

LA ESTRUCTURA DEL PALACIO DE CONGRESOS DE ORÁN

Francisco MILLANES MATO

Dr. Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Presidente

general@ideam.es

Miguel ORTEGA CORNEJO

Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Jefe de Proyectos

miguel.ortega@ideam.es

Maurico AGUIRRE GALLEGO

Ingeniero Civil

OHL. Dirección Técnica Internacional

Jefe Departamento de Estructuras

maguirre@ohl.es

Luis MATUTE RUBIO

Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Director General

luis.matute@ideam.es

Carlos GORDO MONSÓ

Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Ingeniero Proyectista

carlos.gordo@ideam.es

RESUMEN

El nuevo Centro de Convenciones de Orán (Argelia), construido por OHL para Sonatrach, se compone de un Palacio de Exposiciones, un Hotel de 5 estrellas, un Parking subterráneo y el Palacio de Congresos. La estructura del Palacio de Congresos de Orán, proyectada por IDEAM para OHL, es quizás la actuación más singular del conjunto de las obras, y se divide en 3 edificios con tipologías estructurales y mecanismos resistentes diferentes. Su diseño y dimensionamiento está fuertemente condicionado por la elevada sismicidad de la zona.

Los edificios que componen el Palacio de Congresos se proyectaron y ejecutaron en tiempo record. La estructura metálica completa, unas 7900 t, se prefabricó íntegramente en España, logrando una gran agilidad de montaje en obra, dividiendo la estructura en módulos de dimensiones fácilmente transportables, para empalmar en obra todas las uniones mediante el empleo de Tornillos de Alta Resistencia.

PALABRAS CLAVE: Estructura metálica, Tornillos de Alta Resistencia, diseño antisísmico, edificio colgado, auditorio.

1. Introducción y descripción general del Palacio de Congresos

El Palacio de Congresos (Fig. 1) es quizás la actuación más singular del conjunto de las obras acometidas por OHL en el Centro de Convenciones de Orán en Argelia.

Los edificios del Restaurante y el edificio de Entrada colgado (Edificio-Puente), se independizan de los tres bloques principales del Palacio de Congresos -el bloque de Jefes de Estado, el gran Auditorio, con capacidad para 3.000 personas, y el bloque de Oficinas- mediante la disposición de sendas juntas de dilatación coincidiendo con el eje 39, desde donde se accede al vestíbulo principal del Auditorio. La figura 2 muestra una planta esquemática con la división por edificios del Palacio de Congresos.



Figura 1. Palacio de Congresos de Orán.

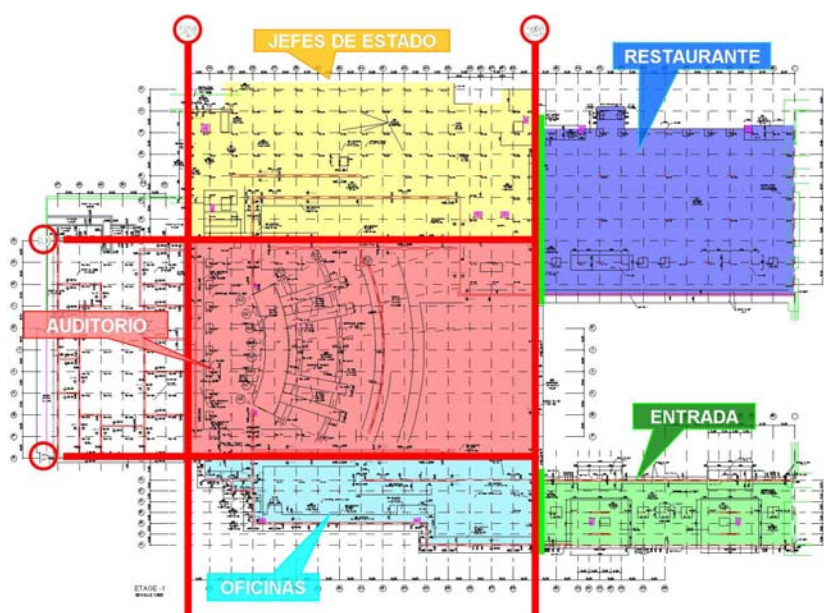


Figura 2. Planta esquemática con división por edificios del Palacio de Congresos

El conjunto del edificio, de unos 69.000 m² de superficie y 7900 t de acero estructural, se proyectó en el formato de Fast-Track y se construyó en un tiempo récord. La ejecución de la estructura comenzó en julio de 2008, y prácticamente concluyó en octubre de 2009.

Las cimentaciones de todos los edificios del Palacio de Congresos se han planteado mediante cimentaciones directas con zapatas aisladas o corridas bajo los elementos verticales resistentes, pilares y arriostramientos antisísmicos metálicos, y muros, núcleos o pantallas de hormigón armado. Arriostrando estas cimentaciones directas, se ha ejecutado una losa de arriostramiento que además hace las veces de forjado del nivel inferior en el sótano, o en la planta baja según las cotas de cimentación de cada zona.

2. El edificio Restaurante.

El restaurante es el edificio menos singular, con sólo una planta sobre el nivel de cimentación, con su cubierta a nivel de la planta baja de la plaza central de acceso al Auditorio. Esta planta se proyecta mediante un forjado mixto continuo flectando entre correas, equidistantes cada 3 m,

materializado por chapa nervada y losa superior armada, como el de prácticamente todos los edificios (Fig. 3).

Para lograr una zona muy amplia de $72 \times 36 \text{ m}^2$ con 6 pilares exclusivamente, la estructura principal del forjado se resuelve mediante dos grandes vigas armadas mixtas en la dirección Este-Oeste con luces $18+18+18+18$, con 1 m de canto, y mediante una serie de vigas HEB-400 mixtas conectadas al forjado superior de $12+12+12+9 \text{ m}$.

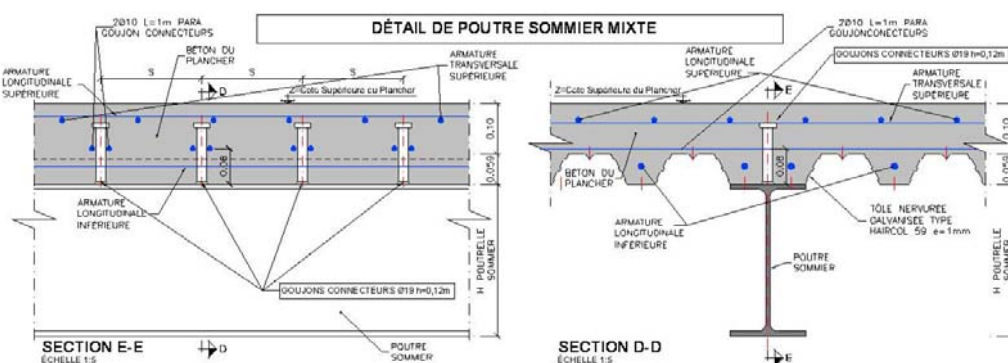


Figura 3. Esquema de forjados mixtos y detalle de viga principal mixta conectada al forjado.

3. Estructura del edificio de entrada. Edificio-Puente.

El edificio de Entrada, con un sótano, planta baja, tres plantas colgadas más una cubierta superior sobre el nivel de la rasante, presenta una geometría en planta de $72 \times 18 \text{ m}^2$, y está muy condicionado por cuestiones arquitectónicas. La necesidad de no disponer pilares o elementos verticales resistentes en la planta baja, para mantener un acceso diáfano a la plaza central de acceso a los Palacios de Congresos y de Exposiciones, salvo en los extremos, y en la alineación de los dos núcleos centrales (Figs. 4a y 4c), obligaron a plantear una estructura superior de cuelgue más similar a la de un puente que a la de un edificio.



Figuras 4a, 4b y 4c. Esquema estructural, secuencia del proceso constructivo, y vista de Edificio-Puente de entrada concluido.

Los forjados tipo son mixtos (Fig. 2), con correas en la dirección Este-Oeste cada 3 m, y vigas principales mixtas de 9+9 m de luz, siendo las tres vigas de cuelgue de 18+36+18 m las que soportan la carga vertical de las plantas 1, 2, 3 y la cubierta parcial superior (Figs. 4a y 4c).

Estas vigas se apoyan en sus extremos en pilares metálicos verticales, y en los dos núcleos de hormigón centrales, que alojan en su interior los ascensores y las escaleras, y son los responsables de resistir prácticamente toda la carga vertical del edificio, así como de transmitir los esfuerzos horizontales del sismo, de gran magnitud, a las cimentaciones.

El edificio se ejecutó de manera convencional mediante la disposición de apeos provisionales entre la planta baja y la primera, mediante el método ascendente clásico, y al llegar al nivel 3 (Fig. 4b), tras ejecutar la estructura superior de cuelgue, se engancharon los tirantes metálicos a las vigas superiores, y se realizó el desapeo y puesta en carga, cortando y retirando los puntales provisionales sobre la planta baja de manera progresiva secuencial controlada, invirtiendo el signo de los esfuerzos de los tirantes de cuelgue situados cada 6 m en tres alineaciones, que hasta ese momento habían trabajado temporalmente a compresión.

4. Edificios principales: Jefes de Estado, Auditorio, y Oficinas.

El edificio principal del Palacio de Congresos se descompone por zonas según los usos en los edificios laterales de Oficinas (al sur), y el edificio de Jefes de Estado (al norte), y el gran Auditorio (Figs. 5a, 5b y 2), que se trata del edificio central, con una gran fachada al lado Oeste, volada sobre una lámina de agua que nace bajo el escenario del auditorio, y que aloja el mayor Mosaico del Mundo (Fig. 1), y fachada al Este, por donde se sitúa la entrada principal del edificio.

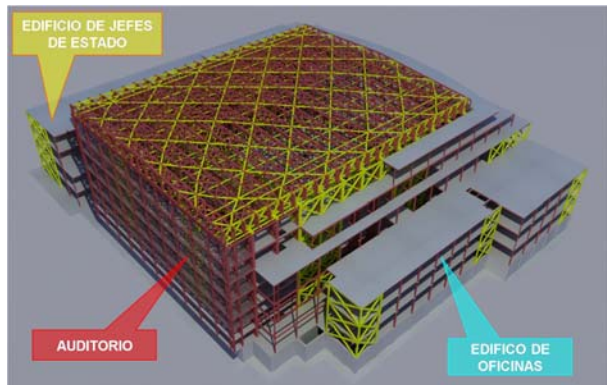


Figura 5a. Distribución del edificio principal en los edificios: Jefes de Estado, Auditorio, y Oficinas.



Figura 5b. Vista durante la ejecución del edificio de Oficinas y el Auditorio.

La estructura de todos los edificios se ha planteado en general mediante pilares metálicos, y forjados mixtos, materializados por vigas principales mixtas, conectadas al forjado superior y correas metálicas, en general situadas cada 3 m, con luces de 6 m, y en algún caso excepcional de hasta 9 m.

Debido a que existen muchas zonas con un gran número de singularidades y condicionantes arquitectónicos, donde la exigencia de ausencia de pilares obliga a alterar una malla ortogonal sencilla de pilares-vigas y correas con una cuadrícula de 6x6, es necesario establecer la estructura resistente mediante un gran número de vigas principales continuas, con diferentes luces, 6 m las más comunes, 9 m, 12 m, alguna viga de hasta 18 m de luz en el nivel 4 del edificio de Jefes de Estado, incluso una planta técnica completa del edificio de Jefes de Estado con cerchas trianguladas metálicas de 24 m de luz.

Los forjados de hormigón se encofran mediante una chapa nervada, que hace las veces de encofrado perdido, como la empleada en el Restaurante y el Edificio de Entrada (Fig. 3).

Toda la estructura se ha diseñado partiendo de un condicionante fundamental: la necesidad de montar en un plazo muy reducido un gran volumen de acero, empleando al máximo la prefabricación de la estructura en talleres en España, minimizando el peso y dimensiones de las piezas por razones de transporte marítimo desde la península a Orán, y evitando en la medida de lo posible las estructuras de hormigón “in situ” en la obra.

Todos estos condicionantes obligaron a plantear la estructura resistente de los edificios metálica con un planteamiento modular, para permitir la prefabricación en talleres españoles y materializar las uniones en obra “in situ” de pilares, vigas, y correas mediante uniones atornilladas con tornillos de alta resistencia pretensados (Figs. 6a y 6b). En base a nuestra experiencia en el proyecto del Centro de Investigación Biomédica en Barcelona [2], se propuso que en todos los casos se emplearan arandelas indicadoras de tensión (Direct Tension Indicator) para asegurar mediante un procedimiento de tesado controlado que se garantizase la fuerza de tesado en cada tornillo. Esta decisión ha permitido montar la estructura metálica del Palacio de Congresos, de unas 7900 t de acero, como un mecano, en un periodo menor de un año.

Se han materializado uniones articuladas en correas, que trabajan de modo isostático, mientras que en las vigas principales continuas, las uniones permiten el trabajo en continuidad de los perfiles, transmitiendo no sólo cortantes sino también momentos flectores.



Figura 6a. Detalle de uniones atornilladas.



Figura 6b. Tesado de unión atornillada.

Las estructuras de hormigón se han reducido por tanto a las cimentaciones, muros perimetrales, algún núcleo resistente y el hormigón de los forjados mixtos.

El esquema resistente frente al sismo de los edificios principales, descrito con detalle en la ponencia “Diseño antisísmico de la estructura del Palacio de Congresos de Orán” [1], se resuelve mediante pórticos o pantallas de arriostramiento compuestas por cruces de San Andrés materializadas por perfiles metálicos (Fig. 7a, 7b, 8a y 8b).

Estos elementos resistentes del sismo, se han dispuesto en las zonas compatibles con la arquitectura, donde no existen afecciones a grandes ventanales, huecos y salvando las entradas principales a los edificios, por lo que quedan siempre ocultos tras las fachadas, revestimientos o acabados.



Figura 7a. Edificio de Oficinas en primer plano y Auditorio visto desde el lado Sur-Oeste.

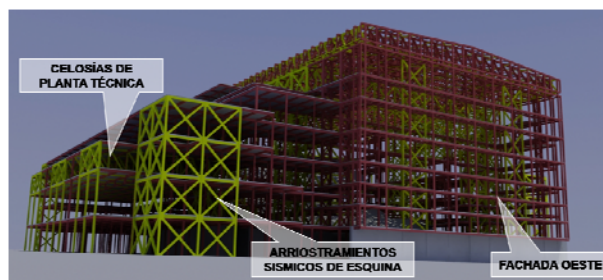


Figura 7b. Edificio de Jefes de Estado y Auditorio, visto desde el lado Nor-Oeste.

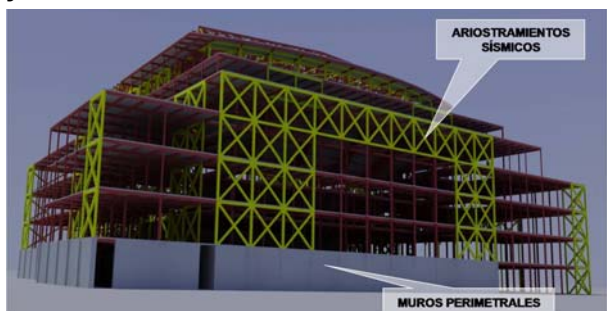


Figura 8a. Edificio de Oficinas y fachada Este de entrada al Auditorio.

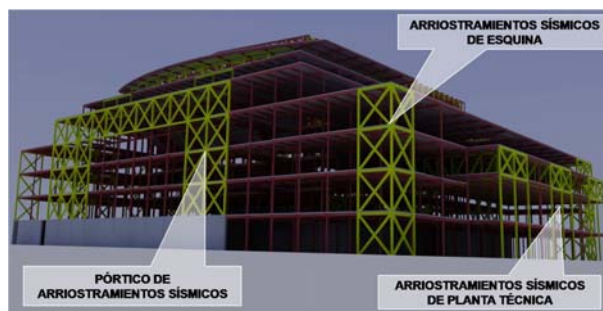
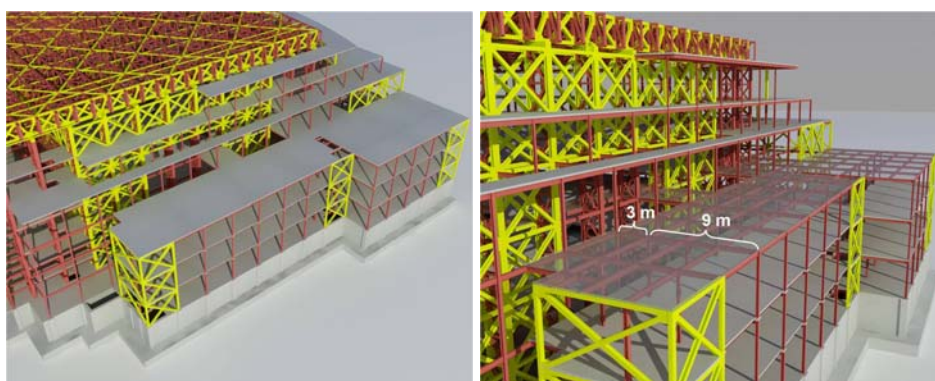


Figura 8b. Edificio de Jefes de Estado y fachada Este de entrada al Auditorio.

Los forjados de hormigón, rígidos en su plano en cada nivel, transmiten las acciones del sismo a los elementos de arriostramiento situados en varios planos paralelos, y estos son los encargados de transmitir las reacciones del sismo a las cimentaciones del edificio, que se encuentran todas ellas arriostradas por una solera de atado.

4.1. El Edificio de Oficinas

Se trata de una zona lateral, situada al sur del Auditorio, cuyos forjados tipo se materializan por vigas mixtas de 3+9 m de luz y correas separadas cada 3m con 6 m de luz (Figs. 9a, y 9b). Los forjados son iguales a los del resto del edificio, materializados por una chapa nervada y una losa superior de hormigón.



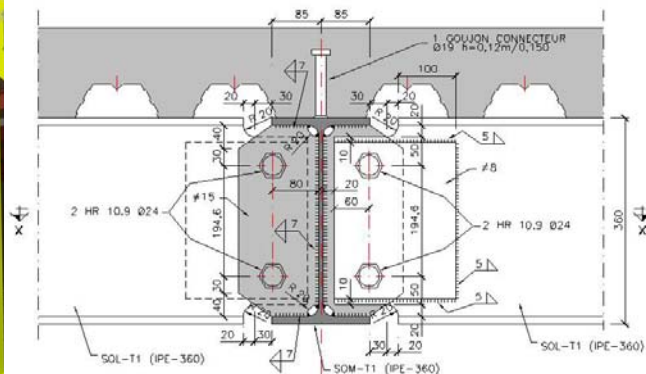
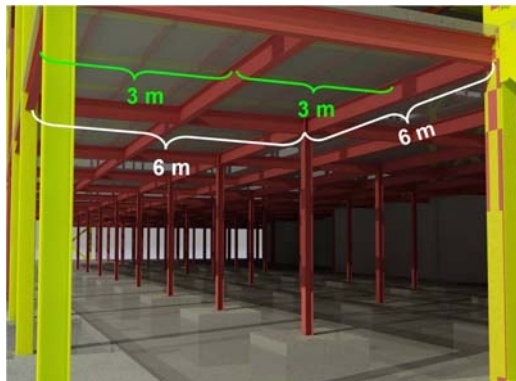
Figuras 9a y 9b. Edificio de Oficinas

4.2. El Edificio de Jefes de Estado

Este edificio se asoma al mar Mediterráneo en la parte alta del acantilado donde se localiza el Palacio de Congresos y se adosa a la parte norte del Auditorio (Figs. 2 y 10). Se trata de una zona lateral con varias singularidades que rompen los forjados tipo de muchas zonas de los edificios, con vigas mixtas continuas de 6 m de luz, y correas isostáticas situadas cada 3m con también 6 m de luz (Figs. 11a, y 11b).

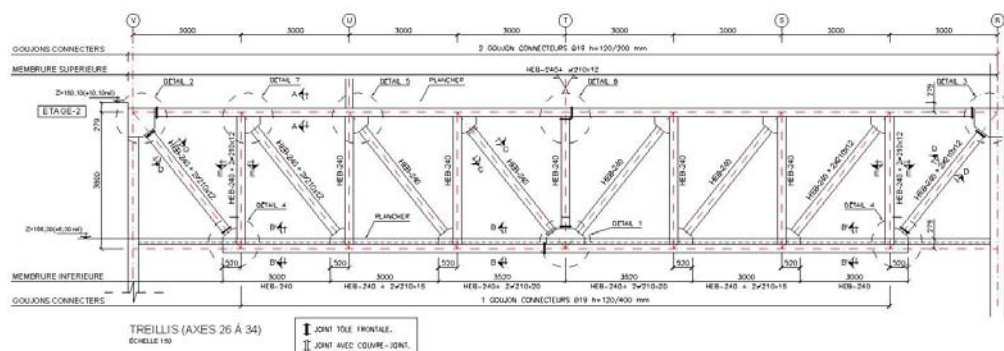
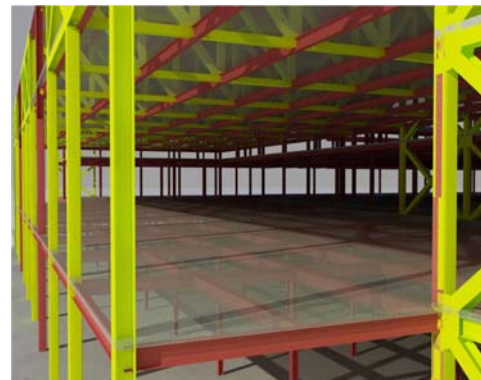
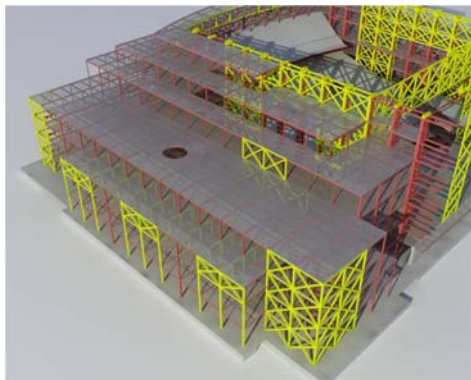


Figura 10. Edificio de Jefes de Estado frente al mar.



Figuras 11a y 11b. Nivel 1 del edificio de Jefes de Estado y detalle de articulación de correa.

La planta 1 presenta una exigencia muy importante: la necesidad de salvar una zona diáfana de 60x24 m sin pilares para permitir alojar en esa zona amplias salas de reuniones, destinadas originalmente para albergar la convención de Jefes de Estado de los países productores de gas licuado, celebrada a inicios de 2010. Para lograr salvar la luz de 24 m, se ha diseñado una planta técnica que permite la disposición de cerchas isostáticas de 24 m cada 6 m (Figs. 12a, 12b y 12c).

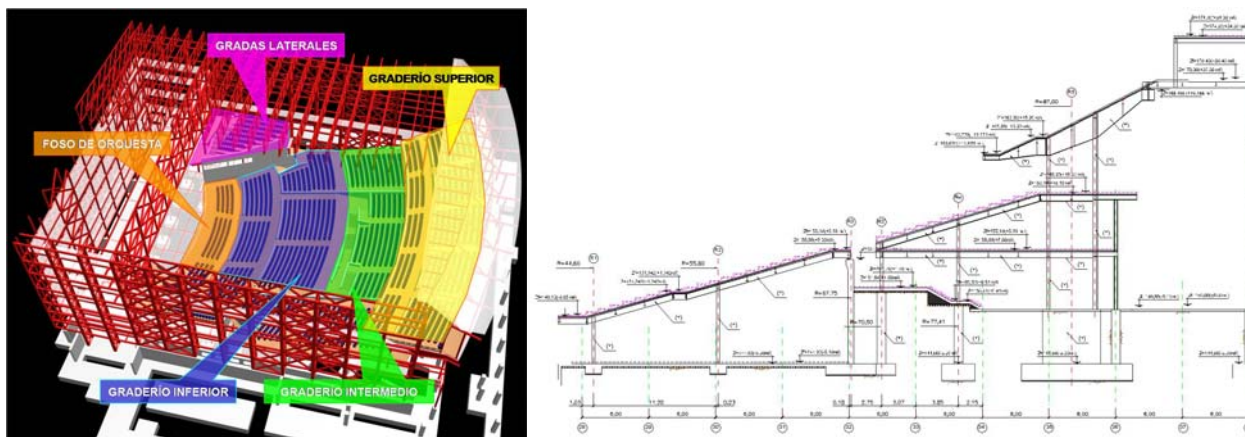


Figuras 12a, 12b y 12c. Edificio de Jefes de Estado. Cerchas de 24 m de luz en planta técnica.

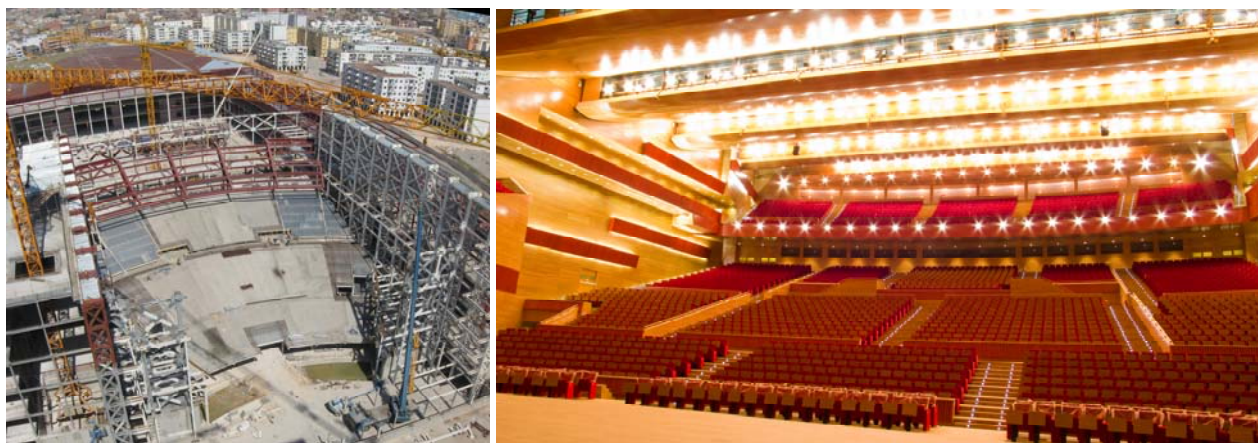
Sobre el nivel 2 se sitúa una gran sala destinada a reuniones de Jefes de Estado, lo cual obliga a evitar pilares en otra zona de 60x18 m, condicionando la estructura metálica del nivel 3, sobre la sala de Jefes de Estado a grandes vigas armadas de 18 m de luz dispuestas cada 6 m.

4.3. Auditorio

Se trata del cuerpo principal del edificio, y básicamente es una gran caja de 60x96 m enmarcada por las 4 pantallas-pórtico resistentes, que aloja el graderío del gran auditorio con capacidad para 3000 personas (Fig. 14b), junto con una serie de forjados destinados a salas, accesos y comunicaciones entre edificios. Las figuras 13a y 13b muestran una imagen del auditorio, y una sección por el eje de los graderíos inferior, intermedio, y superior, y la imagen 14a muestra una vista de la ejecución de los graderíos materializados con estructura metálica y mixta de manera similar a los forjados tipo del resto de edificios.



Figuras 13a y 13b. Esquema del Auditorio y de los graderíos.



Figuras 14a y 14b. Vista de la ejecución de los graderíos y del gran Auditorio concluido.

Los forjados inclinados de los graderíos inferior e intermedio se materializan mediante vigas mixtas HEB-600 según la geometría radial del graderío.

Las vigas principales del graderío inferior tienen unas luces de 3,2 m en vuelo+11,20+11,75 m, y las del graderío intermedio 9,6+9,6 m (Fig. 13b)

Las vigas principales del graderío superior, vigas armadas mixtas de canto variable (Fig. 13b), se apoyan en dos alineaciones de pilares y presentan un voladizo hacia el lado del escenario de unos 5,90 m y otro gran vuelo trasero, sobre el que se apoya el nivel 4 y 5 de los forjados de la zona Este del Auditorio, con casi 8,6 m (Fig. 15).



Figura 15. Vista trasera de las vigas principales del graderío superior durante la ejecución.

4.3.1. *Cubierta principal del Auditorio*

La cubierta principal del auditorio, presenta una luz de 60 m y se salva mediante la disposición de 13 grandes cerchas metálicas (Figs. 16 y 17) de canto variable formada por perfiles tipo HEB en cordones y diagonales y perfiles IPE en los montantes verticales.

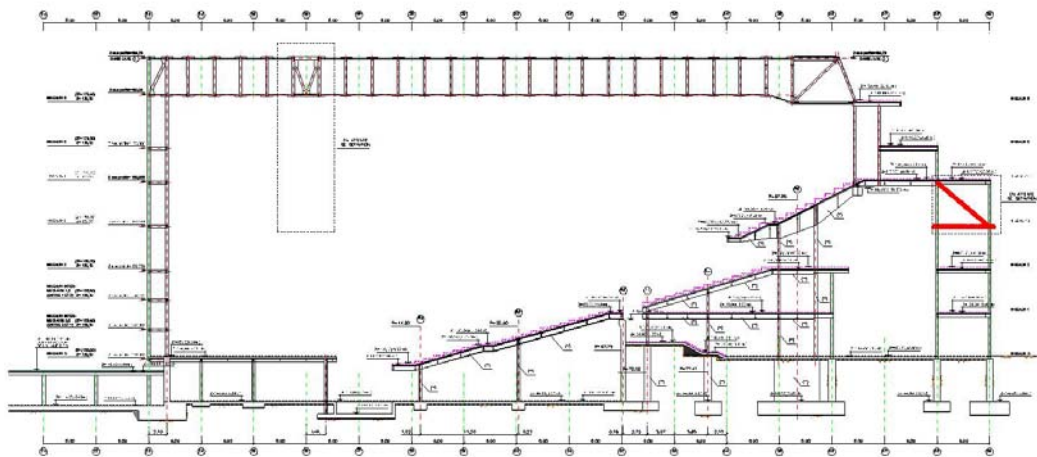


Figura 16. Corte por el eje del Auditorio, y vista de la cubierta.



Figura 17. Vista de la cubierta prácticamente concluida.

El canto de la cercha en los apoyos es de 2,70 m entre ejes de cordones y de 4,20 en el centro del vano. Cada cercha se compone de una celosía doble con separación entre los cuchillos de cada

celosía de 3 m, lo que hace que al estar las cerchas separadas entre ejes 6 m, siempre haya un cuchillo de una celosía en la cubierta cada 3 m.

Arriostrando las cerchas de la cubierta se disponen unas triangulaciones en el plano superior e inferior de los cordones de las celosías que transmiten los esfuerzos horizontales del viento y sismo a los dos grandes pórticos de respuesta antisísmica.

Como se trata de elementos de grandes dimensiones, cada celosía se fabricó en los talleres de España en tres módulos de unos 20 m cada uno, para posteriormente ensamblarlos a pie de obra.

El proceso constructivo de la cubierta del Auditorio se realizó mediante el izado de cada cercha de manera independiente con grúas, y posterior ripado lateral para ir así sucesivamente izando, arriostrando y ripando la cubierta cada vez con una cercha más en su posición hasta llegar a la última (Fig. 18). De esta manera se logró realizar el izado siempre desde la zona Oeste, con mejor acceso y mayor espacio para realizar el acopio inferior de las cerchas, así como con mejores condiciones para el posicionamiento de las grúas necesarias para el izado.



Figura 18. Vista de la cubierta durante la ejecución del ripado.

5. Principales participantes en el proyecto

Propiedad: Sonatrach

Constructora: OHL.

Dirección Técnica: Manuel Alpañés, Pedro Ayuso

Dirección Técnica Internacional: Carlos Bosch, Mauricio Aguirre, Natacha Chernova.

Arquitectura: José María Fernández Fernández-Isla, Enrique José Martínez de Angulo

Proyecto de la Estructura y Asistencia Técnica a la Constructora: IDEAM S.A.: Francisco Millanes, Luis Matute, Miguel Ortega, Carlos Gordo, Pedro Atanasio, Juan José Laso, Fernando Ruano.

6. Referencias

- [1] MILLANES F, MATUTE L, ORTEGA M. GORDO C. AGUIRRE M, "Diseño antisísmico de la estructura del Palacio de Congresos de Orán", *V Congreso ACHE*. Barcelona. Oct- 2011.
- [2] ORTEGA M., BORDÓ E., PASCUAL J., MILLANES F., "Estructura colgada del edificio "Parc de Recerca Biomèdica" en Barcelona". *Hormigón y Acero* nº 237. 2005 (3er trimestre).Ed. Asociación Científico-técnica del Hormigón Estructural. Madrid 2005. pp. 25-39.