraba el emparrillado siguiente que se hormigonaba in situ. Una vez pretensado, se dejaba libre, y se seguía el mismo proceso con las siguientes plantas hasta completar el edificio.

V.1. Descripción de la estructura

Vamos a ver por separado la estructura de la zona situada por encima del suelo que es la principal, de la situada por debajo, porque en la superior es donde el edificio tiene una estructura especial, mientras que en la inferior se utiliza toda la planta del solar con una estructura convencional.

La estructura vertical de la torre está constituida por dos núcleos que se elevan hasta la planta 30 y se empotran en las zapatas. Estos dos soportes principales se complementan sobre las plataformas de hormigón pretensado por los pilares metálicos correspondientes a las ordenaciones parciales de las estructuras que se apoyan en las plataformas.

Los núcleos tienen planta rectangular, con los costados más largos perforados por los huecos correspondientes a las salidas de ascensores, y prolongados en los dos sentidos, con lo cual la sección horizontal está constituida por dos dobles T asimétricas inscritas en un rectángulo de 10,5 x 6,3 m con un espesor de 1,0 m en los muros transversales sin huecos y de 0,8 en los longitudinales. El rectángulo interno es de 7,0 x 4,6 m.

Las plataformas principales están constituidas por emparrillados con dos vigas maestras longitudinales con una luz principal de 20 metros que son las que se enlazan los núcleos y otras ocho transversales que forman cuerpo con ellas, con un vano central de 12 m prolongado por voladizos simétricos de 6.3 m.

Las vigas maestras tienen luces principales de 19,6 con dos extremos en voladizo acartelados de 5 m. Tienen una sección doble T de cabezas simétricas con 2,0

de canto, 1,6 de ancho y espesores de 40 cm en alma. Se arman con armadura activa formada por unidades de 150 T tanto las vigas principales como las transversales.

Las vigas transversales también tienen sección doble T con los mismos cantos y disposición acartelada en toda la longitud de los vuelos.

La estructura metálica sobre las plataformas se organiza en pilares de toda la altura, vigas primarias en retícula de 8 x 6,5 m y vigas secundarias con separación de 0,65 m en una sola dirección. Todas son de sección doble T constante en toda la longitud. Las vigas primarias vuelan 3,40 con respecto a los pilares externos, al que se añade un nuevo vuelo 0,50 en todo el contorno que corresponde a la pasarela de circunvalación del edificio por fuera de la fachada.

SÓTANOS Y CIMENTACIÓN

La parte del edificio situada bajo la superficie del terreno está formada por tres plantas destinadas en su mayor parte al aparcamiento de vehículos. Bajo éstas se encuentra el túnel del ferrocarril y a sus lados hay otro sótano que sirve de alojamiento a las instalaciones del edificio.

Para la construcción de estos sótanos se hizo en una pantalla de contorno de hormigón armado de 60 cm de espesor que se ancló provisionalmente al terreno durante el proceso de excavación del solar hasta terminar los forjados que sirven de apoyo a los muros. La excavación se hizo en dos fases. En la primera fase se excavó hasta la parte superior del túnel de ferrocarril. Desde esta altura, y por motivo de seguridad del túnel, se realizó la cimentación de los núcleos resistentes de las torres y la cimentación de una gran plataforma que se dispone a dicha altura para sostener las cargas de los pisos de los sótanos situados sobre él.

Estas cimentaciones se hicieron con cimentación profunda, pilotes o pantallas sobre los que se apoyaron las zapatas que soportan los núcleos de las torres y la plataforma.

En esta fase de la excavación se procedió también al refuerzo del túnel de ferrocarril que era necesario para mantener su estabilidad después de dejar el túnel libre en sus costados al vaciar el solar, lo que cambia su comportamiento resistente.

La plataforma situada encima del túnel tiene una primera finalidad que ya hemos dicho, que es la de sostener las plantas de sótanos del edificio, pero tenía una segunda utilidad y es la de servir de plataforma de trabajo para la construcción de la estructura de hormigón pretensado y de la metálica que constituye la torre propiamente dicha. Al

cambiar el sistema de construcción del edificio solo se utilizó para cambiar el primer emparrillado.

Esta planta está formada por 8 vigas continuas de hormigón pretensado con un ancho de 1 m y canto variable de 1 a 2,2 m. Entre las vigas se dispone un forjado aligerado de 25 cm de espesor.

La disposición de pilares en las plantas de sótanos se hizo con una retícula variable, cuyas dimensiones más normales son 8 x 6,6 m. Estas pilas se apoyan en las vigas pretensadas a las cuales se les fue introduciendo tensión según se fue incrementando la carga en las pilas del sótano.

Los forjados de los pisos están formados por un emparrillado de vigas de 25 cm de espesor.

Estas plantas inferiores salen al exterior, en la parte del solar no ocupada por la torre en una altura de 4 pisos, con lo que las cargas sobre esta parte del túnel llegan a ser importantes.

El edificio del Banco de Bilbao, igual que las Torres Blancas, es uno de los edificios más singulares de Madrid. Es algo más reciente, se terminó en 1972 y por tanto tiene 38 años. Incluido en el conjunto de Azca, donde hay varios edificios altos, creo que destaca entre ellos por su buena arquitectura.