

TORRE DEL AGUA EN LA EXPOSICIÓN INTERNACIONAL ZARAGOZA 2008: UNA COMBINACIÓN INTERESANTE ENTRE ARQUITECTURA Y ESTRUCTURA

Miguel GÓMEZ NAVARRO

Dr. Ingeniero de Caminos
MC-2, Estudio de Ingeniería
Director Técnico
miguel.gomez@mc2.es

Julio MARTÍNEZ CALZÓN

Dr. Ingeniero de Caminos
MC-2, Estudio de Ingeniería
Director
mc2@mc2.es

Resumen

La Torre del Agua es el edificio central de la Exposición Internacional que tendrá lugar en Zaragoza entre Junio y Septiembre de 2008. Este edificio tiene un carácter singular debido a su forma en planta, similar a una gota de agua, y a la dificultad para disponer elementos estructurales, ya que se trata básicamente de un espacio vacío cerrado por una fachada. La estructura de edificio combina una celosía metálica espacial en la fachada con un par de núcleos de hormigón en un trabajo del tipo "tubo en tubo". El trabajo de estos dos sistemas se garantiza mediante las losas que los conectan y las rampas que arriostran la fachada. Completan la estructura unos conjuntos de celosías metálicas que, en dos zonas ubicadas a diferentes alturas, permiten el apoyo en los núcleos de los forjados especiales que ocupan la totalidad del espacio disponible en planta. Estas celosías permitirán así mismo la construcción de unos forjados suplementarios tras la clausura de la Exposición Internacional de cara a la reconversión de la torre en un museo.

Palabras Clave: Arquitectura, Exposición Internacional, Zaragoza 2008, estructura metálica, torres, viento, procesos constructivos, hormigón blanco

1. INTRODUCCIÓN

Entre el 14 de Junio y el 14 de Septiembre está teniendo lugar en Zaragoza una Exposición Internacional con el tema "Agua y desarrollo sostenible". Además de algunos organismos internacionales, cien países y las diversas comunidades autónomas españolas participan en el evento [1, 2]. El edificio central de la Exposición es una torre de 80 m de altura denominada "Torre del Agua" a causa de, por un lado el tema de la Exposición, y por otro, de su forma en planta. Esta forma es similar a una gota de agua, lo que da lugar a un edificio singular que se percibe de un modo muy diferente según el punto de vista (Figura 1).



Figura 1 – Vistas generales de la Torre al final de la construcción desde diferentes puntos de vista

Las muy especiales características arquitectónicas del edificio diseñado por Enrique de Teresa [3], se interrelacionan con gran profundidad con los aspectos estructurales y resistentes, diseñados con el propósito de configurar un sistema muy unitario, capaz de alcanzar de manera muy consistente todos los objetivos propuestos, y en la idea de incrementar la excelencia global de la obra que aporta el alcanzar ese plus de organismo bien trabado y que será apreciado de forma subliminal cuando se complete la Torre. En estas características arquitectónicas ha sido preciso tener en cuenta, desde la fase de concurso, las posteriores modificaciones que se prevén realizar para adaptar la Torre a la situación de utilización post-Expo como espacio cultural o representativo. En consecuencia, se previó ocupar parte del vacío interior que es necesario para el desarrollo del pabellón con nuevas plantas y salas de actos con alturas libres habituales.

2. CONFIGURACIÓN DEL EDIFICIO

El edificio consta de dos zonas bien diferenciadas por su extensión, aspecto externo y configuración interior y funcional. Las plantas situadas por debajo de la cota 207,80 (zócalo), ocupan la totalidad de la parcela de forma trapezoidal y se sitúan parcialmente bajo rasante. Entre la cota 194,50 y la 207,80 se sitúan la solera y 3 plantas del edificio que albergan el aparcamiento, las instalaciones, el acceso al canal de aguas bravas y el acceso al pabellón (Figura 3).

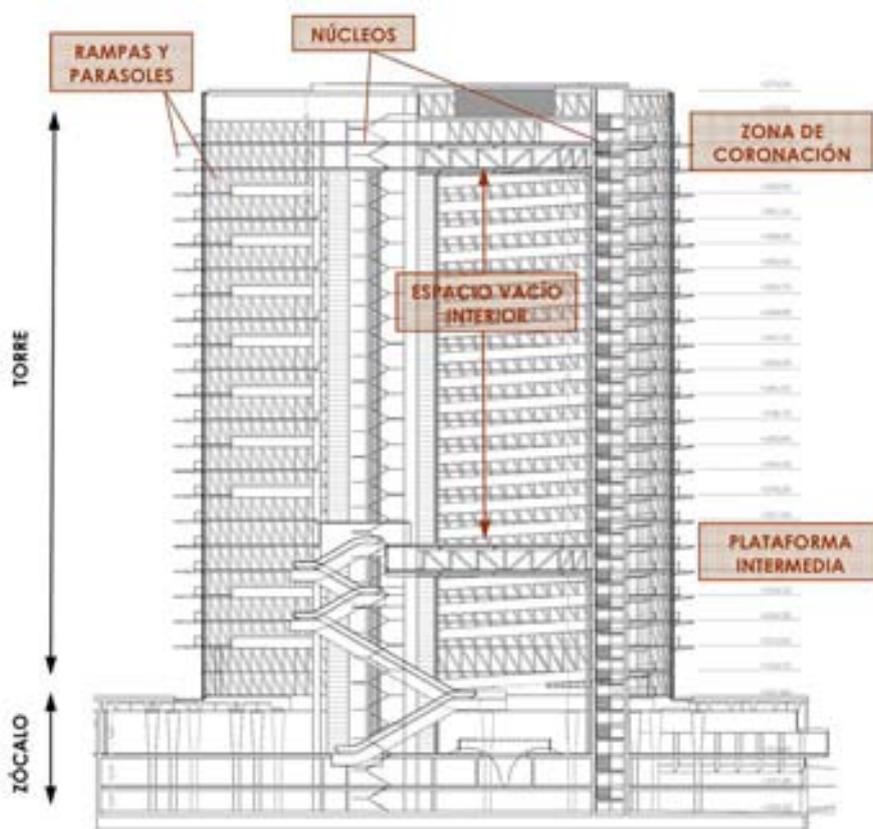


Figura 3 – Distribución de usos en la Torre

Entre las cotas 207,80 y 275,30 se ubica la torre propiamente dicha en la que se desarrolla el programa expositivo. Los dos elementos fundamentales que definen la morfología del edificio son:

- El espacio vacío interior en el que se sitúan los espacios expositivos separados por una plataforma ubicada entre las cotas +221,95 y +224,65
- El conjunto formado por las rampas interiores y los parasoles exteriores que, en la forma de dos helicoides, acompañan a la fachada y marcan el ritmo de las plataformas y plantas del edificio

Por encima de la cota 266,65 se ubican la cafetería con sus cocinas y parte de las instalaciones.

3. CIMENTACIÓN

El edificio se cimenta mediante una losa de canto 1,5 m que ocupa toda la superficie del zócalo y que se apoya en un estrato de gravas situado a escasa profundidad (cota +192,00). Las armaduras pasivas dispuestas en la losa permiten

resistir los esfuerzos de flexión y de punzonamiento que son necesarios para transmitir al terreno del modo más uniforme posible las cargas ejercidas por los soportes y que son especialmente importantes en la zona central del edificio correspondiente a la torre. Los estudios geotécnicos que se realizaron en su momento permitieron validar esta solución que origina unas tensiones medias sobre el terreno de 100 KN/m^2 , con picos máximos de 196 KN/m^2 y un asiento medio de 4 cm.

4. ZÓCALO

Los dos niveles inferiores, situados a las cotas 197,75 y 201,30, se resuelven mediante losas macizas de hormigón armado de carácter convencional. Entre las plantas situadas a las cotas 201,30 y 207,55 se ubica el gran espacio de acceso al Pabellón. Con el fin de crear un espacio apropiado a esta función, se han diseñado unos soportes troncocónicos ejecutados en hormigón blanco que en algunos casos necesita ser de calidad HA-60.

El forjado que remata el zócalo a la cota 207,55 reproduce con un óculo en su parte central el gran espacio vacío que recorre la torre, facilitando la comprensión del edificio y permitiendo la ubicación de las escaleras y ascensores de acceso al mismo. En el perímetro del hueco, aunque ligeramente retranqueado, se materializa el apoyo de la estructura de la fachada que se describe más adelante, siguiendo por tanto una línea no directamente vinculada a la trama de soportes principales del zócalo. Este hecho, junto con los elevados valores de las cargas transmitidas por la torre, hace necesaria la ejecución de un forjado singular, que se resuelve como una losa de hormigón armado nervada con una malla triangular adaptada a la geometría de la parcela. Los nervios tienen un ancho de 0,25 m y un canto de 0,90 m, mientras que la losa superior tiene un espesor 0,25 m. No obstante, en las zonas más próximas al óculo y por tanto afectadas por la transmisión de las potentes cargas de la fachada, el canto de la losa aumenta hasta 0,70 m, disminuyendo por tanto la profundidad de los aligeramientos triangulares y el canto aparente de los nervios. De este modo se potencia el trabajo multidireccional de la losa con una mayor capacidad frente a flexiones flectores negativas y cargas de punzonamiento, teniendo menor incidencia la colaboración de los nervios en esta zona (Figura 4).



Figura 4 – Vista aérea general del forjado durante su ejecución y detalle de los soportes y el remate del óculo

5. CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL DE LA TORRE

Estructuralmente hablando, la torre combina diferentes sistemas en función de las posibilidades determinadas por las formas arquitectónicas y la funcionalidad de los espacios. Básicamente, como se ha dicho la mayor parte del edificio consiste en un gran volumen vacío interior en el que se desarrolla el contenido del Pabellón temático. En consecuencia, la estructura se localiza fundamentalmente en la fachada, que debe resistir tanto las cargas verticales gravitatorias como las cargas horizontales debidas al viento. Esta estructura es una celosía espacial que sigue la forma de la gota de agua y que está arriostrada por la pareja de rampas helicoidales proyectadas en estructura mixta hormigón-acero que recorren la totalidad de la fachada a lo largo de la altura completa de la torre.

La estructura de la fachada se combina igualmente con una pareja de núcleos de hormigón armado cilíndricos, pero con secciones transversales abiertas para permitir el paso hacia el interior en donde se sitúan las escaleras de emergencia. Una pareja de soportes secundarios en hormigón armado completan el conjunto de sistemas estructurales que recogen la totalidad de las cargas verticales y horizontales.

Los dos sistemas estructurales principales (fachada y núcleos) se conectan entre sí por medio de un conjunto de forjados de hormigón armado de 0,25 m de espesor que ocupan únicamente una parte reducida de la superficie en planta de la torre. (Figura 5). Sin embargo, estas reducidas losas, que cumplen la función de descansillos del sistema de rampas, son capaces de garantizar la respuesta combinada de la fachada y los núcleos que es indispensable para resistir las solicitaciones horizontales debidas al viento.

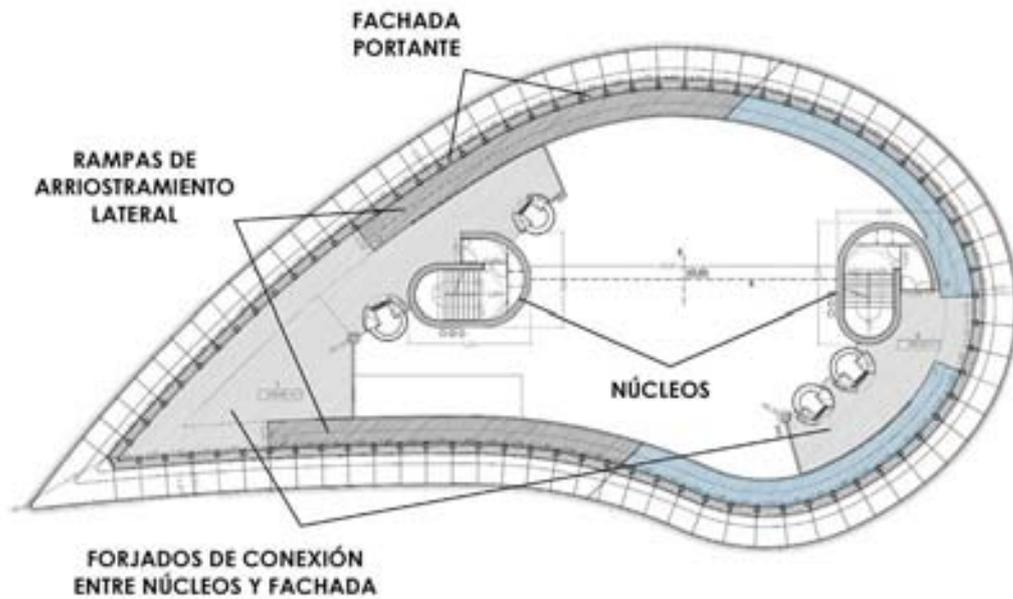


Figura 5 – Esquema en planta con los principales elementos estructurales de la Torre y vistas exteriores e interiores de la fachada y los núcleos durante la construcción, incluyendo las losas de conexión entre ambos

Para resolver las complejas interrelaciones entre los diferentes sistemas estructurales se desarrolló un modelo estructural de elementos finitos global de la torre y la cubierta del zócalo. El principal objetivo de este modelo era evaluar la distribución de las fuerzas de viento, obteniéndose los siguientes resultados:

- el 45 % de las fuerzas son resistidas por la fachada
- el 55 % restante son resistidas por los núcleos

Se llevó a cabo un estudio aerodinámico en un túnel de viento con consideración de la influencia de la capa límite en la Universidad de Ontario Oriental (Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory, University of Western Ontario), Canadá. Los

resultados de este estudio fueron muy importantes de cara al dimensionamiento de la torre a causa de su inusual forma, cuyo comportamiento no era fácil de prever utilizando la información disponible en la literatura sobre coeficientes eólicos. Además de determinar las aceleraciones en la coronación del edificio que permiten garantizar la comodidad de los usuarios de la misma, este estudio permitió obtener toda la información necesaria para diseñar los elementos secundarios que conectan los paneles de vidrio de la fachada.

6. FACHADA ESTRUCTURAL Y RAMPAS INTERNAS

La fachada está formada por una celosía espacial que tiene un esquema geométrico muy regular:

- Soportes verticales a 1,65 m de distancia en los vértices de la poligonal inscrita en la gota de agua
- Elementos horizontales que recorren la misma línea poligonal en planos situados cada 2,80 m, que es la que distancia vertical entre niveles de planta
- Barras diagonales que, teniendo todas la misma orientación, dan lugar a que se perciban largas líneas inclinadas a lo largo de la fachada de la torre que contribuyen de un modo significativo a su aspecto exterior, creando una sensación de movimiento y ligereza

Como se ha indicado previamente, la estructura de la fachada se ha diseñado teniendo en cuenta que las rampas internas tienen capacidad suficiente para arriostrarla y reducir los efectos de la inestabilidad por pandeo. De este modo, la longitud de pandeo se puede reducir hasta los 2,8 m, correspondientes al espacio entre rampas, excepto en la base de la torre en la que una de las dos rampas tiene que ser eliminada por razones de funcionalidad de los accesos del edificio. En estas plantas inferiores la longitud de pandeo aumenta por tanto hasta los 5,6 m, habiendo sido necesario reforzar de modo significativo los perfiles metálicos de los soportes para conseguir mantenerlos en las mismas dimensiones externas que el resto a pesar de tener, además de doble longitud de pandeo, las mayores cargas de compresión del edificio (Figura 7).



Figura 7 – Tramos inferiores de la fachada con doble longitud de pandeo a causa de la eliminación de una de las rampas



Figura 8 – Apoyo elástico de los forjados de descansillo en la fachada a través de las vigas metálicas de la rampa

El forjado mixto de 0,10 m de espesor de las rampas combina por tanto dos funciones estructurales:

- resistir las cargas gravitatorias verticales propias apoyado cada 1,65 m en vigas metálicas en voladizo de canto variable empotradas en la estructura de la fachada
- trabajar como viga plana apoyada en los forjados de hormigón armado de los descansillos, con el fin de reducir la longitud de pandeo de los elementos comprimidos de la fachada (barras verticales y diagonales)
- además, estas vigas planas deben transmitir también las cargas de viento desde la fachada a los forjados de hormigón armado de los descansillos, para que de este modo las fuerzas de viento puedan incorporarse al sistema estructural global formado por los núcleos y la fachada
- por último, algunas de las vigas metálicas en voladizo que soportan la rampa son apoyos elásticos para las losas de hormigón armado de los descansillos que, dada su irregular geometría, necesitan completar su sistema básico de apoyos formado por la fachada y los núcleos (Figura 8)

El modelo global de elementos finitos permitió verificar que la rigidez en su plano de las rampas era suficiente para poder tener en cuenta los efectos de la inestabilidad por pandeo considerando la longitud de pandeo correspondiente a la distancia entre rampas. Para ello se llevaron a cabo cálculos en segundo orden geométrico, incorporándose al modelo las cargas horizontales equivalentes a las deformaciones iniciales.

La estructura está compuesta por perfiles laminados del tipo HEM-HEB-HEA en los soportes, y HEB-HEA-IPE en los montantes y diagonales, configurando una disposición muy sistemática y una ejecución de carácter relativamente rápida y sencilla en lo que respecta a su ensamblaje en módulos, y con mayores dificultades para el montaje de dichos módulos en altura. Todas las barras tienen sus alas paralelas a la fachada de vidrio, y la mayoría de ellas tienen el mismo calibre (200 mm de canto). Se ha empleado tanto acero S275 JR como S355 J2 G3, y algunos de los soportes de la zona inferior tuvieron que ser reforzados con chapas para evitar el empleo de aceros de mayor calidad.

La estabilidad al fuego requerida por Departamento de Bomberos del Ayuntamiento de Zaragoza, a pesar de ser un sistema exterior con muy buenas condiciones de ventilación y muy reducida carga de fuego, fue de 180 minutos, lo que implicaba un recubrimiento ignifugo proyectado en lugar de una pintura intumescente clásica. Como consecuencia se perdieron en gran parte los aspectos arquitectónicos de transparencia y ligereza buscados desde el concurso de ideas, ya que además el conjunto perfil más recubrimiento ignifugo se debía recubrir con un cajón de aluminio por razones estéticas y de mantenimiento (Figura 9).



Figura 9 – Aplicación de la protección ignifuga de la fachada y vista final una vez colocado el revestimiento de aluminio

Durante la redacción del proyecto se llevó a cabo un estudio detallado para tener en cuenta la influencia de la variación continua de la orientación de las barras en el diseño de los detalles de unión en unión. Los elementos verticales son continuos, mientras que, como consecuencia de este estudio, las diagonales y las barras horizontales que les acometen tienen solo sus alas o sus almas soldadas a las barras verticales. Además se limitaron los espesores de garganta a los mínimos estrictos en función de las solicitaciones, aspecto especialmente importante de cara a reducir los tiempos de montaje en obra. No se consideró el empleo de uniones atornilladas a causa del impacto dimensional que habrían supuesto en una solución ya muy afectada por los condicionantes debidos al comportamiento en situación de incendio.

7. PLATAFORMAS INTERMEDIAS

Dos celosías metálicas de 23,5 m de luz y 2,80 m de canto se apoyan en los núcleos para crear una plataforma localizada a un tercio de altura de la torre que divide el vacío interior. Estas celosías principales se combinan con unas celosías secundarias que se disponen en voladizo desde ellas. De este modo, el conjunto de celosías principales y transversales sólo se apoyan en los núcleos y no tienen conexión estructural con la fachada (Figura 10), permitiendo que las rampas de arriostamiento continúen sin interrupción a lo largo de toda la altura de la torre. Sobre las celosías

se apoyan y suspenden una pareja de forjados mixtos de carácter convencional que, conectados con las celosías, mejoran sus condiciones de rigidez y estabilidad frente a pandeo.



Figura 10 – Vistas de las celosías principales y de las secundarias en voladizo desde éstas: montaje de la estructura metálica y aspecto final tras la construcción de las losas superior e inferior

En la parte alta de la torre se disponen otro conjunto de celosías similares a las inferiores y que permiten apoyar un grupo de plantas en las que se sitúan la cafetería y parte de las instalaciones. Estas plantas superiores se proyectaron como losas de hormigón armado convencional que aprovechan la posibilidad de disponer soportes apeados en las celosías generando una trama de luces en torno a 7 m.



Figura 11 – Celosías espaciales en voladizo para el apoyo de las escaleras mecánicas

8. OTROS ELEMENTOS

Entre otros elementos estructurales secundarios de menor importancia que completan la torre, es oportuno destacar como los más interesantes las celosías metálicas que se han proyectado para permitir la disposición de unas escaleras mecánicas de grandes dimensiones. Con el fin de realzar la espectacularidad del espacio interior en los accesos al edificio, estas escaleras se disponen en voladizo en la zona baja de la torre.

En consecuencia, las estructuras propias de las escaleras mecánicas no son suficientes para asegurar su sustentación y ha sido necesario unas celosías espaciales que se conectan dos a dos para transformar el sistema en voladizo en un sistema de biela y tirante compatible con las condiciones estructurales de los forjados que las reciben y que permite garantizar las condiciones de deformabilidad necesarias para el funcionamiento de las escaleras. Con el fin de reducir el canto aparente del conjunto, las escaleras mecánicas se disponen en el interior de la sección transversal en U formada por las celosías laterales y la celosía inferior que las conecta (Figura 11).

9. CONSTRUCCIÓN

Las principales etapas de la construcción de la torre han sido las siguientes (Figura 12):

- Ejecución convencional de la estructura de hormigón de la cimentación y las plantas inferiores del zócalo.
- Remate de la construcción del zócalo con el complejo forjado nervado que transfiere las cargas desde la torre hasta la cimentación
- Inicio de la construcción mediante encofrado trepante de los núcleos de hormigón armado



Figura 12 – Diferentes vistas durante la construcción de la torre, incluyendo las grúas y plataformas empleadas para el montaje de la fachada y las plataformas intermedias, y los encofrados trepantes de los núcleos

- Construcción autoportante de los forjados mixtos de las rampas
- Ejecución convencional apeada de los forjados de hormigón que conectan la fachada con los núcleos
- Montaje con grúas de las celosías principales completas que constituyen las plataformas intermedias inferior y superior tras su premontaje en obra; montaje por los mismos medios de las celosías transversales conectadas a ellas y ejecución autoportante de los forjados mixtos
- Construcción convencional de los forjados de hormigón armado de la zona superior apoyados en la plataforma superior

Uno de los aspectos principales de la ejecución de la estructura metálica fue el posicionamiento vertical de los diferentes paneles en los que se dividió para su montaje en obra. Esta maniobra fue especialmente delicada en la zona alta de la torre a causa de no poder disponer de una plataforma horizontal suficientemente próxima en la que anclar los tirantes y los trácteles necesarios para aplomar los módulos antes de su soldeo con los ya ejecutados. A ello se unieron los efectos perniciosos de las variaciones extremas de temperatura entre la noche y el día y la influencia ocasional de las ráfagas de viento.

La construcción de la estructura estuvo a cargo de la UTE OHL-Celsa con Augescón como subcontratista encargado de la estructura metálica. Los trabajos comenzaron en Julio de 2006 y se terminaron en Octubre de 2007, dejando plazo suficiente para las complejas fases restantes que debían completarse a tiempo para inauguración de la Exposición en Junio de 2008: fachada, instalaciones, acabados y expografía.

10. RECONVERSIÓN POST-EXPO DE LA TORRE

Ya se ha indicado que desde el concurso de ideas se planteó la necesidad de tener en cuenta las condiciones de reconversión de la torre en un espacio de oficinas o cultural de carácter más convencional una vez terminada la Exposición. Para ello, todos los elementos estructurales afectados (cimentación, fachada, núcleos, forjado nervado) se sobredimensionaron de modo que se pudieran construir hasta ocho forjados que ocuparan parte del espacio vacío interior. Estos elementos se apoyarían o suspenderían fundamentalmente de las celosías intermedias y tendrían la función de arriostramiento de la fachada si se considerara necesario eliminar la rampa.

En el momento actual se están analizando diversas configuraciones de utilización del edificio que toman como punto de partida este planteamiento general de carácter muy abierto que permite la creación de grandes salas de exposiciones interiores en lugar de zonas oficinas. Así mismo, en la fase final de la construcción se ha planteado la posibilidad de aumentar la altura de la torre para favorecer su carácter icónico en la ciudad. Un análisis preliminar de esta posibilidad de ampliación permite garantizar su viabilidad estructural y constructiva basada en los siguientes principios:

- Minimización de la afección a la estructura de la fachada y al forjado nervado, elementos sin capacidad para recibir mayores solicitaciones
- Empleo de la celosía espacial de la fachada superior como megaestructura que recoge las cargas de los forjados de la ampliación de la torre y las transmite a un emparillado de celosías mixtas que se apoya a

su vez en los núcleos. De este modo, se aprovecha de un modo óptimo el carácter espacial del conjunto y se minimiza el consumo de elementos estructurales [5].

- Toda la estructura necesaria para el recreado se coloca por encima de la existente y es independiente de ella, simplificándose enormemente su construcción.

11. PASARELA

Como elemento complementario de la Torre del Agua necesario para el correcto y adecuado funcionamiento de la Exposición, se ha construido igualmente una pasarela sobre el vial de ronda que conecta la terraza sobre el zócalo de la Torre y la plaza central del área de exposición y sus pabellones principales. La pasarela ha sido proyectada por los autores del artículo junto con los arquitectos autores del proyecto de la Torre. Su condición peatonal no excluye, sin embargo, la posibilidad del paso ocasional de vehículos de emergencias para acceder a la cubierta del zócalo de la torre. Los 161 m que la constituyen se pueden dividir en tres zonas claramente diferenciadas:

- El primer vano, comprendido entre el zócalo de la torre y la pila 1. Esta pieza fuertemente asimétrica, ha sido diseñada en hormigón armado y tiene 16,5 m de luz, recibiendo las cinco escaleras mecánicas que conectan los niveles de plaza con el tablero de la pasarela.
- Cinco vanos de 21,5 m de luz comprendidos entre la pila 1 y el estribo que han sido diseñados en estructura mixta y son la parte fundamental de la pasarela.
- El estribo de 37,0 m, ubicado junto al Palacio de Congresos, se ha proyectado en hormigón armado y tiene una geometría singular para facilitar la transición formal entre la plaza y la pasarela en un entorno netamente urbano.

La sección transversal del tramo mixto está formada por un cajón mixto abierto de geometría trapezoidal convencional al que se le añaden diversos elementos que, aunque colaboran en el comportamiento estructural de la pasarela, tienen fundamentalmente un carácter formal de cara a mejorar el aspecto exterior de la misma. Entre ellos destacan una serie de costillas esviadas con un ángulo de 24.09° respecto al eje de la pasarela y con un intereje de 1,955 m, salientes respecto a una chapa de carenado que forma el recinto global de la sección del tablero y que se rematan en una pieza redondeada de grandes dimensiones que configura en gran medida el ritmo y la percepción de la estructura. Este carácter rítmico se relaciona de una manera clara con los parasoles de la Torre reforzando el sentimiento de unidad del conjunto. También con carácter fundamentalmente formal se disponen un par de nervios longitudinales adosados al ala inferior del cajón.

El pavimento del tablero se materializa sobre una losa de hormigón armado que forma parte de la sección mixta global al disponerse la oportuna conexión mediante pernos entre ella y el cajón metálico. El tratamiento continuo del pavimento de hormigón cepillado empleado, hace de las barandillas y los petos los protagonistas de su imagen. Estos se disponen siguiendo la geometría esviada sobre un sistema de soportes plementados con chapa perforada, pintada en blanco como el resto de la estructura metálica (Figura 13).

Teniendo en cuenta la imposibilidad de trabajar en el interior de cajón a causa de sus reducidas dimensiones, se dispone como encofrado perdido una chapa plegada con los nervios paralelos al eje de la pasarela. Esta chapa se apoya en los diafragmas transversales que aseguran la indeformabilidad de la sección y un segundo juego de perfiles transversales intermedios dispuestos para reducir la luz de la chapa y no penalizar su espesor. Los diafragmas transversales permiten asimismo realizar el trabajo necesario para soportar el voladizo transversal de la sección.

Las pilas tienen una sección troncopiramidal de base un paralelogramo de lados paralelos al eje de la pasarela y a las costillas esviadas. La sección mayor se haya en su coronación, disponiéndose por tanto de una amplia superficie para disponer los apoyos de neopreno y de un elevado brazo para recoger las solicitaciones torsoras. Se han construido en hormigón armado blanco, siendo necesario emplear hormigón HA-40 a causa del reducido tamaño de la sección en el arranque, necesario por motivos funcionales y arquitectónicos.

La construcción de la pasarela ha sido llevada a cabo por la empresa Comsa, siendo Talleres Plain el subcontratista responsable de la ejecución de la estructura metálica.

12. CONCLUSIONES

La estructura de la Torre del Agua constituye un ejemplo afinado de interacción entre estructura y arquitectura singulares, ya que todas las piezas que constituyen el esqueleto estructural están intrínsecamente vinculadas a la funcionalidad arquitectónica del edificio y a su percepción formal. Esto ha sido posible gracias a la estrecha

colaboración entre los arquitectos y los estructuristas autores de este artículo, tanto en la fase inicial del concurso, como en el desarrollo del proyecto y en los sucesivos ajustes que ha sido necesario llevar a cabo durante la fase de obra para adaptar lo proyectado a los condicionantes cambiantes del programa de uso y las necesidades constructivas. Se ha conseguido de este modo una estructura que resuelve las complejas exigencias que determina un edificio de una altura considerable y escasos recursos estructurales en su interior, con una solución de coste moderado y condiciones de ejecución que han permitido cumplir los plazos previstos con una holgura razonable.



Figura 13 – Imagen general de la Torre y la pasarela de acceso a la misma sobre el vial de ronda (foto Arcelor Mittal – A. Sagasti)

Junto a esta pieza fundamental, la pasarela de acceso a la Torre se convierte en un elemento con gran presencia urbana que garantiza una transición suave y formalmente ordenada hacia los diversos elementos que confluyen en la plaza principal de la Exposición. Los aditamentos que permiten el diálogo formal de la pasarela con la Torre, permiten, a pesar de su carácter estructuralmente no esencial, mantener el conjunto dentro de costes y dificultades de ejecución fácilmente asumibles para construcciones que, como ésta, tienen una incidencia social y un emplazamiento urbano significativos.

13. REFERENCIAS

- [1] GISTAU GISTAU, R. "El legado de Expo Zaragoza 2008", Ingeniería y Territorio nº 77, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2007
- [2] DE LA CAL, P.; PELLICER, F., "Expo Zaragoza 2008. Breve relato de la génesis de un proyecto de ciudad", ZARQUITECTURA, Nº 5-6, Colegio Oficial de Arquitectos de Aragón, 2007
- [3] DE TERESA TRILLA, E., "Espesor y transparencia de una piel", ZARQUITECTURA, Nº 9-10, Colegio Oficial de Arquitectos de Aragón, 2008
- [4] MARTÍNEZ CALZÓN, J.; GÓMEZ NAVARRO, M., "Torre del Agua", Ingeniería y Territorio nº 77, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2007
- [5] MARTÍNEZ CALZÓN, J.; APARICIO GARCÍA, J.; BALLESTEROS MOLPECERES, B., "Torre Mare Nostrum- Complejo de edificios para sede de Gas Natural en Barcelona" Actas de CEA 2004, Congreso de la Estructura de Acero, Artecium, 2004