Conjunto de edificaciones Buenavista en Oviedo

Buenavista building complex in Oviedo

Fco. Javier Fernández Pozuelo[1] , Raúl Rodríguez Fajardo[2] y Enrique Goberna Pérez[2]

Recibido | *Received:* 21-11-2011
Aceptado | *Accepted:* 28-09-2012

Resumen

El conjunto de edificaciones Buenavista construido en Oviedo entre los años 2004 y 2011 ha sido la mayor operación urbanística llevada a cabo en Asturias en las últimas décadas. El proyecto fue promovido por la sociedad Jovellanos XXI junto con el Excelentísimo Ayuntamiento de Oviedo y comprende un complejo que incluye tres plantas de aparcamiento, un gran centro comercial, dos edificios de oficinas que alojan diferentes consejerías del Principado de Asturias, un hotel y finalmente el nuevo Palacio de Exposiciones y Congresos Ciudad de Oviedo. El diseño arquitectónico y estructural de todo el complejo es obra de D. Santiago Calatrava Valls y combina elementos de hormigón y acero así como tipologías estructurales variadas, cuyos detalles se describen y analizan en el presente artículo.

Palabras clave: consejerías, palacio de exposiciones y congresos, cubierta fija, cubierta móvil, cilindro hidraúlico, voladizo.

Abstract

The Buenavista Building Complex, built in Oviedo during the period 2004-2011 has been the greatest planning operation carried out in Asturias in the last decades. The project was promoted by the company Jovellanos XXI together with the Oviedo City Council and it includes three parking floors, a huge shopping center, two office buildings which accomodates different departments of the Principality of Asturias, a luxury hotel and finally the New Congress and Exhibition Center of Oviedo. Both, the architectural and structural design of the whole complex, are the work of Mr. Santiago Calatrava Valls and combine concrete and steel elements as wells as different structural tipologies. All the details are described and analyzed in this paper.

Keywords: *office buildings, congress and exhibition center, fixed roof, moveable roof, hydraulic cylinder, cantilever.*

(1) Ingeniero Industrial. SANTIAGO CALATRAVA L.L.C. (Valencia, España).
(2) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. SANTIAGO CALATRAVA L.L.C. (Valencia, España).

Persona de contacto / *Corresponding author:* j.fernandez@calatrava.com

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

1. DESCRIPCION ARQUITECTONICA

1.1. Conjunto de edificaciones Buenavista

El proyecto del conjunto de edificaciones Buenavista constituye un complejo armónico, situado en dos niveles limitados por dos plazas, una de ellas a cota +258,58 y la otra en una cota superior, +267,33. Teniendo estas plazas como referente y a partir de un eje longitudinal de simetría se vertebran los diferentes edificios que integran el proyecto: el edificio principal que incluye el aparcamiento y el centro comercial, el Palacio de Exposiciones y Congresos, los edificios de consejerías y el hotel (ver Figuras 1 a 3).

El Palacio de Exposiciones y Congresos, situado en el centro de la parcela, es el elemento central a partir del

1. ARCHITECTURAL DESCRIPTION

1.1. Buenavista building complex

The Project of the Buenavista building complex forms a harmonic set. It is located in two levels limited by two squares, one of them at the elevation +258.58 and the other one in a higher elevation, +267.33. Having these squares as a reference and arising from a longitudinal axis of symmetry, the different buildings of the project are disposed: the main building including the parking and the shopping center, the Congress and Exhibition Center, the two office buildings and the hotel (see Figures 1 to 3).

The Congress and Exhibition Center, located in the center of the parcel, is the central element that orientates the other

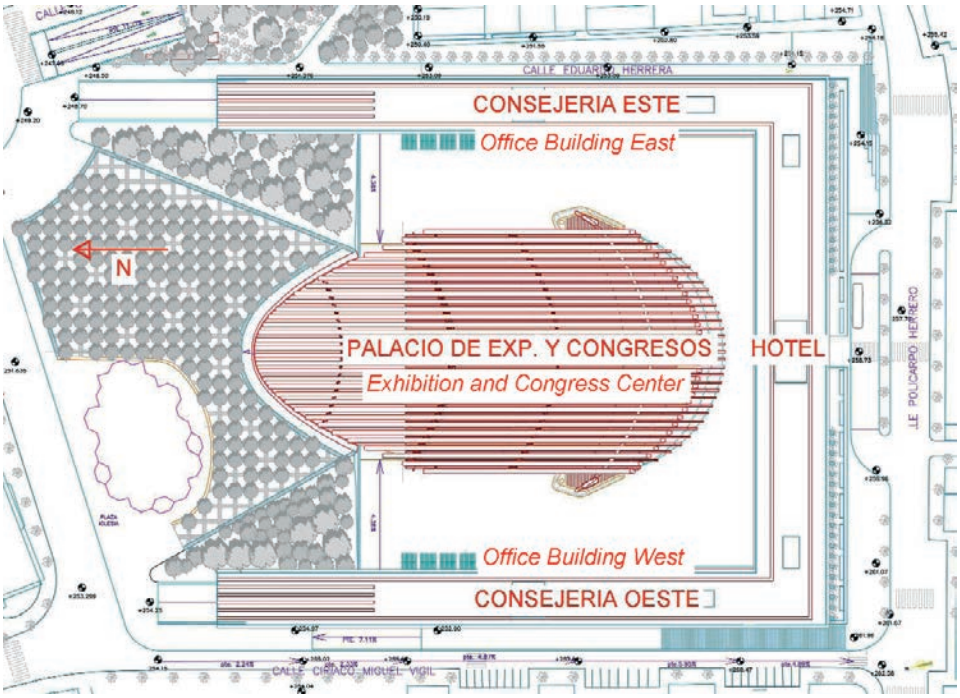

Figura 1. Planta general del conjunto de edificaciones Buenavista
Figure 1. General plan of the Buenavista building complex

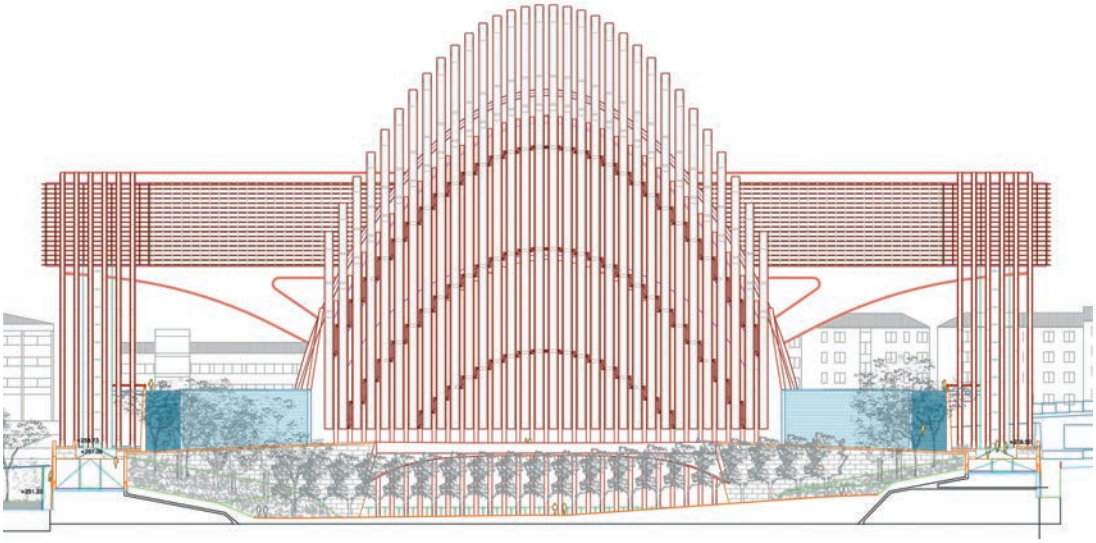

Figura 2. Alzado norte del conjunto de edificaciones Buenavista
Figure 2. North elevation of the Buenavista building complex

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

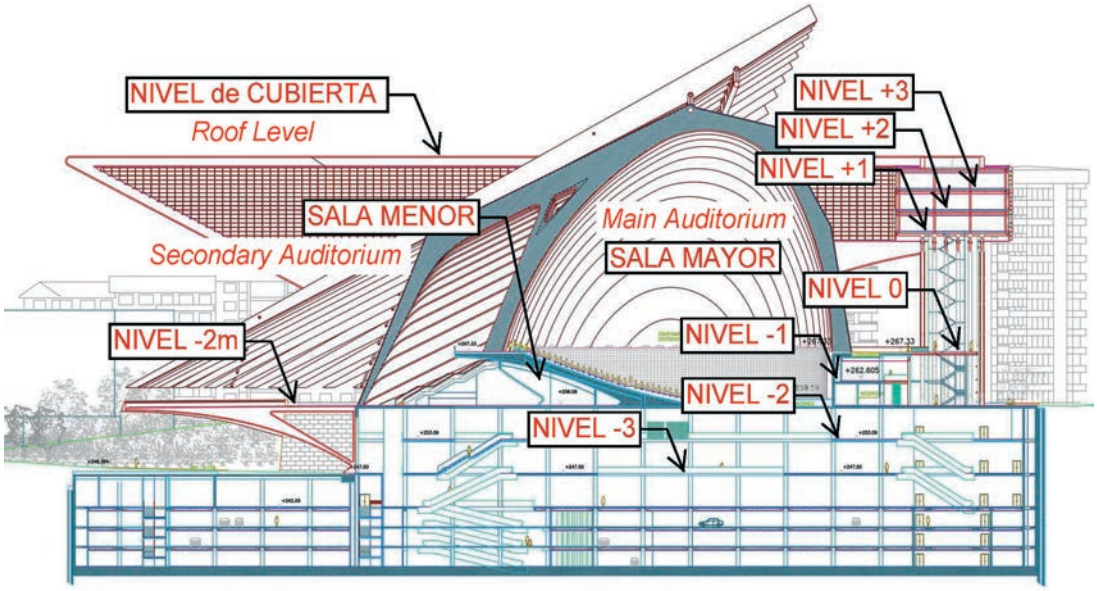

Figura 3. Sección por el eje de simetría del conjunto de edificaciones Buenavista
Figure 3. Transverse section by the symmetry axis of the Buenavista building complex

cual se articulan el resto de los elementos. A ambos lados y a espaldas del mismo, actuando como cierre de la plaza y fondo de perspectiva, se proyectan tres edificios de tres plantas cada uno, elevados sobre una estructura de pórticos de acero. Uno de estos edificios, destinado a uso hotelero, se sitúa al Sur de la parcela, mientras que los dos edificios laterales albergan diferentes consejerías del Principado de Asturias. La composición en planta tiene forma de U, rematada por sendos prismas triangulares proyectados sobre el espacio de transición al nivel de la red viaria exterior.

En la zona Norte de la parcela se proyectan los accesos principales al complejo, respetando la iglesia de los Santos Apóstoles, que se encuentra arropada por los jardines de Clarín.

En la Figura 4 se incluye una perspectiva aérea del conjunto durante las obras.

ones. Surrounding the Congress and Exhibition Center, acting as a closure for the square and also as the perspective background, three buildings elevated over a great structure of steel portals are projected. One of these buildings, that will include a luxury hotel, is located to the South of the parcel, while the two lateral buildings will be occupied by different offices of the regional government. The plan composition has a U shape, finished with two triangular prisms projected over the transition region at the level of the external roadways.

In the North area of the parcel is projected the main access to the complex, respecting the entrance to the Santos Apóstoles church, which is surrounded by the Clarín gardens.

Figure 4 includes an aerial view of the buildings during their construction.



Figura 4. Vista aérea durante las obras del Conjunto de Edificaciones Buenavista
Figure 4. Aerial view of the Buenavista Building Complex during the construction works

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

1.2. Edificios de las consejerías

Son de forma rectangular en planta y se sitúan en las zonas Este y Oeste de la parcela.

Constan de tres plantas sobre rasante, con zonas distribuidas para la ubicación de puestos de trabajo y despachos. El vestíbulo de acceso se sitúa bajo la plaza, en la cota +253,09, de modo que se pueda acceder directamente desde la vía pública en el lado Este (calle Eduardo Herrera) y desde el patio inglés paralelo a la calle Ciriaco Martín Vigil en el lado Oeste.

El acceso a las plantas se realiza a través de dos núcleos acristalados de comunicación vertical (ver Figura 5), que permiten el acceso directo a la última planta del aparcamiento. También se disponen escaleras de emergencia entre los pórticos principales de soporte del edificio, que discurren paralelas a ellos siguiendo la forma de los propios pórticos. Las fachadas exteriores se resuelven mediante un muro cortina de vidrio que incorpora lamas horizontales paralelas de aluminio.

La distribución de usos según niveles es la siguiente:

- **Nivel -2m:** En esta planta se sitúan los vestíbulos de acceso principal, que comunican directamente con la calle Eduardo Herrera en el Este y el patio inglés en el Oeste.
- **Niveles +1,+2,+3:** En estos niveles se distribuyen las áreas de trabajo propiamente dichas, que ocupan una superficie total sobre rasante de 10.255 m².

1.3. Hotel

El edificio destinado al hotel se sitúa en la parte Sur de la parcela, es de forma rectangular en planta y abraza, junto con los edificios de consejerías, el Palacio de Exposiciones y Congresos. Al igual que en el caso de las consejerías, el edificio se eleva sobre la plaza por medio de unos grandes pórticos de acero.

El edificio consta de tres plantas sobre rasante en las que se distribuyen 158 habitaciones (12 de ellas suites), con un pasillo central y un área de servicios comunes en cada planta. Las zonas públicas y de servicios del propio hotel se encuentran en el nivel -2m, a la cota +258,5.

El acceso al hotel se realiza desde la calle Policarpo Herrero a través de un vestíbulo en el que se ubican dos núcleos acristalados que contienen tres ascensores y un monta-

1.2. Office buildings

The office buildings have a rectangular shape in plan view and are located in the East and West areas of the parcel.

They have three floors each one of them, with inner distributed areas to be occupied by offices and work spaces. The main lobby is located under the square, at the elevation +253.09, so that the access to the buildings can be carried out directly from the public roadway in the East (Eduardo Herrera street) and from the courtyard parallel to the Ciriaco Martín Vigil street in the West.

The access to the different floors is through two glass-covered cores of vertical circulation (see figure 5) that also give access to the bottom parking floor. The emergency ladders are disposed between the main supporting portals of the building and run parallel to them following their inclined shape. The external façade of the buildings is composed by a glass curtain wall including aluminium horizontal lamellas.

The distribution of services in the different levels is the following:

- ***Level -2m:** Main lobby, that connects directly with Eduardo Herrera street in the East and the courtyard in the West.*
- ***Levels +1,+2,+3:** Work spaces occupying a total area of 10 255 m².*

1.3. Hotel

The hotel building is located in the South of the parcel. It also has rectangular shape in plan and surrounds, together with the office buildings, the Congress and Exhibition Center. As in the office buildings, several great steel portals elevate the main building over the square level.



Figura 5. Núcleos acristalados de comunicación vertical
Figure 5. Glass-covered cores of vertical circulation

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

cargas, que además permiten el acceso directo a la última planta del aparcamiento. Al igual que en las consejerías las escaleras de emergencia se disponen entre los pórticos metálicos principales.

Las fachadas exteriores del hotel son idénticas a las de las consejerías, resaltando la horizontalidad del conjunto.

La distribución de usos según niveles es la siguiente:

- **Nivel -2m:** En esta planta se localiza la recepción y el vestíbulo principal del hotel a los que se accede desde la calle Policarpo Herrero.
- **Nivel -1:** En esta planta se ubican los servicios propios del hotel y las zonas públicas como cafetería, restaurante, salones de banquetes, salas de reuniones, etc.
- **Niveles +1,+2,+3:** En estas plantas se distribuyen las 158 habitaciones del hotel a ambos lados de un pasillo central. Las zonas comunes se sitúan en el entorno de los núcleos de comunicación vertical.

1.4. Palacio de Exposiciones y Congresos

El Palacio de Exposiciones y Congresos se plantea como un elemento singular, escultórico, de geometría ovalada en planta, dispuesto sobre una gran plaza y vinculándose directamente con el entorno. La superficie útil total es 16.512 m^2.

El volumen interior de la sala mayor (Figuras 6 y 7), que es el núcleo del palacio, se configura a partir de las

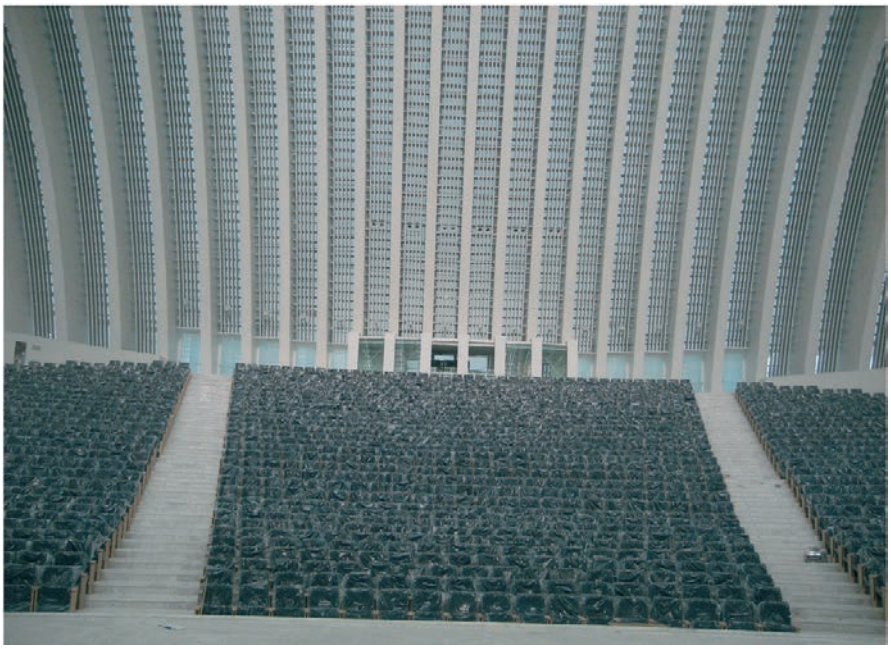

Figura 6. Interior de la sala mayor del Palacio de Exposiciones y Congresos
Figure 6. Inner space of the main auditorium of the Congress and Exhibition Center

The building has three floors including 158 rooms (12 suites) in total. Each floor has a central corridor and a common services area. The public zones and the general services of the hotel are located in the level -2m, at the elevation +258.5.

The main access to the hotel is located in the Policarpo Herrero street. The main lobby includes two glass-covered cores containing three elevators and one hoist. The elevators, as in the office buildings, give also access to the bottom parking floor. The emergency ladders are again disposed between the main steel portals.

The exterior façade is identical to the office buildings, remarking the horizontal character of the whole set.

The distribution of services in the different levels is the following:

- ***Level -2m:** Main lobby and main entrance from Policarpo Herrero street.*
- ***Level -1:** General services of the hotel and public areas including coffee-shops, restaurant, meeting-rooms, etc.*
- ***Levels +1,+2,+3:** 158 rooms and a central corridor. The common areas area located around the vertical circulation cores.*



Figura 7. Bóveda superior de la sala mayor del Palacio de Exposiciones y Congresos
Figure 7. Top vault of the main auditorium of the Congress and Exhibition Center

1.4. Congress and Exhibition Center

The Congress and Exhibition Center is designed as a sculptural and singu-

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

diferentes formas de unas costillas transversales de acero entre las cuales se dispone una piel de vidrio. Rematando superiormente el conjunto se ha proyectado una gran marquesina o cubierta móvil, que vuela sobre la plaza de acceso principal al Palacio y cuya función es tamizar la luz en el interior de la sala mayor del mismo. Este efecto de juego de luces se verá potenciado cuando se active el movimiento de la cubierta y las costillas que la constituyen se eleven hasta alcanzar su altura máxima, quedando en posición horizontal.

El edificio del Palacio de Exposiciones y Congresos se desarrolla en tres plantas, con el siguiente programa:

- **Nivel -2m**: En este nivel se encuentra el vestíbulo principal (Figura 8), la sala menor (con capacidad para 400 personas) y las escaleras de acceso a la sala mayor del palacio. Esta sala mayor tiene una superficie de 2.290 m^2 y puede alojar a 2.154 personas sentadas.

- **Nivel -1:** En esta planta se sitúan camerinos, vestuarios y otras dependencias asociadas a la actividad propia del Palacio de Exposiciones y Congresos. El carácter móvil de la tabiquería permite una redistribución total de los espacios permitiendo la optimización de los mismos según las características del evento que se vaya a desarrollar en el Palacio (congreso, concierto, festival, exposición, etc...), dotando al mismo de una gran versatilidad.

- **Nivel 0**: Esta es la planta donde se realizan la mayor parte de las actividades congresuales y se disponen los servicios generales del palacio. En la zona norte, distribuidas simétricamente, se disponen diversas salas de conferencias, seminarios y despachos para usos propios del palacio. En las zonas Este y Oeste, y también simétricamente, se ubican sendos vestíbulo principal (Figura 8), la sala menor (con capacidad para 400 personas) y las escaleras de acceso a la sala mayor del palacio. Esta sala mayor tiene una superficie de 2.290 m^2 y puede alojar a 2.154 personas sentadas.

lar element. The Center has an oval geometry in plan view and it is arranged on a great square and directly linked to the environment. The total surface area is about 16 512 m^2.

The inner volume of the main auditorium, (Figures 6 and 7), core of the Congress and Exhibition Center, is generated by the different shape of the transverse steel ribs. The space between these ribs is occupied by a glass skin. The most remarkable feature of the building is a great moveable canopy or roof, cantilevering over the main access square and with the main function of filtering the sun light into the main auditorium. This lighting effect will be powered by the movement of the roof as the moveable ribs rise up to their maximum height and they stay in horizontal position.

The building of the Congress and Exhibition Center includes three levels, as follows:

- ***Level -2m**: In this level are located the main hall of the building (Figure 6), the secondary auditorium (with capacity for 400 people, see Figure 7) and the stairs that give access to the main auditorium. The main auditorium has a surface area of 2 290 m^2 and can seat 2 154.*

- ***Level -1**: In this floor there are dressing rooms and different lounges intended for the general activities of the Congress and Exhibition Center. The moveable partitions permit a total reallocation of the spaces and allows for optimization depending on the characteristics of the event to be performed in the Center (congress, concert, festival, exhibition, etc…). This feature provides the Center with a great versatility.*

- ***Level 0:** This floor is where most of the congress activities are performed and where the general services of the Center are installed. In the north area and symmetrically distributed there are the different conference rooms, meeting rooms and offices intended for the use of the*



Figura 8. Vestíbulo principal del Palacio de Exposiciones y Congresos
Figure 8. Main hall of the Congress and Exhibition Center

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

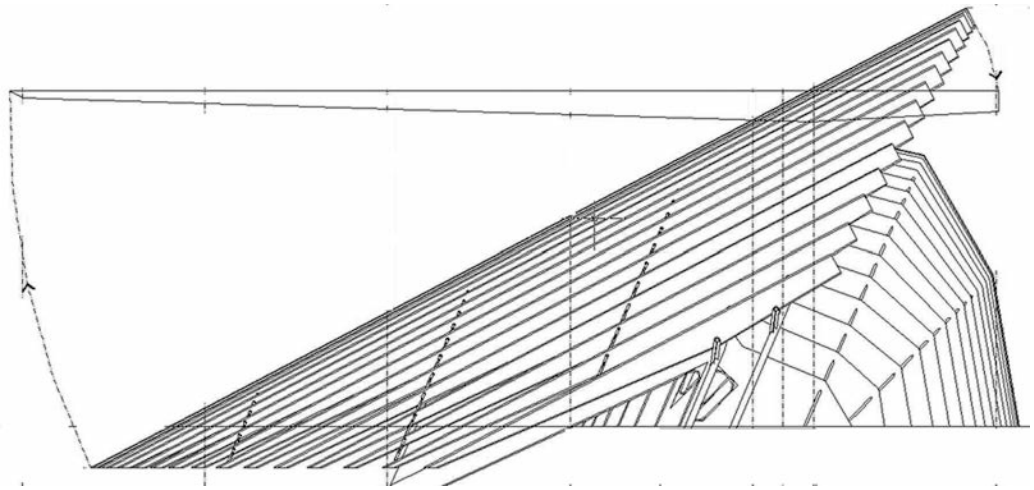

Figura 9. Alzado del P.E.C. con la cubierta móvil cerrada
Figure 9. Lateral view of the Congress and Exhibition Center. Roof closed

los con conexión directa a la zona ajardinada que rodea el palacio, desde la cual, a través de unas escaleras, se pueden alcanzar las dos calles laterales (Ciriaco Miguel Vigil y Eduardo Herrera). En el resto de la superficie se disponen zonas de guardarropía, núcleos de aseos, almacenes, salas técnicas y salas complementarias.

Como ya se ha comentado, el P.E.C. dispone de una cubierta móvil constituida por 32 vigas de acero de sección variable engarzadas entre las costillas que configuran la sala mayor. En el esquema de la Figura 9 se muestra el alzado del Palacio de Exposiciones y Congresos con la cubierta móvil cerrada y la indicación de su movimiento de apertura.

2. DEFINICION DE LAS ESTRUCTURAS

2.1. Consejerías y hotel

2.1.1. Pórticos principales

La estructura portante principal consiste en 6 pórticos paralelos de acero S355 J2G3 que sirven de soporte a los edificios del hotel y las consejerías. Cada pórtico tiene una sección de canto variable y ancho constante de 750 mm. La separación entre los mismos es igual a 2.063 mm. En la Figura 10 se muestra la geometría y

Congress and Exhibition Center staff. In the east and west regions, there are located two lobbies with a direct link to the garden that surrounds the Congress and Exhibition Center. From this garden the two main lateral streets (Ciriaco Miguel Vigil and Eduardo Herrera) can be reached. The remainder of the space is made up of wardrobes, toilets, technical rooms and complementary rooms.

As already commented, the Congress and Exhibition Center has a moveable roof formed by 32 tapered steel beams introduced between the fixed ribs that give shape to the main auditorium. In the scheme of the figure 9 is shown the lateral view of the Congress and Exhibition Center with the moveable roof closed and the indication of its opening movement.

2. DEFINITION OF THE STRUCTURAL SYSTEM

2.1. Office and hotel buildings

2.1.1. Main portals

The main supporting structure of each building is composed by 6 parallel portals made of S355 J2G3 steel that support the hotel and office buildings. Each portal has a transverse tapered section of constant width (750 mm). The lateral distance between portals is 2 063 mm. In the figure 10 are shown the geometry and general dimensions of the main portals for the office buildings. The steel plate thick-

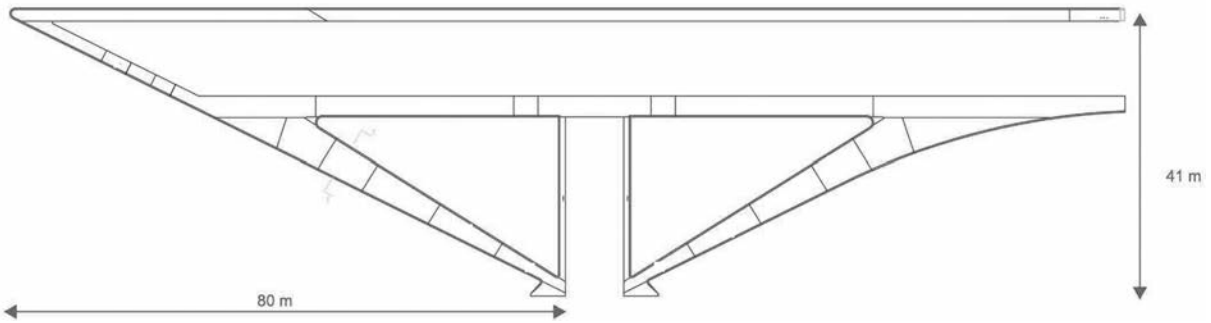

Figura 10. Geometría y dimensiones generales de los pórticos de soporte de las consejerías
Figure 10. Geometry and general dimensions of the supporting main portals of the office buildings

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

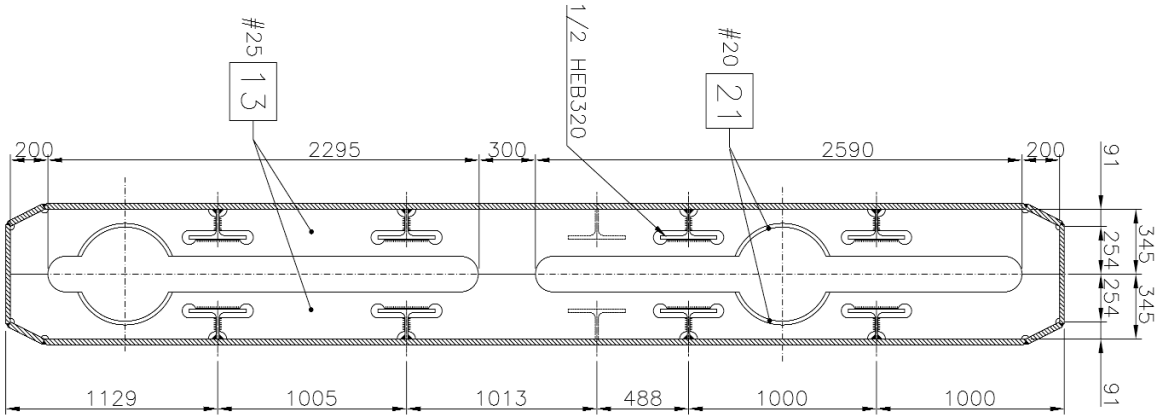

Figura 11. Sección transversal típica de los pórticos
Figure 11. Typical transverse section of the main portals

dimensiones generales de los pórticos principales de las consejerías. Los espesores de chapa varían entre un mínimo de 5 mm y un máximo de 45 mm. Finalmente en la Figura 11 se incluye la sección transversal típica de uno de los pórticos principales.

Los seis pórticos de cada edificio están arriostrados entre sí mediante perfiles laminados HEB-400 que se sueldan transversalmente a los mismos como se muestra en las Figuras 12 y 13.

2.1.2. Estructura de los edificios

Tanto los edificios de las consejerías como el edificio del hotel tienen tres plantas útiles y una azotea accesible en la que se sitúan las máquinas de climatización, de electromecánica y el robot de limpieza de las fachadas. Para resolver el sistema estructural de los tres edificios se ha planteado una estructura reticulada de perfiles de acero laminado que soporta forjados mixtos de chapa nervada. A continuación se proporcionan los detalles de estos elementos.

El sistema reticular de los edificios consiste en un entramado de vigas y pilares a base de perfiles laminados convencionales (HEB-240, HEB-260, HEB-280 y HEB-300). La Figura 13 muestra el pórtico tipo de los edificios de las consejerías. Estos pórticos se enlazan entre sí mediante vigas isostáticas constituidas igualmente por perfiles laminados de diferentes dimensiones. El isostatismo de estas vigas se garantiza soldando exclusivamente sus almas a las almas de los dinteles de los pórticos.

Es importante destacar que en el diseño del entramado metálico no

ness varies between a minimum of 5 mm and a maximum of 45 mm. Finally, Figure 11 shows the typical transverse section of one of the main portals.

The six main portals of each building are braced by means of a set of HEB-400 steel sections that are welded transversely as can be seen in the Figures 12 and 13.

2.1.2. Building structure

Both, the office and hotel buildings, have three floors and an accessible roof. In this roof are located the mechanical and air conditioning machinery and also the cleaning robot for the façades. The structural system for the three buildings has been designed as a rigid frame structure of steel sections supporting composite floors. In the following all this elements are described in detail.

The structural system of the buildings consists of a frame including columns and beams made of standard steel



Figura 12. Vista aérea de los pórticos principales de los tres edificios con los arriostramientos mediante HEB-400 parcialmente ejecutados
Figure 12. Aerial view of the main portals of the three buildings with the HEB-400 bracing partially executed

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

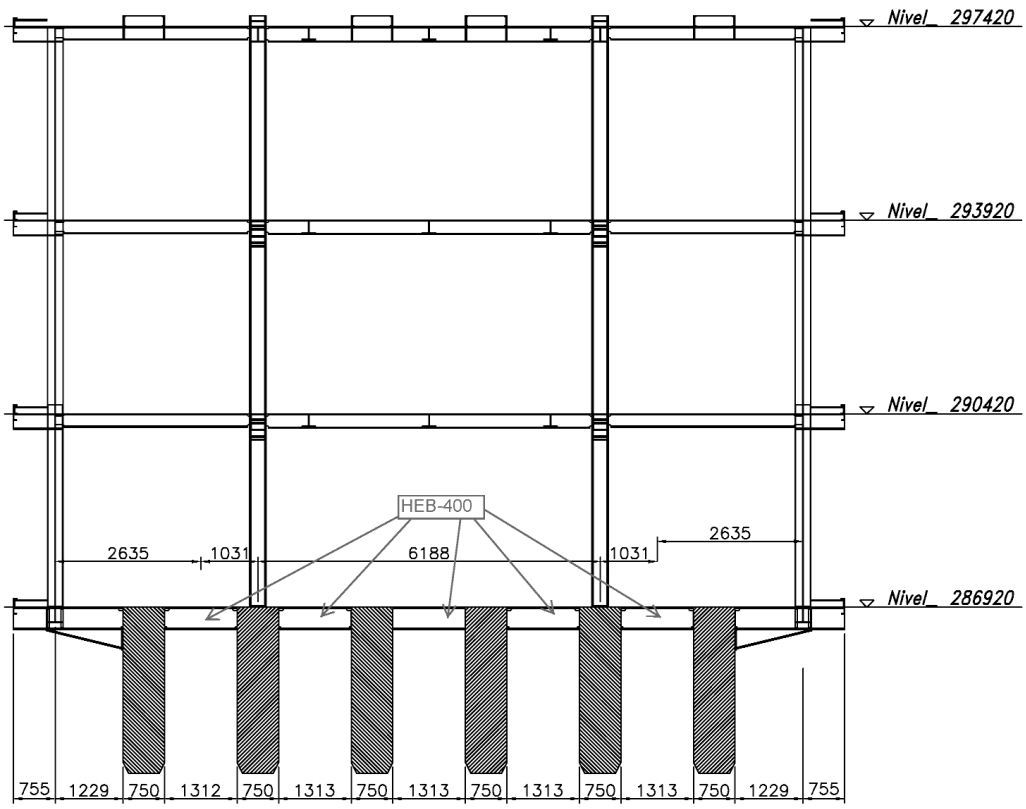

Figura 13. Pórtico transversal tipo del entramado metálico de los edificios (consejerías)
Figura 13. Typical transversal frame of the buildings ((office buildings).)

se ha tenido en cuenta la colaboración de la losa de hormigón (y la chapa nervada) para resistir los esfuerzos existentes. Es decir, el entramado no se ha calculado con la hipótesis de sección mixta. No obstante, se han dispuesto pernos conectadores sobre los dinteles de los pórticos para permitir que la losa actúe como diafragma del entramado metálico.

En las Figuras 14 y 15 se muestran diferentes etapas de la construcción de los entramados metálicos de los edificios.

Los voladizos que constituyen el extremo Norte de los dos edificios de las consejerías están formados por un



Figura 14. Entramado metálico de los edificios. Pórticos transversales unidos mediante vigas isostáticas
Figure 14. Steel structure of the buildings. Transverse frames connected by longitudinal isostatic beams



Figura 15. Vista general de la estructura de una de las consejerías con los pótticos principales finalizados y el entramado metálico superior en ejecución
Figure 15. General view of one of the office buildings with the main portals already finished and the upper frames still in construction

sections (HEB-240, HEB-260, HEB-280 and HEB-300). In the Figure 13 the typical frame for the office building is shown. These frames are connected between them by means of isostatic beams that again are made of standard steel sections of different sizes. The isostatic character of these beams is guaranteed by welding exclusively their webs to those of the frame girders.

It is important to note that the steel frame has been designed without taking into account the structural contribution of the composite floors. That is to say, the frames have not been calculated as composite sections. However, steel studs

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

elemento muy potente que proporciona continuidad a los pórticos principales en su plano y un entramado metálico interior similar al entramado estándar de los edificios. Estos conjuntos se prearmaron en el suelo y se izaron uno a uno hasta su posición definitiva como se puede ver en la Figura 16.

Como se ha comentado los forjados se resuelven mediante una losa de hormigón de 160 mm de grosor con chapa de acero nervada de 1 mm de espesor.

El forjado de los niveles 2, 3 y el de la azotea está unido a los dinteles del entramado metálico mediante pernos conectadores para permitir que la losa actúe como diafragma de dicho entramado.

La losa del nivel 1 también se conecta mediante pernos al ala superior del cordón de los pórticos principales. Ello hace que esta losa requiera mayores cuantías de armadura dado que además de su función propia de forjado también funciona como elemento de arriostramiento de los pórticos.

2.2. Palacio de exposiciones y congresos

2.2.1. Cubierta fija

La estructura principal de la cubierta fija consiste en 30 costillas paralelas con sección en cajón rectangular rigidizado interiormente. Cada costilla tiene una sección de canto variable y ancho constante de 600 mm (ver Figuras 17 y 18). Los cantos máximos alcanzan los 3.300 mm. Los espesores de las chapas que constituyen las costillas varían entre un mínimo de 12 mm (mayor parte de las almas) y un máximo de 25 mm (entorno del arco fijo). La separación entre costillas fijas es igual a 2.063mm. El diferente alzado de cada una de las costi-



Figura 16. Voladizo Norte ya situado en su posición definitiva
Figure 16. North cantilever already mounted in its final position

have been welded to the frame girders to permit that the composite floors act as horizontal diaphragms of the steel frames.

The Figures 14 and 15 show different stages of the construction of the steel frames belonging to the buildings.

The cantilevers that form the North end of the two office buildings include a very robust element that gives continuity to the main portals in their plane and an inner steel frame similar to that already described in the previous paragraphs. These sets were pre-mounted on the ground and afterwards were elevated, one by one, until their final position in the buildings, as shown in figure16.

As already commented, the floors are composite ones, with a concrete slab 160 mm thick over a ribbed thin steel sheet 1 mm thick.

The composite floors of the levels 2, 3 and also that of the roof are connected to the girders of the transverse steel

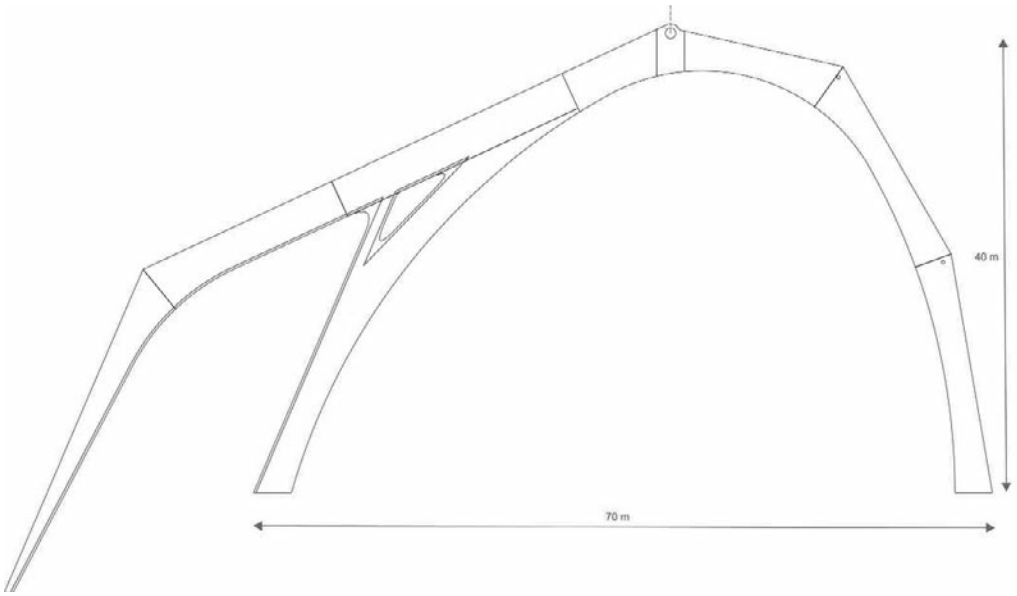

Figura 17. Alzado de la costilla fija CF-0
Figure 17. Lateral view of the fixed rib CF-0

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

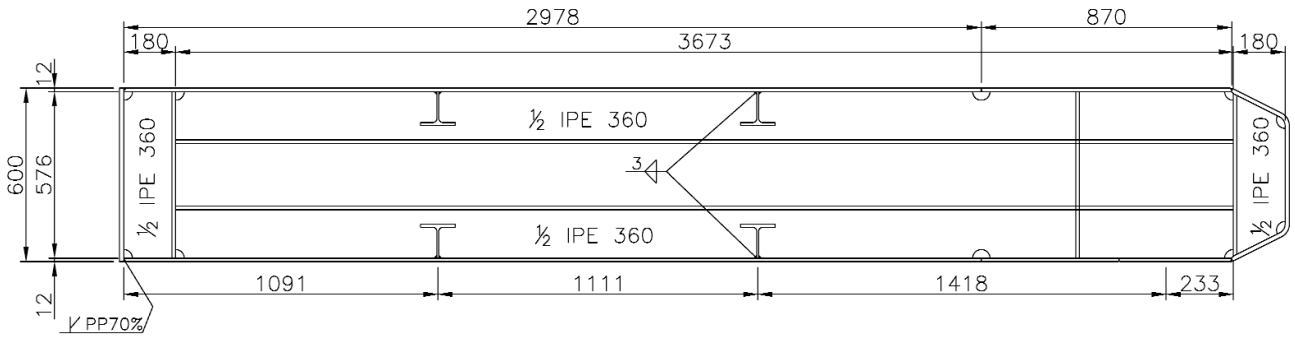

Figura 18. Sección transversal típica de las costillas fijas
Figure 18. Typical transverse section of the fixed ribs



Figura 19. Montaje de las costillas fijas del P.E.C.
Figure 19. Mounting stage of the fixed ribs of the Congress and Exhibition Center

llas fijas configura el volumen interior de la sala mayor del P.E.C (ver Figura 19).

Las costillas fijas están arriostradas entre sí mediante tres arcos que se describen a continuación:

- El denominado "Arco Fijo" es el principal elemento de vinculación entre las costillas fijas. Además es el elemento que sirve de apoyo principal a las costillas móviles de la cubierta. Se trata de un arco de sección circular de 900 mm de diámetro y espesor variable (mínimo de 30 mm en los tramos entre orejetas de apoyo de las costillas móviles y máximo de 50 mm en los tramos próximos al empotramiento con el terreno).
- En la mitad Sur de las costillas fijas existen dos arcos secundarios de arriostramiento formados por perfi-

frames by means of studs to permit that the slabs act like diaphragms of such frames.

The composite floor of the level 1 is also connected by means of studs to the upper flange of the horizontal girder of the main portals. This fact makes that the concrete slab of this floor have a higher quantity of reinforcement steel bars because, apart from its main function as a floor, it also play the role of bracing element for the main portals.

2.2. Congress and exhibition center

2.2.1. Fixed roof

The main structure of the fixed roof consists of 30 parallel ribs with rectangular transverse box section including transversal and longitudinal stiffeners. Each rib has a transverse section with a variable depth and a constant width of 600 mm (see Figures 17 and 18). The maximum depth is 3 300 mm. The thickness of the plates used to fabricate the ribs ranges from a minimum of 12 mm (most of the webs) to a maximum of 25 mm (next to the fixed arch). The distance between fixed ribs is 2 063 mm. The varying geometry of the fixed ribs shapes the inner volume of the main auditorium of the Congress and Exhibition Center (see Figure 19).

The fixed ribs are braced by means of three arches that *are described in the following:*

- *The so-called "fixed arch" is the main bracing element between the fixed ribs. It is also the structural element that functions as main support for the moveable ribs of the roof. It has a circular transverse section with a diameter of 900 mm and variable thickness (a minimum of 30 mm between the support brackets of the moveable ribs and a maximum of 50 mm next to the ground clamping).*
- *To the south of the fixed ribs there are two secondary bracing arches formed by circular hollow sections with an external diameter of 323 mm and a wall thickness of 12 mm.*

Figure 20 shows the position of the different arches previously described.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

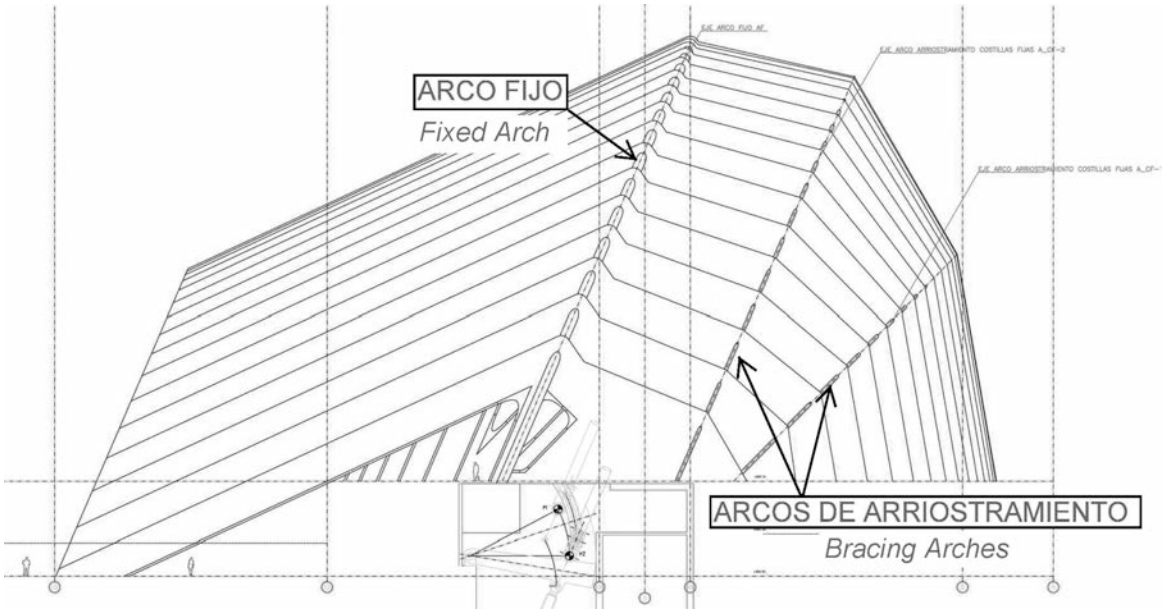

Figura 20. Costillas fijas, arco fijo y arcos de arriostramiento entre las mismas
Figure 20. Fixed ribs and bracing arches between them

les tubulares circulares de 323 mm de diámetro y 12 mm de espesor.

En la Figura 20 se indica la posición de los diferentes arcos descritos con anterioridad.

2.2.2. Cubierta móvil

La cubierta móvil del Palacio de Exposiciones y Congresos consta de 32 costillas paralelas con sección en cajón rigidizado interiormente. Cada costilla tiene una sección de canto y ancho variable como se muestra en la Figura 21. Los cantos máximos alcanzan los 4.200 mm en las proximidades del apoyo sobre el arco fijo. Los espesores de las chapas que constituyen las costillas varían entre un mínimo de 4 mm (extremo Norte de las costillas) y un máximo de 25 mm (entorno del arco fijo). Las costillas móviles se sitúan en los espacios existentes entre las costillas fijas, estando sus ejes longitudinales separados una distancia de 2.063 mm. En la Figura 22 se muestra una de las costillas móviles durante su fabricación.

El denominado "arco móvil" es el elemento que transmite el movimiento a la cubierta. Este arco de sección circular está unido a todas las costillas móviles y, en sus extremos inferiores, se articula sobre cuatro grandes cilindros hidráulicos de accionamiento (dos a cada lado) situados en unos fosos existentes en los laterales del P.E.C. Estos cilindros son los elementos que dotan de movimiento al sistema.

Para equilibrar el momento generado por el peso de los grandes voladizos existentes al Norte del arco fijo, cada costilla se ha dotado de un contrapeso de hormigón situado en su extremo Sur que reduce al mínimo los esfuerzos de tracción en el arco móvil.

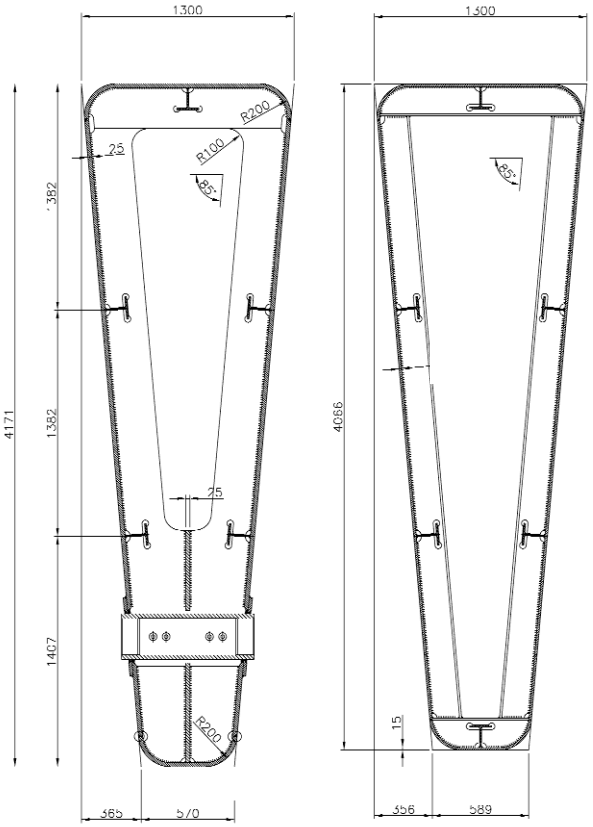

Figura 21. Secciones transversales típicas de las costillas móviles
Figura 21. Typical transverse sections of the moveable ribs

2.2.2. Moveable roof

The moveable roof of the Congress and Exhibition Center consists of 32 parallel ribs with a transverse box section including transversal and longitudinal stiffeners. Each rib has a transverse section with variable depth and width as shown in Figure 21. The maximum depth is 4 200 mm

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 22. Costilla móvil durante su fabricación en el taller
Figure 22. Shop fabrication of one of the moveable ribs

La cubierta móvil dispone también de un sistema de arriostramiento transversal para evitar que la carga de viento provoque desplazamientos inaceptables en las costillas. Este sistema está formado por tres conjuntos de barras de acero que unen las costillas entre sí (ver Figuras 23 y 24) y disponen de libertad de giro en sus extremos respecto de unos ejes de acero inoxidable alojados en el interior de las costillas móviles.

Las barras que constituyen el sistema de arriostramiento se fabrican a partir de perfiles tubulares de sección cuadrada de 220 mm de lado y 6,3 mm de espesor. Estas barras se refuerzan localmente en sus ex-

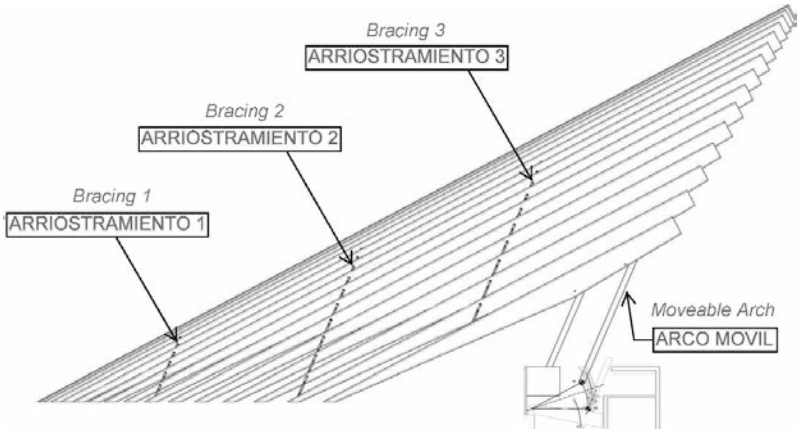

Figura 23. Vista general de las costillas móviles, el arco móvil y el sistema de arriostramiento transversal
Figure 23. General view of the moveable ribs, the moveable arch and the transversal bracing system



Figura 24. Barras de arriostramiento transversal de las costillas móviles durante su montaje
Figure 24. Mounting stage of the transversal bracing system

adjacent to the support of the fixed arch. The thickness of the plates used to fabricate the ribs ranges from a minimum of 4 mm (north end of the ribs) to a maximum of 25 mm (next to the fixed arch). The moveable ribs are located between the fixed rib and their longitudinal axes are at 2 063 mm centres. Figure 22 shows the fabrication process of one of the moveable ribs.

The so-called "moveable arch" is the element that provides the movement to the roof. This arch has a circular hollow section and it is joined to all the moveable ribs. At their lower ends, it has two hinges driven by four great hydraulic cylinders (two cylinders for each hinge) that are installed in two big housings at either side of the Congress and Exhibition Center. These cylinders are the devices that provide the power to move the system.

To balance the bending moments generated by the huge cantilevers of the moveable ribs at the north of the fixed

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

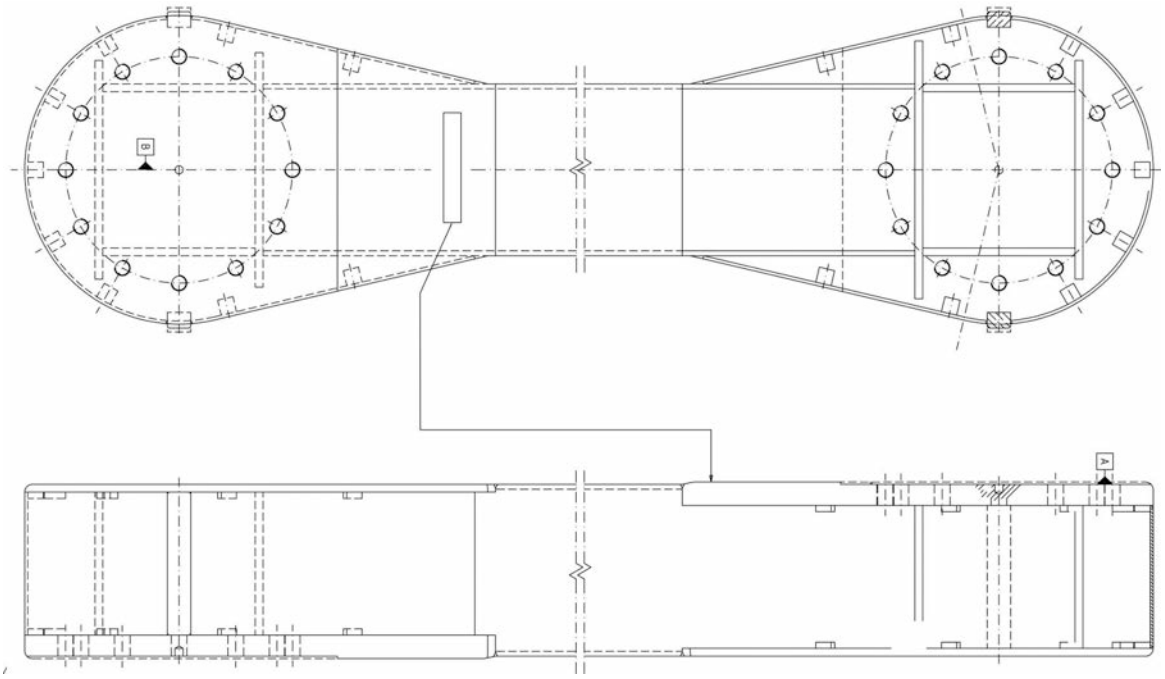

Figura 25. Geometría de las barras que forman parte del sistema de arriostramiento
Figure 25. Geometry of the bars belonging to the bracing system

tremos de unión a los ejes como se muestra en la Figura 25.

En la Figura 26 se muestra un esquema detallado de los ejes de giro situados en el interior de las costillas móviles junto con el resto de elementos que componen el conjunto mecánico de unión a las barras de arriostramiento.

2.2.3. Sistema de accionamiento

El sistema de accionamiento de la cubierta móvil está formado por dos parejas de cilindros hidráulicos alojados en sendos fosos existentes a ambos lados del P.E.C. Los cilindros se unen en su extremo inferior a un gran cojinete anclado a la estructura de hormigón y en su

arch, each moveable rib has a concrete counterweight housed in its south end. This counterweight reduces to the minimum the tension forces in the moveable arch.

The moveable roof has also a transversal bracing system that avoids unacceptable displacements induced by the wind load. This bracing system is composed by three sets of steel bars that link the moveable ribs (see figures 23 and 24). All these bars can rotate with respect to stainless steel axles installed inside the moveable ribs.

The bars belonging to the bracing system are square hollow sections with a thickness of 6.3 mm and a widht of 220 mm. They are locally reinforced at their ends as can be seen in the Figure 25.

Figure 26 shows a detailed scheme of the rotation axles

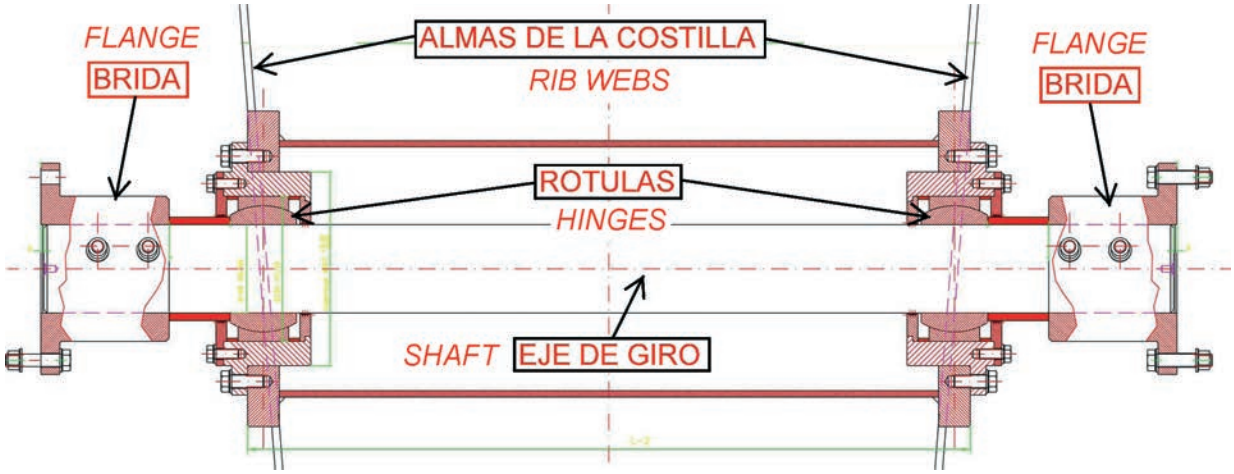

Figura 26. Detalle típico del sistema de arriostramiento. Ejes interiores de las costillas móviles, rótulas de giro y brida de conexión a las barras
Figure 26. Typical detail of the bracing system. Inner axles of the moveable ribs, hinges and connection flange to the bars

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

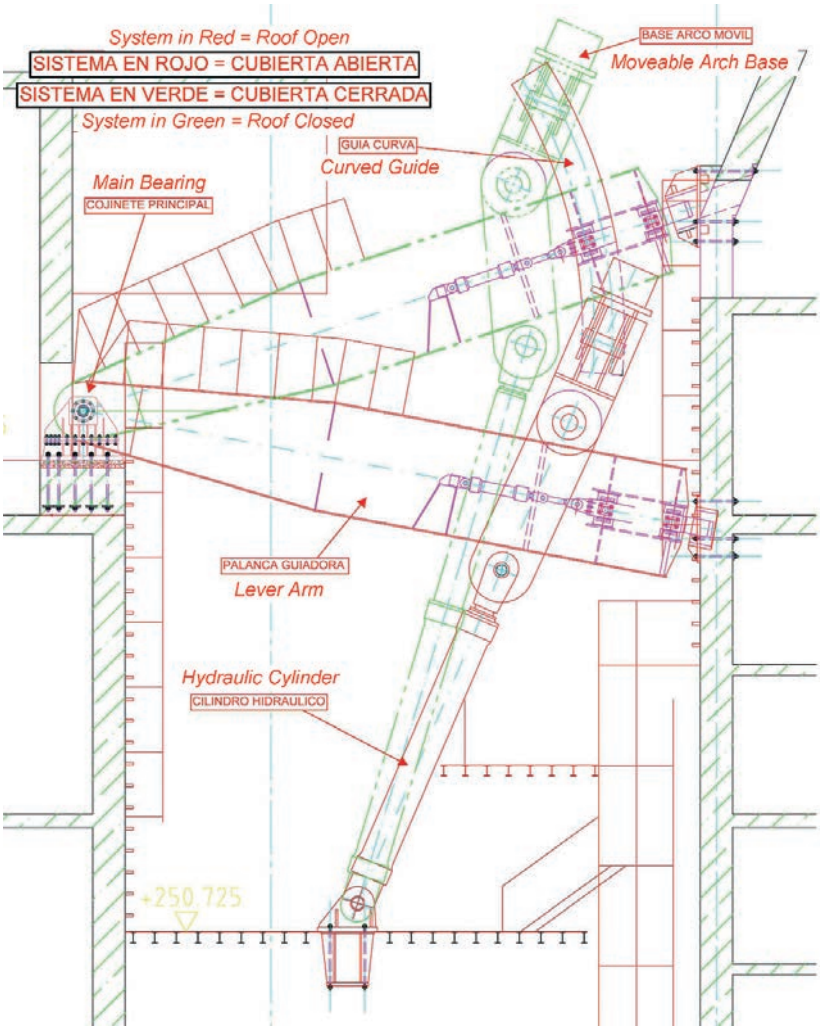

Figura 27. Sistema de accionamiento de la cubierta móvil
Figure 27. Operation system of the moveable roof

extremo superior a la denominada "palanca guiadora". Esta palanca es una viga cajón de grandes dimensiones que transfiere las fuerzas desde los cilindros hasta la base del arco móvil y se encarga de que los extremos inferiores de dicho arco describan la trayectoria curvilínea adecuada para que el desplazamiento de la cubierta pueda producirse. Ello se consigue haciendo que dichos extremos se deslicen sobre unas guías de acero inoxidable fijadas a las paredes de los fosos.

En la Figura 27 se incluye un esquema descriptivo del sistema de accionamiento de la cubierta con todos sus elementos. Notar que cuando la cubierta se encuentra en posición cerrada el pistón de los cilindros hidráulicos está en su situación de carrera máxima. Cuando la cubierta inicia su movimiento de apertura el pistón retrocede, arrastrando al arco móvil mediante la palanca guiadora, hasta quedar totalmente recogido en el interior del cilindro. En resumen, ello quiere decir que los cilindros ejercen esfuerzos de tracción sobre el arco móvil.

En la Figura 28 se muestra la localización del cojinete principal en el foso de los cilindros. En la Figura 29 se

installed inside the moveable ribs together with the rest of the elements that make up the mechanical system joined to the bracing bars.

2.2.3. Operation system

The operation system of the roof is made up of two pairs of hydraulic cylinders located in two big existing housings built at either side of the Congress and Exhibition Center. The cylinders are joined at their lower end to a huge bearing anchored to the concrete structure. At their upper end the cylinders are joined to the so-called "lever-arm". This lever is a big box girder that transfers the forces from the cylinders to the base of the moveable arch and also has the function of guiding the lowers ends of this arch through the proper curved path that allows for the displacement of the roof. This guiding action is performed such that the lower ends of the moveable arch slide over two stainless steel guides anchored to the concrete walls.

Figure 27 includes a descriptive scheme of the moveable roof operation system with all its elements. Note that when the roof is closed the pistons of the hydraulic cylinders reach their maximum length. When the roof begins to open, the piston moves back and, by means of the lever arm, it pulls the moveable arch until its total length is inside the cylinder. In short, the cylinders provoke tension forces in the moveable arch.

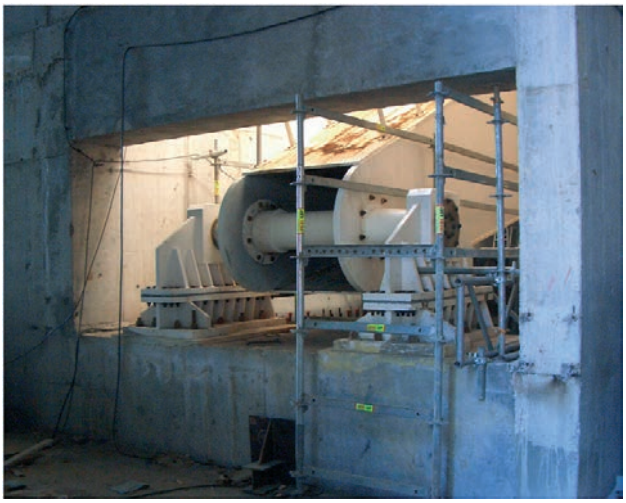

Figura 28. Cojinete principal ya instalado en el foso de mecanismos
Figure 28. Main bearing already installed

Figure 28 shows the location of the main bearing inside the concrete housing of the cylinders. In Figure 29 the hydraulic cylinders are shown and Figure 30 shows the lever arm.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

muestran los cilindros hidráulicos de accionamiento y en la Figura 30 la palanca guiadora.

2.2.4. Graderío principal de la sala mayor

El graderío principal de la sala mayor del P.E.C. que, a su vez, hace las veces de techo de la sala menor, se constituye mediante una doble losa inclinada de hormigón armado de canto variable. Dado que esta losa soporta una carga muy elevada (no solo la sobrecarga de uso de la sala mayor, que ya es considerable, sino sobre todo la carga muerta procedente del peso de las costillas fijas y móviles de la cubierta) se le han añadido un conjunto de vigas descolgadas y un muro de carga que, además de funcionar como cerramiento de la sala menor, acorta la luz del vuelo de la losa y las vigas mencionadas (ver Figura 31).



Figura 29. Cilindros hidráulicos de accionamiento
Figure 29. Hydraulic cylinders



Figura 30. Palanca guiadora antes de ser instalada en el foso
Figure 30. Lever arm before its installation in the housing of the cylinders

3. MODELOS DE CALCULO

3.1. Consejerías y hotel

3.1.1. Modelo general

Se ha generado un modelo tridimensional de elementos finitos de la estructura, que incluye tanto los pórticos principales como la estructura reticular de los edificios de las consejerías y el hotel. Fundamentalmente se han utilizado elementos *barra*, aunque también se ha recurrido a los elementos *placa* para simular los forjados mixtos de chapa nervada y las fachadas. Los elementos placa de las fachadas incluidos en el modelo no tienen una función resistente y tan solo se han modelado con



Figura 31. Vista general de la zona inferior de la losa del graderío con el muro circular y las vigas descolgadas
Figure 31. General view of the lower surface of the grandstand slab with the circular wall and the downstand beams

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

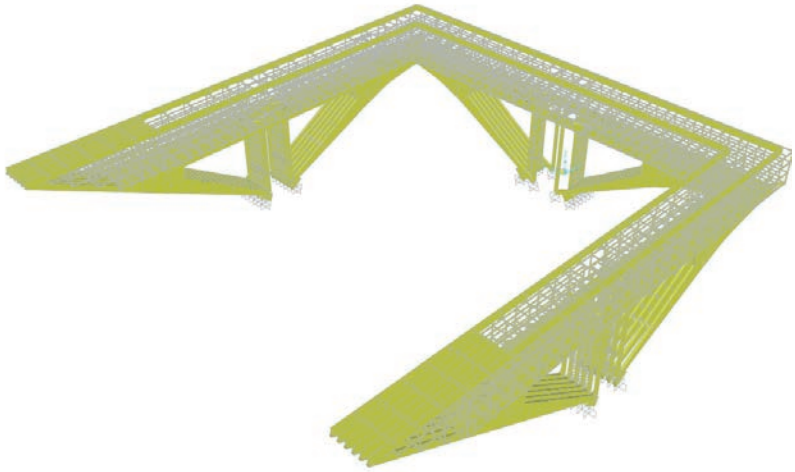

Figura 32. Vista general del modelo de cálculo
Figure 32. General view of the calculation model

el objetivo de introducir la carga permanente asociada a las mismas y aplicar la carga de viento con mayor comodidad. En las Figuras 32 y 33 se muestran diferentes vistas y detalles del modelo de cálculo.

Las bases de cálculo utilizadas y las acciones consideradas en el cálculo han sido las especificadas en los Eurocódigos [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

Las condiciones de contorno en el modelo de cálculo (condiciones de apoyo de la estructura) son las mismas en los tres edificios y se resumen en el empotramiento elástico de la base de los pórticos principales, es decir, se restringe tanto el desplazamiento como el giro en las tres direcciones espaciales de los nodos situados en la posición indicada.

2.2.4. Stand of the main auditorium

The grandstand of the main auditorium of the Congress and Exhibition Center also forms the roof of the secondary auditorium. It is made up of an inclined double reinforced concrete slab of variable depth. Since this slab is heavily loaded (not only due to the live load of the main auditorium, already remarkable, but also the dead load coming from the weight of the fixed and moveable ribs of the main roof) it has been reinforced with a series of downstand beams and a circular wall. This wall acts like the closure of the secondary auditorium and also reduces the span of the cantilevering slab and downstand beams (see Figure 31).

3. CALCULATION MODELS

3.1. Office and hotel buildings

3.1.1. General model

It has been generated a 3-D finite element model of the whole structure that includes the main portals and also the framing structure of the hotel & office buildings. Mainly the model has been constructed with beam elements, although shell elements have also been used to simulate the composite floors and the façades. The shell elements included in the model to simulate the façades have not a resistant function. They have been included to take into account properly the dead weight and also to apply the wind load in an easier way. In the Figures 32 and 33, different views and details of the general calculation model are shown.

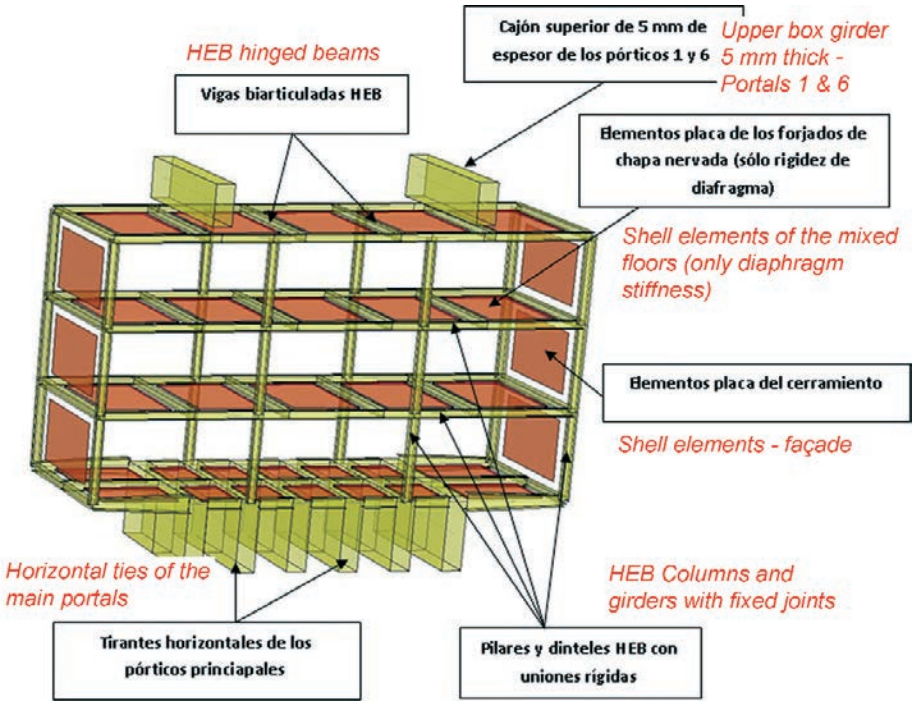

Figura 33. Detalle del modelo de cálculo (entramado reticular del edificio del hotel)
Figure 33. Detail of the calculation model (steel frame of the hotel building)

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

Todos los pórticos principales, tanto los pertenecientes a los edificios de consejerías como a los del hotel, se conectaron a la estructura de hormigón de los niveles inferiores mediante barras de anclaje "Macalloy" (no pretensadas) y llaves de cortante muy robustas soldadas a la placa de anclaje de dichos pórticos. Previamente, en el macizo de hormigón se habían dejado los huecos adecuados para el encaje de las llaves de cortante. La transferencia del esfuerzo cortante se garantizaba mediante la inyección posterior de mortero de cemento de alta resistencia en dichos huecos para rellenar los huelgos existentes tras el montaje de las bases. De todo lo anterior se deduce que la condición de empotramiento aplicada en el modelo de cálculo está más que justificada. En la Figura 34 se muestran las bases de los pórticos principales ya ancladas en la estructura de hormigón subyacente y en la Figura 35 el montaje de una de las bases.

En la Figura 36 se muestran los espesores de las chapas y la geometría de la base de apoyo de los pórticos principales.



Figura 34. Bases de los pórticos principales ya anclados a la estructura de hormigón
Figure 34. Main portals bases already anchored to the lower concrete structure

3.2. Palacio de exposiciones y congresos

3.2.1. Metodología de análisis

Al igual que en los edificios de consejerías y del hotel tanto las bases de cálculo como las acciones consideradas han sido las especificadas en los diferentes Eurocódigos, a excepción de la carga de viento para cuya determinación se realizó un ensayo en túnel aerodinámico [8].

Además de los criterios de diseño resistentes especificados en las normativas aplicables, para la cubierta del Palacio de Exposiciones y Congresos existe un criterio de diseño arquitectónico adicional según el cual el extremo Norte de las costillas móviles deberá estar situado por encima de la horizontal cuando la cubierta se encuentra abierta.

El hecho de que los extremos Norte de todas las costillas móviles deban estar en un mismo plano horizontal al finalizar el montaje de las mismas o cuando la cubierta, ya en servicio, se cierre; obliga a mantener inalterado en la medida de lo posible el sistema estático en ambas situaciones (de lo contrario se obtendrán valores de contraflechas de ejecución diferentes dependiendo de qué requerimiento se desee satisfacer: el asociado al caso de cubierta abierta o el asociado al caso de cubierta cerrada).

Dado que cubierta está concebida de forma que las costillas móviles disponen

The basis of design and the loads considered in the calculations are in accordance with the structural Eurocodes [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

The boundary conditions applied to the calculation model (supporting conditions of the structures) are the same for the three buildings and can be summed up as the elastic



Figura 35. Proceso de montaje de una de las bases de los pórticos principales
Figure 35. Mounting work of one of the bases of the main portals

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

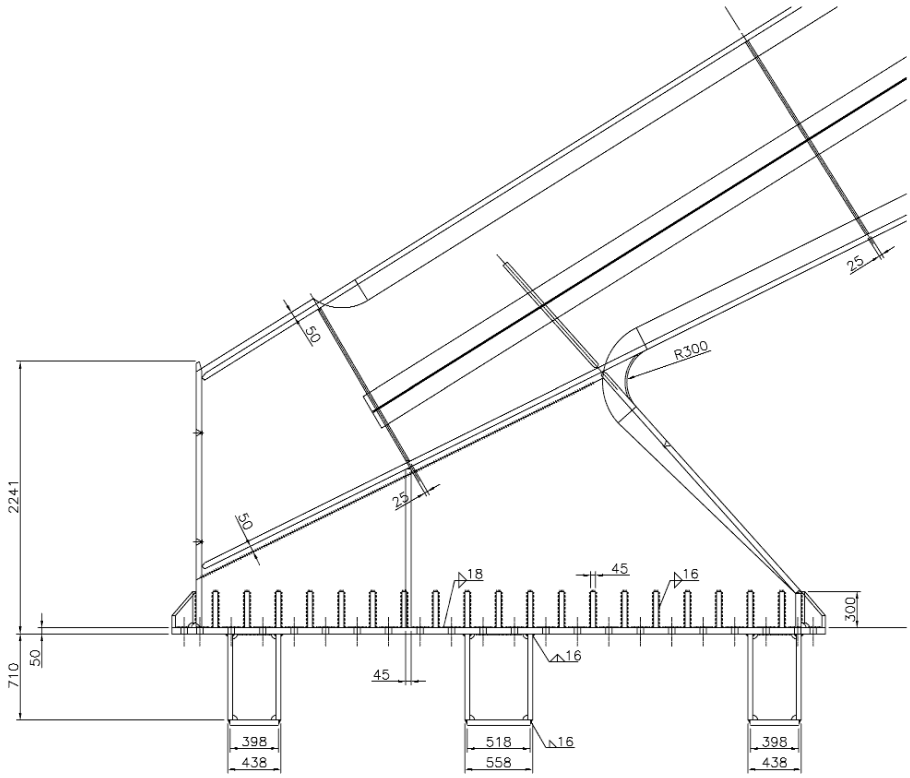

Figura 36. Geometría de la base de apoyo de los pórticos
Figure 36. Geometry of the base of the main portals

de un apoyo auxiliar sobre el arco de arriostramiento frontal cuando la cubierta se cierra, la no alteración del sistema estático implica que este apoyo auxiliar solo debe "activarse" en determinadas situaciones en las que la importancia de las sobrecargas lo recomiende. Es decir, durante la mayor parte de la vida de la estructura, las costillas móviles se apoyarán exclusivamente sobre los arcos fijo y móvil, independientemente de que la cubierta esté abierta o cerrada.

Este apoyo auxiliar debería "ajustarse" para que funcione como se ha descrito durante el proceso de montaje de las costillas móviles por lo que en su diseño definitivo ha sido muy importante tener en cuenta la capacidad de adaptación o regulación del mismo dependiendo de la geometría definitiva de la estructura una vez montada.

Todo lo anterior ha hecho necesario analizar tres modelos generales de cálculo diferentes cuyas características se detallan a continuación:

– a) Modelo de cubierta abierta.

En este modelo se introducen las siguientes cargas:

- Peso propio.
- Carga permanente.
- Sobrecarga de uso.
- Sobrecarga de viento reducido (10 m/s).
- Gradientes de temperatura.

clamping of the base of the main portals, i.e., the displacements and rotations with respect to the three spatial directions of the nodes located in such positions are constrained (set to zero).

All the main portals, all of the office buildings and all of the hotel building, were connected to the lower concrete structure by means of high strength "Macalloy" bars (not prestressed) and very robust shear keys welded to the base plate of such portals. Previously, proper holes were made in the concrete slab as housings for the shear keys. The shear force transfer was guaranteed through the later injection of high strength mortar in the holes to fill the existing gaps after the mounting of the bases. With all the previous in mind, the condition of clamping applied to the model is clearly justified. Figure 34 shows the bases of the main portals already anchored to the concrete structure and the Figure 35 shows the mounting work of one of the bases.

Figure 36 shows the plates thicknesses and also the geometry of the base of the main portals.

3.2. Congress and exhibition center

3.2.1. Analysis methodology

Same as for the hotel and office buildings, the basis of design and the loads considered have been specified according to the structural Eurocodes except for the wind load. To estimate the different wind coefficients a wind tunnel test was carried out [8].

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

Las condiciones de contorno que se aplican al modelo son las siguientes:

- Costillas fijas: Desplazamientos impedidos en las tres direcciones espaciales en los apoyos norte y sur sobre la estructura de hormigón. En el apoyo central sobre el graderío principal, debido a sus especiales características, se coaccionan los desplazamientos en el plano horizontal mientras que en dirección vertical se introducen resortes lineales con una rigidez estimada equivalente a la del voladizo de hormigón que soporta dichos apoyos. Estas constantes de rigidez, proceden del modelo de cálculo correspondiente a la estructura de hormigón del Palacio de Exposiciones y Congresos. En los tres apoyos de las costillas fijas se permite el giro respecto de los ejes perpendiculares a los planos de las costillas. En la realidad se materializarán como apoyos articulados fijos.
- Arco fijo: Desplazamientos y giros impedidos en las tres direcciones espaciales, es decir, se considera el arco fijo empotrado en la estructura de hormigón inferior.
- Arco móvil: Desplazamientos impedidos en las tres direcciones espaciales. Los giros se consideran libres en todas las direcciones por lo que la unión con los elementos hidráulicos de accionamiento se materializará mediante una rótula esférica.
- Costillas móviles: Uniones articuladas fijas con los arcos fijo y móvil.

– b) Modelo de cubierta cerrada "sin sobrecargas".

En este modelo se introducen las siguientes cargas:

- Peso propio.
- Carga permanente.
- Sobrecarga de uso.
- Sobrecarga de viento reducido (10 m/s).
- Gradientes de temperatura.

Las condiciones de contorno que se aplican al modelo son las siguientes:

- Costillas fijas: Idem al caso de cubierta abierta.
- Arco fijo: Idem al caso de cubierta abierta.
- Arco móvil: Idem al caso de cubierta abierta.
- Costillas móviles: Idem al caso de cubierta abierta.

c) Modelo de cubierta cerrada "con sobrecargas".

En este modelo se introducen las siguientes cargas:

- Peso propio.
- Carga permanente.

In addition to the resistant design criteria specified in the codes, for the roof of the Congress and Exhibition Center exists an additional architectural design criteria according to which the north end of the moveable ribs must be positioned above the horizontal when the roof is opened.

The north ends of all the moveable ribs must be positioned in the same horizontal plane at the end of the mounting stage or when the roof, already in operation, will be closed. This fact makes necessary to maintain unchanged, if possible, the static structural scheme in both situations (otherwise we will obtain different pre-camber values depending on which requirement we want to satisfy: that associated to the roof opened or that specified to the roof closed).

Since the roof is conceived in a way that the moveable ribs have an auxiliary support on the front bracing arch when the roof is closed, the unchanging of the static scheme means that this auxiliary support only must work in some situations recommended by the importance of the live loads. That is to say, during most of the life of the structure the moveable ribs will be supported only by the fixed arch and the moveable arch, irrespective of if the roof is opened or closed.

This auxiliary support would be "adjusted" to work as described for the mounting process of the movable ribs so in its final design it has been very important to take into account its adaptation or regulation capacity depending on the definitive geometry of the structure once the mounting stage is finished.

All of these considerations make it necessary to analyze three different general calculation models. Their main characteristics are described in the following:

– *a) Open roof model*

In this model the following loads are introduced:

- *Selfweight*.
- *Dead load*.
- *Live load*.
- *Reduced wind load (10 m/s).*
- *Temperature*.

The boundary conditions applied to the model are the following:

- *Fixed ribs: Constrained displacements in the three spatial directions in the north and south supports on the concrete structure. In the center support on the main grandstand, due to its special character, the displacements in the horizontal plane are constrained but in the vertical direction linear springs with an approximated stiffness to that of the concrete grandstand are introduced. The stiffness constants associated to these springs have been obtained from the calculation model corresponding to the concrete structure of the Congress and Exhibition Center. In the three supports of the fixed ribs the rotation with respect to the axis perpendicular to the rib plane is permitted. In the real structure these supports work as hinged fixed ones.*

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

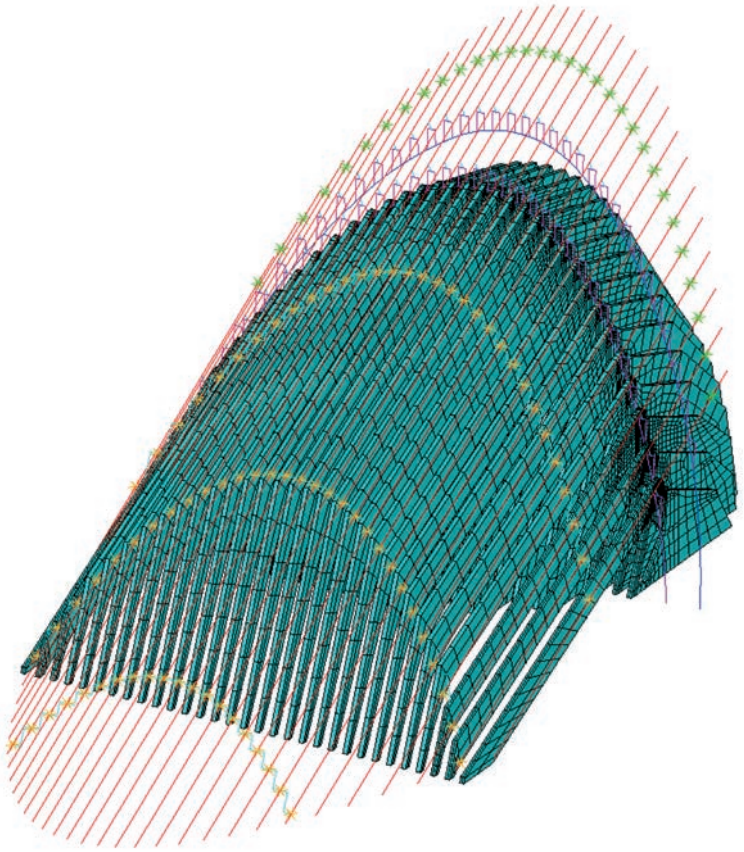

Figura 37. Perspectiva del modelo general con la cubierta cerrada
Figure 37. Perspective of the general model with the roof closed

- Sobrecarga de uso.
- Sobrecarga de nieve.
- Sobrecarga de viento máximo (28 m/s).
- Gradientes de temperatura.

Las condiciones de contorno que se aplican al modelo son las siguientes:

- Costillas fijas: Idem al caso de cubierta abierta.
- Arco fijo: Idem al caso de cubierta abierta.
- Arco móvil: Idem al caso de cubierta abierta.
- Costillas móviles: Uniones articuladas con los arcos fijo y móvil y apoyo articulado auxiliar (en la dirección vertical y transversal al eje longitudinal de la costilla) sobre el arco de arriostramiento frontal.

La estructura tridimensional del Palacio de Exposiciones y Congresos incluyendo las costillas fijas, las costillas móviles, los arcos fijo y móvil y los diferentes sistemas de arriostramiento ha sido modelada mediante el programa de análisis mediante el método de los elementos finitos ANSYS (en la Figura 37 se puede ver una perspectiva del modelo). Siguiendo la metodología descrita se han realizado los siguientes análisis para evaluar la estabilidad y capacidad resistente de la estructura:

- *Fixed arch: The displacements and rotations in the three spatial directions of the nodes located at the base of the arch are constrained, that is to say, we consider the arch clamped on the lower concrete structure.*
- *Moveable arch: The displacements of the nodes located at the base of the arch are constrained. The rotations are free in all spatial directions, so the joint with the operation system will be a spherical joint.*
- *Movable ribs: Hinged fixed joints (displacements constrained in all spatial directions and rotations free with respect to an axis perpendicular to the rib plane) with the fixed and movable arches.*

– *b) Closed roof model without live loads.*

In this model the following load are introduced:

- *Selfweight.*
- *Dead load.*
- *Live load.*
- *Reduced wind load (10 m/s).*
- *Temperature.*

The boundary conditions applied to the model are the following:

- *Fixed ribs: As in the open roof calculation model.*
- *Fixed arch: As in the open calculation model.*
- *Moveable arch: As in the open roof calculation model.*
- *Moveable ribs: As in the open roof calculation model.*

– *c) Closed roof model with live loads.*

In this model the following load are introduced:

- *Selfweight.*
- *Dead load.*
- *Live load.*
- *Snow load.*
- *Maximum wind load (28 m/s).*
- *Temperature.*

The boundary conditions applied to the model are the following:

- *Fixed ribs: As in the open roof calculation model.*
- *Fixed arch: As in the open roof calculation model.*
- *Moveable arch: As in the open roof calculation model.*
- *Moveable ribs: Hinged joints with the moveable and fixed arches and auxiliary hinged support (in vertical and transversal directions to the longitudinal axis of the ribs) on the front bracing arch.*

The 3D structure of the Congress and Exhibition Center including the fixed ribs, the moveable ribs, the fixed and moveable arches and the different bracing systems has been

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

– Análisis de 1er orden. Es el análisis básico que proporciona los esfuerzos, desplazamientos y reacciones, debido a los diferentes casos de carga aislados.

– Análisis no lineal geométrico (efectos P-Δ) para el estudio de la amplificación de los esfuerzos en los elementos comprimidos.

– Análisis modal. Se han obtenido las frecuencias naturales de vibración de la estructura y los modos asociados.

– Análisis dinámico transitorio. Se ha efectuado un análisis dinámico en la situación de cubierta abierta sometida al máximo viento permitido (10 m/s) para evaluar los desplazamientos que se producen en esas condiciones, las posibles interferencias con la cubierta fija y las vibraciones inducidas por el viento.

– Análisis locales detallados. Se han realizado diferentes modelos detallados con elementos finitos de tipo placa/lámina tanto de elementos estructurales completos como de zonas locales de especial importancia. Para la realización de estos modelos también se ha utilizado el programa ANSYS v.10.0. En concreto, los modelos analizados han sido los siguientes:

  • Modelos de las costillas móviles CM1, CM6, CM10 y CM15. Estos modelos se han utilizado para evaluar el comportamiento resistente de las costillas, optimizar los espesores de chapa utilizados en su fabricación y obtener unos valores precisos de las contraflechas de ejecución que han servido para calibrar los valores aportados por los modelos generales.

  • Modelos de las costillas fijas CF0, CF13 y CF15, utilizados para comprobar las tensiones máximas en las zonas de apoyo, la abolladura de las almas, etc.

  • Modelo de los tramos de arranque del arco fijo.

  • Modelo de la conexión arco fijo-costilla fija.

  • Modelo de la conexión arco frontal-costilla fija.

  • Modelo de las orejetas de apoyo del arco fijo correspondientes a las costillas móviles CM1 y CM14.

– Análisis del proceso constructivo. Se ha analizado la evolución de los desplazamientos y las reacciones en los apoyos de un modelo que simula el procedimiento constructivo previsto.

modeled by means of the FEM analysis software ANSYS (in Figure 37 it can be seen a perspective of such a model). According to the described methodology, the following analyses have been carried out to estimate the stability and the strength of the structure.

– *1st order analysis. The basic analysis that provides the forces, displacements and reactions due to the different single load hypotheses.*

– *Geometric non linear analysis (P-Δ effects) to study the force amplification in the compressed members.*

– *Modal analysis. With this analysis both the vibration frequencies and the associated modal shapes have been obtained.*

– *Transient dynamic analysis. A dynamic analysis for the open roof situation considering the maximum wind load permitted (10 m/s) to evaluate the displacements that can be obtained in such conditions and the possibility of impacts with the fixed ribs. Also the vibrations induced by the wind have been studied.*

– *Detailed analysis of local models. Different local FE models have been analyzed using plate /shell elements to simulate both complete structural elements and local regions of special relevance and responsibility. To generate these models again the software ANSYS has been used. The analyzed models have been the following:*

  • *Models for the moveable ribs CM1, CM6, CM10 y CM15. These models have been used to evaluate the resistant behavior of the ribs, to optimize the steel plate thickness used to fabricate them and to obtain an accurate value for the pre-camber that has been very useful to compare with the values coming from the general models.*

  • *Models for the fixed ribs CF0, CF13 y CF15, used to obtain the maximum stresses in the support zones, the possibility of local buckling of the webs, etc…*

  • *Local model of the base plate and adjacent stretch of the fixed arch.*

  • *Local model of the connection between the fixed arch and the the fixed ribs.*

  • *Local model of the connection between the front bracing arch and the fixed ribs.*

  • *Local model of the brackets that support the moveable ribs on the fixed arch corresponding to the ribs.*

– *Analysis of the constructive procedure. The evolution of the displacements and the reaction forces have been analyzed by means of a model that simulate the constructive procedure projected.*

4. PROCESO CONSTRUCTIVO

4.1. Consejerías y hotel

El proceso constructivo de las estructuras de los tres edificios se plantea según las fases que se describen a continuación:

4. CONSTRUCTIVE PROCESS

4.1. Office and hotel buildings

The constructive process of the structures of the three buildings was planned according to the stages described in the following paragraphs.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

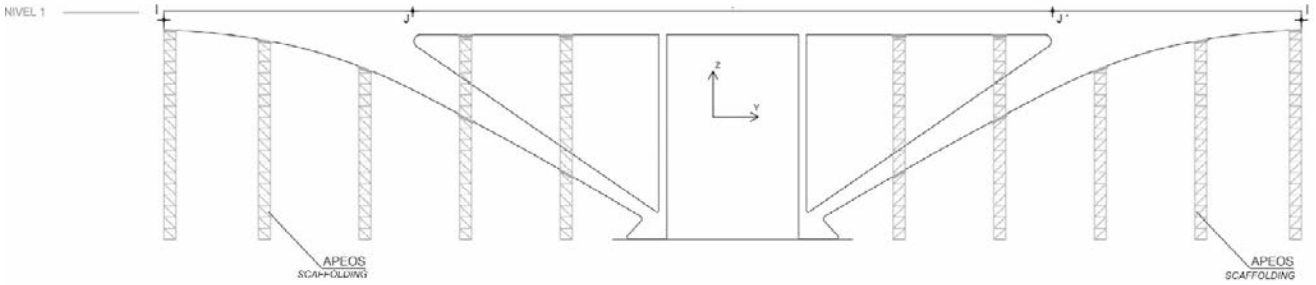

Figura 38. Esquema de la primera fase de montaje de la estructura
Figure 38. Scheme of the first stage of the construction process

1. Fabricación en taller de los pórticos principales y transporte de los mismos a obra. Montaje de los pórticos hasta el nivel +1 (cota +287,08) utilizando los apeos necesarios para garantizar la estabilidad durante el montaje. En obra sólo se realizarían las soldaduras imprescindibles y los pórticos se arriostrarían transversalmente, en caso necesario (ver Figura 38).

2. A continuación se procedió al desapeo progresivo de la estructura controlando las flechas que se produjeron como consecuencia del mismo. Es importante recordar que era una condición necesaria para efectuar el desapeo que los pórticos principales de los edificios de consejerías y del hotel estuvieran unidos en su extremo común antes de proceder al mismo.

3. Montaje de las vigas metálicas de atado entre pórticos principales existentes en el nivel 1 (cota +287,08).

4. Montaje del voladizo Norte del edificio de consejerías. También era una condición necesaria montar toda la perfilería secundaria existente en esta zona (diagonales, pórticos rígidos, …) para garantizar la estabilidad del conjunto. De nuevo se utilizaron los apeos necesarios para llevar a cabo el montaje (ver Figura 39).

5. Desapeo progresivo del voladizo Norte de los edificios de consejerías, de nuevo con el correspondiente control de flechas.

6. Montaje de la estructura secundaria de perfiles metálicos de los edificios de consejerías y del hotel,

1. *Shop fabrication of the main portals and transport to the site. Mounting of the main portals until level +1 (elevation +287.08) by using the necessary auxiliary structures and scaffolding to guarantee the structural stability during the mounting process. Only essential weldings should be executed on site and the main portals should be transversely braced if necessary (see Figure 38).*

2. *Next, the progressive withdrawal of the auxiliary structures and scaffoldings was carried out controlling the vertical displacements that appeared in the structure. It is important to remember that it was a necessary condition to withdraw the auxiliary structures that the main portals of the office and the hotel buildings were joined at their common end.*

3. *Mounting of the bracing steel sections between the main portals existing in the level 1(elevation +287.08).*

4. *Mounting of the North cantilever of the office buildings. Also it was a necessary condition to mount all the secondary steel sections existing in this zone (diagonals, rigid frames, etc) to guarantee the structural stability of the whole cantilever. Again the mounting tasks were carried out using auxiliary structures (see Figure 39).*

5. *Progressive withdrawal of the auxiliary structures used to mount the North cantilever of the office buildings, again controlling the vertical displacements of the structure.*

6. *Mounting of the secondary steel structure of the office and hotel buildings, except for the beams located in the central spans (vertical projection of the circulation*

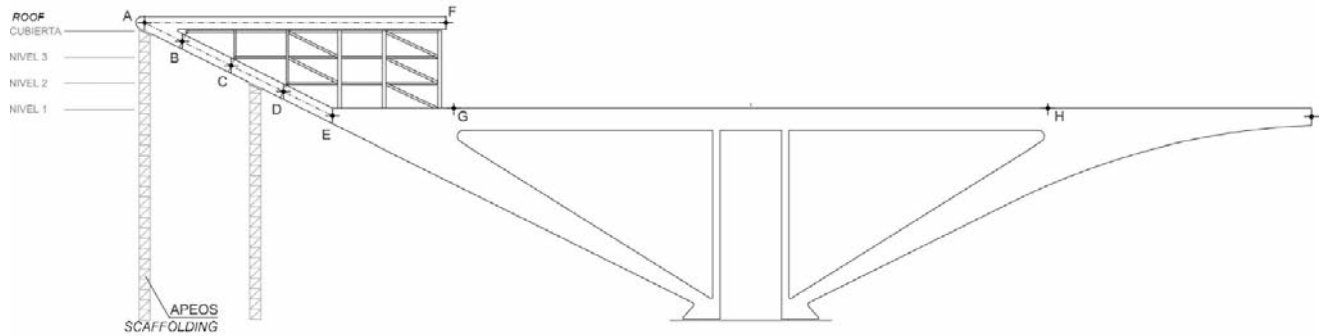

Figura 39. Montaje del voladizo Norte de los edificios de Consejerías
Figure 39. Mounting of the North cantilever of the office buildings

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

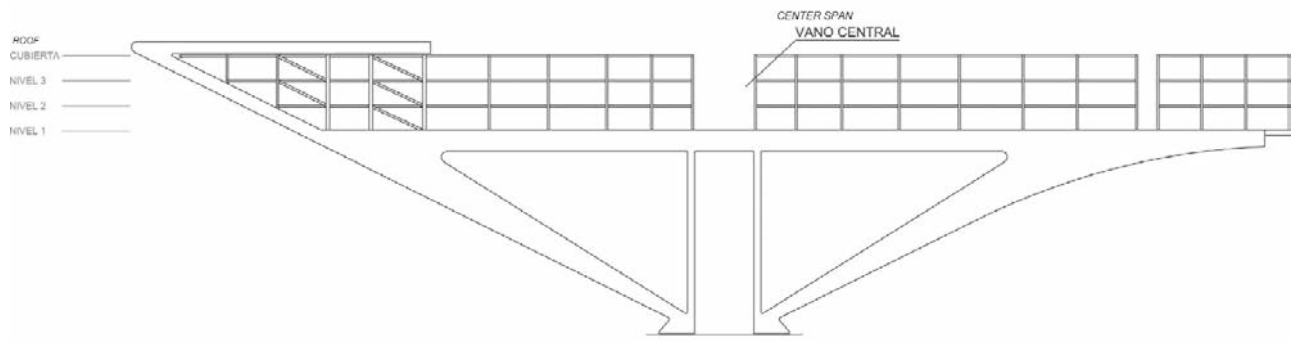

Figura 40. Montaje del entramado metálico secundario de uno de los edificios de Consejerías, a excepción del vano central
Figure 40. Mounting of the secondary steel frame of the office buildings except for the central span

a excepción de las vigas que forman los vanos centrales (proyección vertical del espacio entre las columnas de los pórticos principales, ver Figura 40). A continuación se procedió a hormigonar todos los forjados a excepción de los correspondientes a los vanos centrales.

7. Montaje de la estructura metálica restante y hormigonado de los forjados asociados. Finalmente se montaron los cordones superiores situados en la azotea (ver Figura 41).

Las torres de apeo se dispusieron finalmente en los siguientes puntos:

- Alineaciones 5, 7, 15 y 17 de los edificios Este/Oeste (consejerías, ver Figura 42a).
- Alineaciones F, G, -F y –G en el edificio Sur (hotel, ver Figura 42b).
- Zonas de unión entre los edificios de las consejerías y del hotel (esquinas Sur-Este y Sur-Oeste).

La disposición y diseño de las torres se muestra en las Figuras 43 a 46. Como se puede apreciar se trataba de tramos de grúa torre que apoyaban sobre unas robustas celosías fabricadas *ad hoc* para transmitir las cargas durante el proceso de montaje a aquéllos puntos en los que existían pilares de hormigón en las plantas inferiores. De esta forma se evitaba tener que llevar a cabo el reapeo hasta cimentación de zonas de losa que no eran

cores, see Figure 40). Following, all the composite floors were executed except for that corresponding to the central spans.

7. *Mounting of the rest of the steel structure and the associated floor panels. Finally, mounting of the upper steel chords located over the roof of the buildings (see Figure 41).*

The auxiliary mounting towers were finally located in the following positions:

- *Alignments 5, 7,15 y 17 of the office buildings (see Figure 42a).*
- *Alignments F,G, -F y –G in the hotel building (see Figure 42b).*
- *Joint zones of the three buildings (corners South-East and South-West).*

The position and design of the auxiliary structures are shown in the figures 43 to 46. As it can be seen, they were parts of tower cranes that were supported by robust trusses. These trusses were properly fabricated to transfer the loads to the proper points where a lower concrete column existed in the lower levels. In this way it was not necessary to carry out a progressive shoring until the foundation level in the concrete slab regions that were not capable to resist the transferred loads. In the head of the auxiliary towers a special supports were disposed so that later, the hydraulic jacks could be positioned without problems to carry out the withdrawal of the auxiliary structures (see Figure 46).

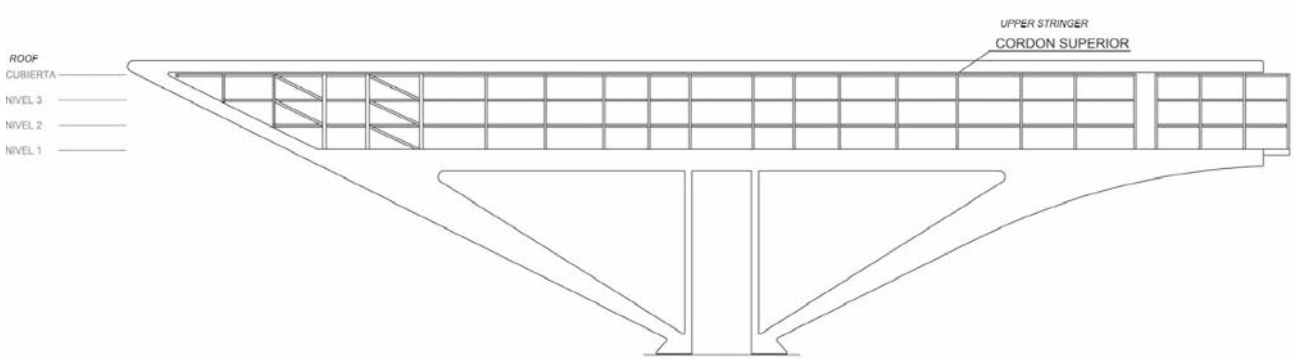

Figura 41. Etapa final del montaje de uno de los edificios de consejerías
Figure 41. Final stage of the mounting process of the office buildings

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 42. Situación de las torres de apeo: a) en los edificios de consejerías; b) en el edificio del hotel
Figure 42. Location of the auxiliary structures: a) in the office buildings; b) in the hotel building in the office buildings

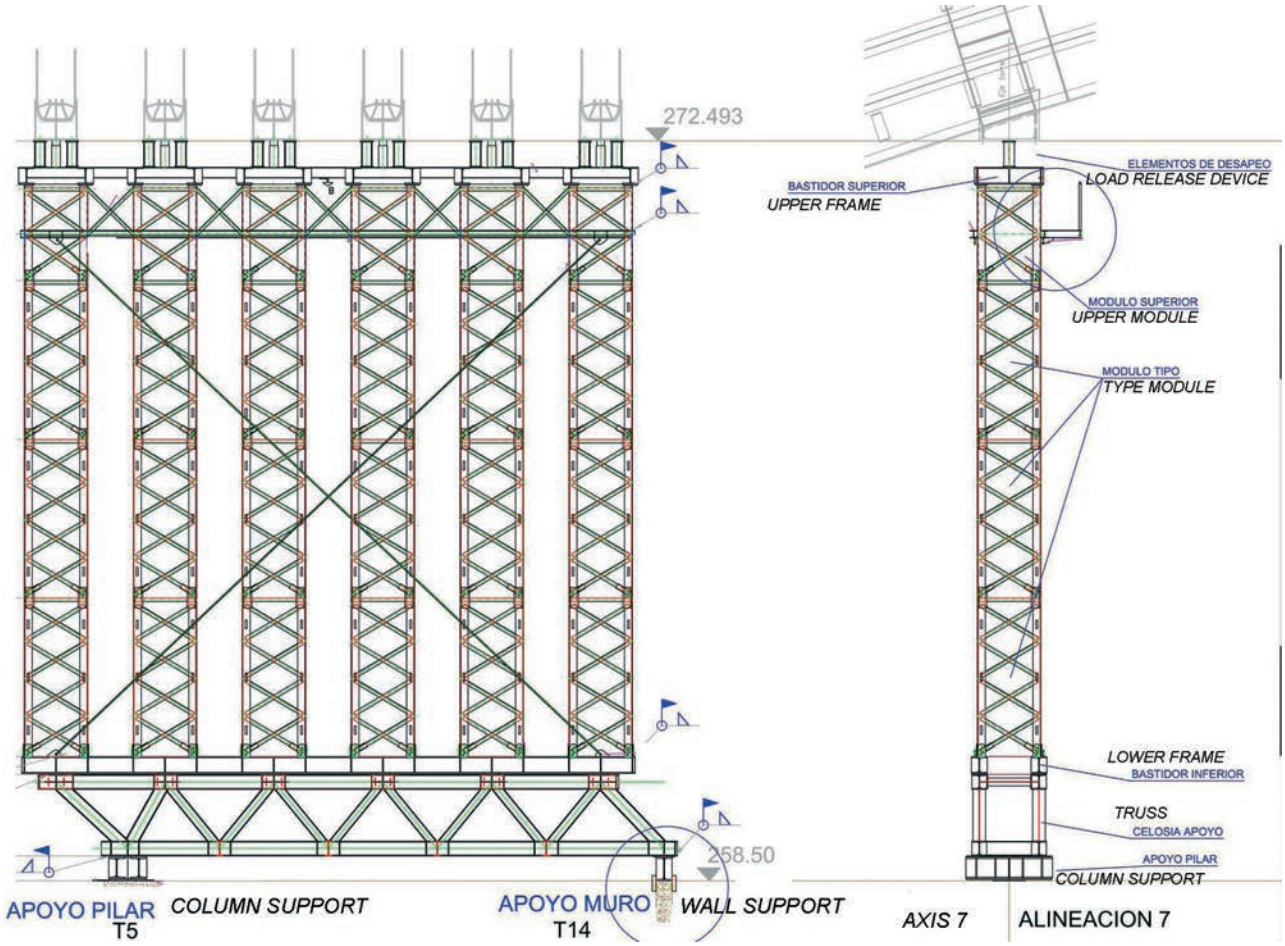

Figura 43. Diseño de uno de los conjuntos de apeo de los edificios: celosías inferiores, torres y bastidor superior
Figure 43. Design of one of the auxiliary structures used to mount the main portals: lower trusses, towers and upper frame

capaces de soportar las cargas transferidas. En la cabeza de las torres de apeo se disponían unos apoyos diseñados de forma que posteriormente pudiesen alojar los gatos hidráulicos necesarios para realizar el desapeo de las estructuras (ver Figura 46).

Durante el montaje se colocaron dianas de control topográfico en puntos relevantes de la estructura, y se mantuvieron las estaciones fijas durante todo el proceso. La situación de las dianas se definió a priori mediante sus coordenadas teóricas y se realizó un análisis

During the mounting process some targets for topographic control were put in relevant points of the structures. These targets were maintained fix during all the process. The situation of the targets was defined previously by means of their theoretical coordinates and also a numerical analysis was carried out to evaluate the different displacements that the successive mounting stages were to provoke in such points.

Also fixed measurement devices were disposed for a constant register of the climatic conditions (temperature

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

numérico para evaluar los distintos desplazamientos que las sucesivas fases de montaje iban a provocar en dichos puntos.

Se dispusieron igualmente medios fijos de lectura y registro constante de condiciones ambientales (temperatura y velocidad del viento) que permitían tomar medidas correctoras o incluso paralizar las tareas de montaje en caso necesario.

Se colocaron bandas extensométricas en los soportes superiores de las torres de apeo y se efectuó un control periódico para las distintas fases de montaje. Asimismo, se colocaron bandas extensométricas adicionales en la cara superior e inferior de algunas bases de los pórticos principales para efectuar un control tensional evolutivo desde el inicio del montaje hasta la situación de estructura final en servicio.

El desapeo de las estructuras fue realizado por la empresa Freyssinet. Se utilizaron un total de 96 gatos hidraúlicos de diferentes capacidades y carreras. Su disposición detallada se muestra en la tabla 1.

Las características de los gatos eran las siguientes:

- **200 VER 40:** Cilindro de 2.000 kN de capacidad y 40 mm de carrera.
- **250 VER 150:** Cilindro de 2.500 kN de capacidad y 150 mm de carrera.
- **90 VER 150:** Cilindro de 900 kN de capacidad y 150 mm de carrera.
- **50 V 30:** Cilindro de 500 kN de capacidad y 30 mm de carrera.

Todos los gatos estaban equipados con rótula y tuerca de seguridad y se calzaban y estabilizaban adecuadamente antes de su puesta en carga.

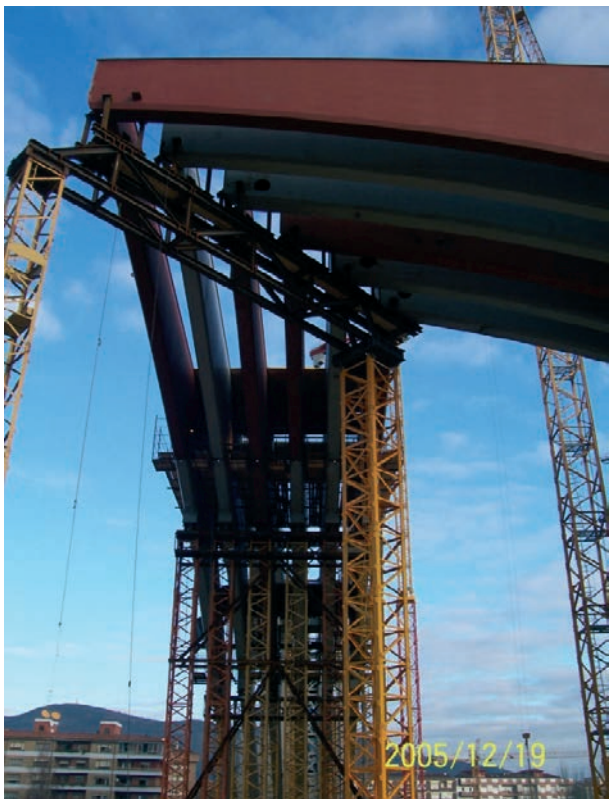

Figura 44. Torres de apeo con celosía superior en las intersecciones Sur-Este y Sur-Oeste
Figura 44. Auxiliary supports with upper truss in the South-East and South-West intersections

and speed of wind, mainly). These devices permitted to take decisions about corrections in the mounting process or even to stop the mounting tasks if necessary.

Strain gauges were put in the upper supports of the auxiliary structures and a periodic control was carried out for the different construction stages. Also, additional strain gauges were put in the upper and lower flanges of some bases of the main portals to control the evolution of the



Figura 45. Apeos del edificio de la consejería este en los que se pueden ver las celosías inferiores a poyo
Figure 45. Auxiliary supports of the East office building. In the bottom of the sets you can see the lower supporting trusses

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 46. Detalle del apoyo superior de los apeos con alojamiento para los gatos hidráulicos de desapeo
Figure 46. Detail of the upper support belonging to the auxiliary structures with housings for the hydraulic jacks

Tabla 1. Gatos hidraúlicos utilizados en el desapeo de las estructuras
Table 1. Hydraulic jacks used in the load release process

Alineación *Alignment*	**Desplazamiento máximo (mm)** *Maximum displacement (mm)*	**Carga (kN)** *Load (kN)*	**Cilindro 200VER 40** *Cilindro/Jack 200VER 40*	**Cilindro 250 VER 150 Cilindro/Jack 250 VER 150**	**Cilindro 90 VER 150** *Cilindro/Jack 90 VER 150*
17 Este / *East*	56	1.180		6	
15 Este / *East*	30	910	6		
7 Este / *East*	30	930	6		
5 Este / *East*	56	1.240 / 950		6	
Sur-Este / *South-East*	50	650			12**
G - Sur/*G-South*	32	1.070 / 820	6		
F- Sur / *F- South*	27	620	6		
17 Oeste / *West*	53	1.180		6	
15 Oeste / *West*	30	910	6		
7 Oeste / *West*	30	920	6		
5 Oeste / *West*	56	1.240 / 950		6	
Sur-Oeste / *South-East*	50	650			12**
-G - Sur / *G-South*	32	1.070 / 820	6		
-F- Sur / *F-South*	27	620	6		

** En los pórticos principales nº6, dada la poca altura libre entre la pieza y el apoyo, se dispusieron gatos **50 V 30.**
** *In the main portals nº6, due to the very limited space, the disposed jacks were of the type* ***50 V 30.***

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

Cada conjunto de 6 gatos correspondientes a una torre/alineación se conectaba a la misma presión de trabajo, salvo en las alineaciones 5 (Este/Oeste) y G,-G (Sur), donde debido a las diferencias de carga entre los pórticos interiores y los exteriores los 4 gatos interiores y los 2 exteriores se conectaban por separado.

Cada uno de estos conjuntos de gatos conectados a la misma presión se enlazaba a una central de electroválvulas y a un sensor de desplazamiento, que a su vez se encontraban conectados al Sistema de Descenso Sincronizado LAO 2000 de Freyssinet**.**

Este sistema LAO 2000 (acrónimo de Levantamiento Asistido por Ordenador), permitía la elevación sincronizada de hasta 32 puntos (en el caso del desapeo que nos ocupa el número máximo era 16) con una precisión en los desplazamientos de hasta 0,1 mm.

Una vez programado el LAO con las áreas de los cilindros, las cargas y los desplazamientos esperados, se procedía a poner en carga la estructura para retirar los apeos. En este momento se tomaba una lectura de presiones que debía coincidir con las cargas esperadas, lo que ocurrió con una desviación máxima de un 5%.

Con el objetivo de lograr un descenso uniforme, éste se realizó de forma escalonada mediante tres decrementos de carga correspondientes aproximadamente a un 1/3 del desplazamiento esperado en cada punto. En cada etapa, todos los gatos se desplazaban simultáneamente, con un error máximo de 1 mm, obteniéndose lecturas en tiempo real de cargas y desplazamientos.

Una vez completada cada fase y antes de continuar la maniobra, se verificaba que la disminución de carga en cada punto se correspondía con el descenso acumulado. Además dicho descenso acumulado nunca debía sobrepasar el valor de la contraflecha de ejecución, hecho que no sucedió.

4.2. Palacio de exposiciones y congresos

El proceso constructivo del Palacio de Exposiciones y Congresos se llevó a cabo siguiendo las fases que se describen a continuación:

1. Montaje de las costillas fijas. Se realizaba sobre apeos provisionales prefabricados como se muestra en la Figura 47.
2. Montaje de Arcos de arriostramiento traseros (zona Sur) entre costillas fijas.
3. Desapeo de costillas fijas. Retirada de torres de apeo.
4. Desapeo del voladizo de hormigón. Para controlar la carga que la losa del graderío recibiría en la fase final de ejecución, se instalaron unos soportes de acero equipados con células de carga cuyas lecturas se revisaban diariamente. Estos mismos soportes

stress levels from the beginning of the mounting process until the final state of the structures.

The load release process was carried out by the company Freyssinet. A total of 96 hydraulic jacks were used with different load capacities and strokes. The detailed scheme is shown in the table 1.

*The main characteristics of the jacks were the follow*ing:

- ***200 VER 40:*** *Jack with 2 000 kN of load capacity and 40 mm of stroke.*
- ***250 VER 150:*** *Jack with 2 500 kN of load capacity and 150 mm of stroke.*
- ***90 VER 150:*** *Jack with 900 kN of load capacity and 150 mm of stroke.*
- ***50 V 30:*** *Jack with 500 kN of load capacity and 30 mm of stroke.*

All the *jacks were equipped with a hinge and a self locking nut and they were properly stabilized before the application of the load.*

Each set comprising 6 jacks corresponding to an auxiliary structure /alignment was connected to the same hydraulic pressure except for the alignments 5 (East/West) and G, -G (South) where due to the load differences between the inner and outer main portals, the 4 inner jacks and the 2 outer jacks were connected independently.

Each one of the jack sets connected to the same pressure was linked to an electrovalves station and to a displacement detecting device. They were also connected to the Synchronized Descent System 2000 of Freyssinet.

This SDS 2000 system permits the synchronized elevation/descent of up to 32 points (in this case the maximum number was 16) with a displacement accuracy of 0.1 mm, as a maximum.

Once the SDS was programmed with the cylinders areas, the loads, and the probable displacements, the structure was loaded to release the auxiliary supporting structures. In this moment, the pressures in the cylinders were registered and compared to the previously calculated loads coming from the calculation general model. The maximum deviation observed was a 5%.

With the objective of obtaining an uniform descent, the release process was carried out step by step by means of three load drecreases corresponding approximately to 1/3 of the calculated displacement in each point. In each step, all the jacks were displaced simultaneously, with a maximum error of 1 mm. Meanwhile real-time measurements of loads and displacements were registered.

Once a step was completed and before continuing with the process, it was verified that the load decrease in each point was correlated with the cumulative descent. Also, such a cumulative descent never should be higher than the precamber value specified. This fact did not occur in any case.

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 47. Montaje de las costillas fijas sobre torres de apeo
Figure 47. Mounting of the fixed ribs on auxiliary supports



Figura 48. Soportes de acero utilizados en el apeo de la losa del graderío, instrumentados con células de carga y apoyados sobre celosías auxiliares
Figure 48. Steel columns monitored with load cells and supported on auxiliary trusses, used to support the grandstand slab

fueron diseñados para alojar los gatos que se utilizaron en el desapeo de esta losa una vez que hubo finalizado el montaje de las costillas fijas. En la Figura 48 se muestran estos soportes apoyados sobre unas celosías auxiliares que transferían la carga a los pilares de hormigón de las plantas inferiores.

5. Montaje del Arco Fijo. Una vez desapeada la estructura de las costillas fijas se inició el montaje del arco fijo, que podemos considerar como el elemento más crítico de toda la estructura, tanto a nivel de seguridad como de precisión topográfica necesaria en su montaje. La fabricación final del arco fijo en taller tuvo en cuenta las distancias reales entre costillas fijas medidas topográficamente en obra, fabricándose inicialmente con una demasía de 50 mm a ambos

4.2. Congress and exhibition center

The constructive process of the Congress and Exhibition Center was carried out according to the stages described in the following:

1. *Mounting of the fixed ribs. This was carried out on prefabricated auxiliary supports as shown in the Figure 47.*
2. *Mounting of the back bracing arches between fixed ribs (South zone).*
3. *Load release of the fixed ribs. Withdrawal of auxiliary supports.*
4. *Load release of the concrete grandstand. To control the load over the grandstand slab in the final stage, a series of steel columns monitored with load cells were installed. The data of the load cells were registered and revised daily. These columns were designed to support also the jacks that were used to carry out the load release of the grandstand slab once the mounting of the fixed ribs was finished. The Figure 48 shows these columns supported on auxiliary trusses that transferred the load to the columns of the lower floors.*
5. *Mounting of the fixed arch. Once the load release of the fixed ribs has been finished the mounting stage of the fixed arch began. This arch can be considered the most critical member of the whole structure from the point of view of the structural security and also from the point of view of the necessary topographic accuracy for its mounting. The final shop fabrication of the fixed arch took into account the real distance between fixed ribs topographically measured on site and so the different*

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 49. Izado y montaje de uno de los tramos del arco fijo
Figura 49. Elevation and mounting of one of the parts of the fixed arch

lados de cada tramo. En la Figura 49 se muestra el izado de uno de los tramos del arco fijo con las orejetas de unión a las costillas móviles ya soldadas.

6. Montaje de las costillas móviles. Las 32 costillas que constituyen la cubierta móvil se dividieron cada una para su fabricación en 5 tramos (costillas 1 a 9), 4 tramos (costillas 10 a 14) y 3 tramos (costillas 15 y 16). Estos tramos llegaban a obra individualmente y, una vez allí, y antes de su izado se realizaban los siguientes prearmados:

   - Prearmado (3+4+5) costillas ±1 a ±9.
   - Prearmado (3+4) costillas ±10 a ±14.
   - Prearmado (1+2+3) costillas ±15 y ±16.
   - Prearmado (1+2) costillas ±1 y ±14.

Los prearmados indicados se realizaban en las zonas de montaje que se habían habilitado para tal efecto en el entorno del Palacio y en las que existían unas bancadas que se habían diseñado y construido de forma que la contraflecha de ejecución de las costillas móviles estuviese garantizada tras el montaje (ver Figura 50). Durante el proceso de prearmado se introducían y montaban los ejes de los arriostramientos y del arco fijo, que se izaban conjuntamente con las piezas. Los ejes de conexión al arco móvil se introducían posteriormente.



Figura 50. Bancadas de montaje de las costillas móviles
Figure 50. Mounting rigs for the moveable ribs

parts of the arch were fabricated oversized 50 mm at both sides. Figure 49 shows the elevation of one of the parts of the fixed arch with the brackets that support the moveable rib already welded.

6. *Mounting of the moveable ribs. All the 32 ribs that form the moveable roof were divided for their shop fabrication in 5 parts (ribs ±1 to ±9), 4 parts (ribs ±10 to ±14) and 3 parts (ribs ±15 and ±16). These parts were transported to the site individually and, before their erection, the following subsets were welded and mounted on site:*

   - *Subset (3+4+5): ribs ±1 to ±9.*
   - *Subset (3+4) ribs ±10 to ±14.*
   - *Subset (1+2+3) ribs ±15 and ±16.*
   - *Subset (1+2) ribs ±1 to ±14.*

The indicated subsets were welded in the mounting areas that were built for that purpose next to the Congress and Exhibition Center. In such working areas there were a set of rigs that were designed and built so that the projected pre-camber for the moveable ribs was guaranteed after the mounting stage (see Figure 50). During the welding process of the subsets the axles belonging to the bracing system were introduced and mounted inside the movable ribs and also that of the fixed arch. All of these axles were elevated together with the parts of the moveable ribs. The connection axles to the moveable arch were introduced afterwards.

After the welding of the subsets was finished it began the elevation of them (see Figures 51 and 52). In this operation the following considerations were taken into account:

- *The moveable roof was mounted 1.6º above its theoretical closed situation. This fact had an effect on the geometry of the necessary auxiliary supports that were disposed.*

- *The subsets (3+4+5) and (3+4) were the first to be erected. Such subsets correspond to the north zone of the*

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 51. Izado del prearmado Norte (3+4+5) de la costilla móvil CM 1
Figure 51. Elevation of the North subset (3+4+5) of the moveable rib CM 1



Figura 52. Prearmado Norte de la costilla móvil CM1 ya situado sobre los apoyos auxiliares de montaje
Figure 52. North subset of the moveable rib CM 1 already mounted on the auxiliary supports



Figura 53. Chapas de acero de espesor 60 mm pertenecientes a las orejetas de unión arco fijo – costillas móviles y utilizadas para corregir las desviaciones de la posición de los ejes en el montaje con respecto a las posiciones teóricas
Figure 53. Steel plates 60 mm thick belonging to the joining brackets fixed arch – moveable ribs and used to correct the position deviations of the axles with respect to the theoretical values during the mounting stage



Figura 54. Chapas de espesor 60 mm ya soldadas a las orejetas del arco fijo y con el eje de giro de la costilla ya montado
Figure 54. Steel plates 60 mm thick already welded to the brackets of the fixed arch and with the moveable rib rotation axle already mounted

A continuación se realizó el izado de los prearmados (ver Figuras 51 y 52), proceso en el que debían tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- La cubierta móvil se montaba 1,6º por encima de su situación teórica de cubierta cerrada lo que afectaba a la geometría de los apoyos auxiliares que era necesario disponer.
- Los primeros prearmados que se izaban eran los (3+4+5) y (3+4), esto es, los correspondientes a la zona Norte. Las costillas se montaban desde el centro hacia los extremos (costillas ±1 hacia las costillas ±16).
- De los dos apoyos auxiliares que era necesario disponer para el apeo de los prearmados (3+4+5) y (3+4), uno estaba situado sobre las costillas fijas, lo que ocasionaba unas deformaciones en las mismas que a su vez generaban desplazamientos del eje teórico del *complex. The moveable ribs were mounted from the center to the sides (ribs ±1 to ±16).*
- *Two auxiliary supports were necessary to support the subsets (3+4+5) y (3+4). One of them was mounted on the fixed ribs and this fact generated some deformations that also generated displacements of the theoretical axis of the fixed arch. These displacements were taken into account when the steel plates 60 mm thick that formed the joint to the brackets of the fixed arch were welded to it. These plates are shown in the Figures 53 and 54.*
- *Once these plates were totally welded, the subsets located in the south, (1+2+3) y (1+2), were erected and mounted from the sides to the center.*
- *It was necessary to brace temporarily the moveable ribs during the mounting process due to the big displacements that the wind loads could provoke.*

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 55. Tramo de arco móvil incluyendo las orejetas de unión a las costillas antes de ser izado y montado
Figure 55. Moveable arch section, including the joining brackets, before its elevation and mounting



Figura 56. Tramos de arco móvil con orejetas ya montados en las costillas móviles
Figure 56. Moveable arch sections, including joining brackets, already mounted on the moveable ribs

arco fijo. Para corregir estos desplazamientos y evitar desviaciones en la geometría teórica de la cubierta existía la posibilidad de rectificar o suplementar las chapas de 60 mm de espesor que completaban la unión con las orejetas soldadas al arco fijo. Estas chapas se muestran en las Figura 53 y 54.

- Una vez montadas y soldadas las chapas de 60 mm mencionadas, se procedía a izar los prearmados Sur (1+2+3) y (1+2), comenzando desde los extremos hacia el centro.
- Era necesario arriostrar provisionalmente las costillas móviles durante el proceso de montaje dado que las cargas de viento podían provocar desplazamientos de magnitud importante.

7. Colocación de los contrapesos de hormigón. Finalizadas las tareas de soldadura de la totalidad de las costillas móviles y una vez realizadas las comprobaciones topográficas pertinentes para verificar que la geometría de las mismas se ajustaba a los modelos teóricos, se comenzaba a rellenar los contrapesos de hormigón a través de unos agujeros existentes en el ala superior del tramo Sur de dichas costillas. Se utilizaron dos tipos de hormigón con densidades de 2.800 y 2.200 kg/m^3. El hormigón de alta densidad se utilizó en las costillas de mayor longitud (±CM1 a ±CM3) dado que el espacio existente en las mismas para alojar el contrapeso no era suficiente para alcanzar la magnitud requerida con hormigón de densidad normal. El hormigón se vertía mediante una tolva que se izaba con las grúas torre y en todo momento se controlaba cómo la reacción vertical de las costillas móviles se iba reduciendo hasta alcanzar el valor predicho por los modelos de cálculo. Para ello se instalaron células de carga en los apoyos auxiliares situados más al Norte.

8. Montaje del arco móvil. El arco se fabricó en tramos individuales que, en algunos casos, incorporaban las orejetas de unión a las costillas móviles (ver

7. *Filling of the concrete counterweights. Once the welding process for all the moveable ribs was finished and once the proper topographic verifications was carried out to compare the real geometry with that of the theoretical models had been performed, the following task was to fill the concrete counterweights through a series of existing holes in the upper flange of the south part of the moveable ribs. Two different concrete types were used with densities of 2 800 y 2 200 kg/m^3 respectively. The high density concrete was used for the longest moveable ribs (±CM1 a ±CM3). In these ribs the limited space to house the counterweight did not permit the required magnitude with the standard density concrete to be reached. The concrete was poured by means of a hopper that was elevated with the tower crane and in every moment it was controlled as the vertical reaction of the moveable ribs was reduced to reach the value predicted by the calculation models. For this reason load cells were mounted in the auxiliary supports located in the north.*

8. *Mounting of the moveable arch. The arch was fabricated in different sections that, in some cases, also incorporated the joining brackets to the moveable ribs (see Figure 55). These sections were welded on site by means of complete penetration welding chords. Each one of the sections including the brackets was elevated above the hotel building and was connected to the corresponding moveable rib through its axle and joint bearing (see Figure 56). After that, and with the help of some special devices, the sections were rotated and located in the proper positions and, after the proper topographic verifications, the weldings that connected them to the adjacent sections were executed (see Figure 57). These adjacent sections, that had not joining brackets, were shop fabricated taking as a basis for their fabrication the topographic measurements performed on the already accurately mounted sections.*

9. *Geometric adjustment of the moveable ribs. Once the mounting of the moveable arch was finished, the following task was to adjust the position of the moveable ribs so that the mounting process of the bracing system*

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 57. Arco móvil finalizado
Figure 57. Moveable arch already finished

Figura 55) y que se soldaban en obra mediante cordones a penetración completa. Cada uno de los tramos que incorporaba orejetas se izaba por encima del edificio del hotel y se conectaba a las costillas móviles mediante los ejes y los cojinetes de la articulación (ver Figura 56). Posteriormente mediante unos utillajes especiales los tramos se giraban y colocaban en posición para, tras las comprobaciones topográficas pertinentes, unirse a los tramos adyacentes (ver Figura 57). Estos tramos adyacentes, que no incorporaban orejetas de unión, se fabricaban en taller a medida tomando como base las medidas topográficas realizadas sobre los tramos ya montados y colocados en su posición correcta.

9. Ajuste geométrico de las costillas móviles. Una vez finalizado el montaje del arco móvil se procedió a ajustar geométricamente la posición de las costillas móviles para que el montaje de los arriostramientos entre las mismas pudiese ser llevado a cabo sin problemas. Para ello se utilizaron gatos hidráulicos que se alojaron en los apoyos auxiliares situados en el Norte. Hay que tener en cuenta que en esta fase el arco móvil todavía no se había anclado a los mecanismos de accionamiento por lo que se encontraba "colgando" de las costillas móviles y ello le permitía girar libremente respecto de sus articulaciones en el arco fijo.

10. Montaje de arriostramientos entre costillas móviles (ver Figura 58). Como se trataba de uniones atornilladas, no había más que montar unos andamios que permitiesen llegar a los ejes en cuestión, elevar las barras de arriostramiento y proceder al apriete de los tornillos. Dado que las barras se habían fabricado con anterioridad, a pesar de los ajustes geométricos llevados a cabo en el punto anterior en algunos casos fue necesario suplementar las barras con casquillos adicionales para efectuar las uniones correctamente.

11. Conexión al sistema de accionamiento (ver Figuras 59 y 60). Finalmente, y tras comprobar que el sistema de accionamiento de la cubierta funcionaba correctamente tras ejecutar un protocolo de pruebas



Figura 58. Arriostramientos finalizados
Figure 58. Bracing system already finished



Figura 59. Conexión del extremo inferior del arco móvil a la palanca guiadora
Figure 59. Connection of the lower end of the moveable arch to the lever arm

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026



Figura 60. Conexión de la palanca guiadora a los cilindros de accionamiento
Figure 60. Connection of the lever arm to the hydraullic cylinders

cuya descripción está más allá del alcance de este artículo, se procedía a conectar el extremo inferior del arco móvil a la palanca guiadora que, previamente, ya había sido conectada a los cilindros de accionamiento.

Finalmente, en la Figura 61 se muestra el aspecto actual del conjunto de edificaciones Buenavista

could be easily carried out. To make these adjustments hydraulic jacks located in the north auxiliary supports were used. It should be noted that at this time the moveable arch was still not anchored to the operation system of the roof; it was hanging on the moveable ribs and the moveable ribs were free to rotate with respect to their joints with the fixed arch.

10. *Mounting of the bracing system between moveable ribs (see Figure 58). As the bracing bars were joined to the moveable ribs by means of bolted joints it was necessary to mount a scaffolding with the proper height to reach all the axles. Then the bracing bars were elevated, correctly positioned and finally bolted to the axles. The bracing bars were previously fabricated in the steel shop and, in spite of the geometric adjustments carried out, in some cases it was necessary to extend the bars by welding a little steel section of the same size as the original bar. In this way the joint was correctly executed.*

11. *Connection to the operation system (see Figures 59 and 60). Finally, and after a series of verifications carried out on the different components of the operation system according to a proof protocol whose description is beyond the scope of this paper, it was necessary to connect the lower ends of the moveable arch to the lever arm that, previously, was also already connected to the hydraulic operation cylinders.*

Finally, in Figures 61 it can be seen the present state of the whole Buenavista Building Complex.



Figura 61. Conjunto de edificaciones Buenavista en la actualidad
Figure 61. Buenavista Building Complex at present

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026

REFERENCIAS / *REFERENCES*

[1] *UNE-EN 1990: 2003. Bases de cálculo de estructuras*. Madrid: AENOR, 2003.

[2] *UNE-EN 1991-1-1: 2003. Acciones en estructuras. Parte 1-1: Acciones generales. Pesos específicos, pesos propios, y sobrecargas de uso en edificios*. Madrid: AENOR, 2003.

[3] *UNE-EN 1991-1-3: 2004. Acciones en estructuras. Parte 1-3: Acciones generales. Cargas de nieve*. Madrid: AENOR, 2004.

[4] *UNE-EN 1991-1-4-2007. Acciones en estructuras. Parte 1-4: Acciones generales. Acciones de viento*. Madrid: AENOR, 2007.

[5] *UNE-EN 1991-1-5: 2004. Acciones en estructuras. Parte 1-5: Acciones generales. Acciones térmicas*. Madrid: AENOR, 2004.

[6] *UNE-EN 1992-1-1: 2010. Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación*. Madrid: AENOR, 2010.

[7] *UNE-EN 1993-1-1: 2008. Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificios*. Madrid: AENOR, 2008.

[8] INSTITUTO DE MICROGRAVEDAD "IGNACIO DA RIVA". *Medida en túnel aerodinámico de las cargas de viento sobre elementos seleccionados del conjunto de edificaciones Buenavista de Oviedo*. Madrid: Instituto de Microgravedad Ignacio da Riva, Laboratorio de Aerodinámica, Universidad Politécnica de Madrid, 2006.

RELACIÓN DE PARTICIPANTES/*LIST OF PARTICIPANTS*

• **Propiedad** / ***Owner:***	JOVELLANOS XXI – EXCMO. AYTO. DE OVIEDO
• **Proyecto y Dirección de Obra** ***Project and Site Supervision:***	SANTIAGO CALATRAVA L.L.C.
– Autor del Proyecto / *Author of the design:*	D. Santiago Calatrava Valls
– Equipo de Proyecto / Project Team:	D. Fco. Javier Fernández Pozuelo D. Enrique Goberna Pérez D. Mario Rando Campos D. Raúl Rodríguez Fajardo
Dirección de Obra/*Site Supervision:*	D. Fco. Javier Fernández Pozuelo D. Carlos Fernández García D. Emiliano González Galaz
• **Contratista Principal/*General Contractor*:**	FIAGA S.A. D. Carlos García García D. Florencio Martínez Iturriaga
• **Taller de Estructura Metálica/*Steel Shop*:**	UTE BUENAVISTA (AUGESCON - EMESA - TRADEHI) D. Gervasio Fernández González D. José Ignacio García López D. José María García Argüero D. Abelardo del Valle Tuero
• **Sistema de Accionamiento de la Cubierta** ***Roof Operation System:***	WAAGNER BIRO AG D. Martin Lechner D. Helmut Keweg
• **Monitorización y Desapeo** ***Monitoring and Load Release:***	FREYSSINET, S.A. D. Carlos Pérez Rodríguez D. Patrick Ladret

Documento descargado de www.e-ache.com el 23/11/2026