

Rehabilitación del Palacio de Deportes de la Comunidad de Madrid

Restoration of Madrid's sports centre



Cristóbal Medina

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos



Julio Martínez Calzón

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

RESUMEN

El antiguo Palacio de Deportes de la Comunidad de Madrid sufrió un derrumbamiento de grandes proporciones en el año 2001, a causa del incendio iniciado en su cubierta en el curso de unos trabajos de conservación de la misma. Este artículo trata de la importante rehabilitación que se ha realizado para su renovación e incorporación a la fallida candidatura olímpica de Madrid 2012 como una de las principales propuestas de instalaciones deportivas.

El nuevo edificio proyectado por el arquitecto Enrique Hermoso, ocupa el mismo espacio en planta que tenía el anterior, aunque con una distribución interior notablemente reformada, ampliada y totalmente adaptada a las nuevas normativas de seguridad y utilización de edificios multifuncionales, y la incorporación de tres grandes plantas subterráneas de aparcamiento.

Después de una breve descripción del edificio se expone el esquema conceptual planteado para la estructura del Palacio de Deportes. Debido al gran número de elementos estructurales dife-

rentes que entran en juego en el mecanismo de funcionamiento de la estructura, se ha optado por separar su descripción y así poder exponer de la mejor manera posible el comportamiento estructural del sistema resistente del edificio. Posteriormente se describe el proceso constructivo seguido que ha permitido la construcción simultánea de las zonas inferiores de aparcamiento y las superiores de graderíos y cubierta, en la línea de los métodos constructivos denominados como ascendente-descendente. Finalmente se exponen los detalles más singulares de la estructura.

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CONSTRUCCIÓN

La rehabilitación del Palacio de Deportes ha sido proyectada por el arquitecto Enrique Hermoso. El planteamiento conceptual de la estructura y del proceso constructivo inicial, fue realizado por Julio Martínez Calzón y presentado por FCC Construcción y Necso, al Concurso de Proyecto y Construcción convocado en su día, siendo el equipo de estructuras de AEPO consultores el

SUMMARY

The former Sports Centre of Madrid's Territorial Authority mostly collapsed in 2001, due to a fire initiated on its wooden deck while maintenance works were taking place. This article talks about the important restoration that took place for its renewal and the inclusion to Madrid's 2012 Olympic candidature, as one of the main proposals of the sports facilities.

The new building was designed by the architect Enrique Hermoso, and occupies the same area than the former one, although the distribution of the space inside is notably different, extended and adapted to the new safety and multi-functional buildings use regulations, and the addition of three large underground car parking stages.

After a short definition of the building, the structural conceptual scheme for the Sports Centre is defined. Due to the large number of the different structural elements that form part of the working mechanism of the structure, we first define the structure, so that the explanation of the structural behaviour

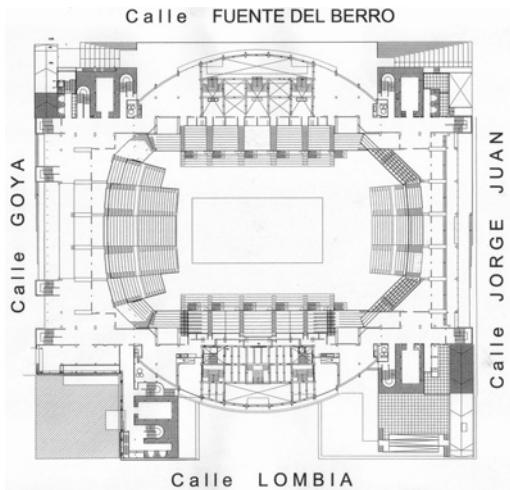


Figura 1. Planta general.
Figure 1. General plan.



Figura 2. Vista general.
Figure 2. General view.

of the load bearing system of the building could be better understood. Afterwards, the constructive process known as upward-downward that allowed for the simultaneous construction of the lowest areas of the car park and the upper deck is described. The article ends with the description of the most peculiar details of the structure.

1. DEFINITION OF THE STRUCTURE

The restoration of the Sports Centre is a design of the architect Enrique HERNÁNDEZ. The conceptual approach to the structure and the initial constructive process was a design of Prof. Julio Martínez Calzón, in the phase of Design and Project Competition. The Structure department of AEPO consultancy had the assignment of the Structure Construction Design, with the support of Prof. Juan Medina Martos.

The new Sports Centre occupies the same area than the former one, and it is formed by the following volumes or bodies, detailed in Figure 1 and observed on the photograph in Figure 2:

- One of them, the central one, is totally new. It has rectangular dimensions 150 x 70 m. It contains the track-scenario and the frontal terraces on both extremes, one of them of great height and the other one a bit lower. This is clearly revealed by the inclined shape of its great roof deck. This central body has a roof deck with a 120 metres span, with a curved axle of 230 metres radius. (Fig. 3).

The main track is seven metres beneath the access height from the street and corresponds exactly with the height of the sand of the ancient bullring that was located in the same place at the beginning of the twentieth

encargado de desarrollar el Proyecto de Ejecución de la Estructura, con el apoyo de Juan Medina Martos.

La ocupación del nuevo Palacio de Deportes se ha efectuado con la misma superficie ocupada en planta que el inicial existente, estando formado por los siguientes volúmenes o cuerpos, que se detallan en el croquis de la Figura 1 y se observan en la fotografía de la Figura 2:

- El cuerpo principal es el central, totalmente nuevo, de forma rectangular y dimensiones 150 x 70 m, en el que se ubican la pista-escenario y los gradieros frontales de ambos extremos, elevándose más en la fachada de la calle Goya que en la opuesta, lo que se refleja claramente en la forma inclinada de su gran cubierta. Este cuerpo central tiene una cubierta de 120 metros de luz, de directriz curva de 230 m de radio (Fig.3).

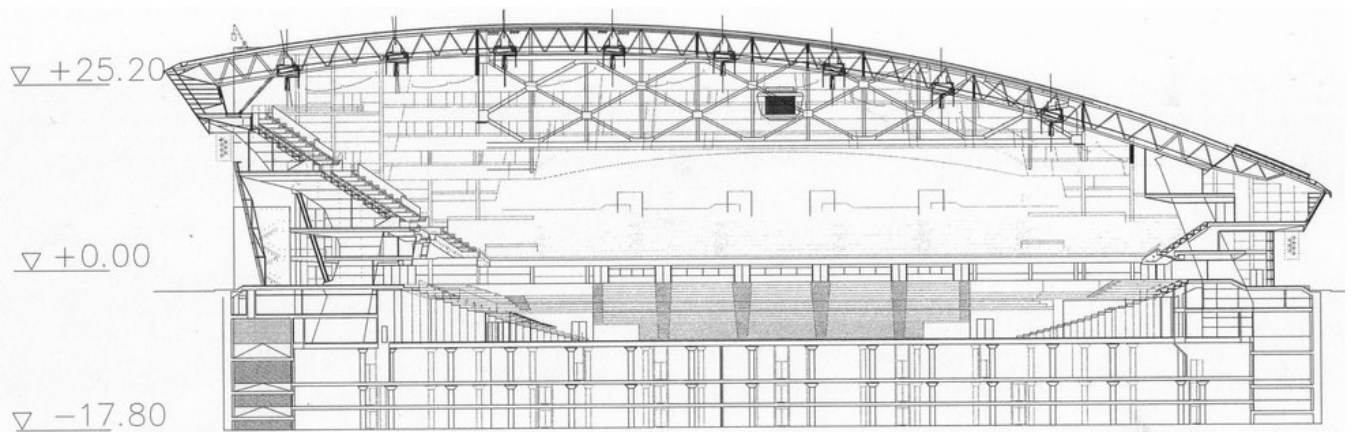


Fig. 3. Sección longitudinal
Figure 3. Longitudinal section.

La pista principal se sitúa siete metros por debajo de la cota de acceso desde la calle y coincide, justamente, con la que tenía el albero de la antigua plaza de toros que estaba en este lugar a principios del pasado siglo. Por debajo de dicha pista se han realizado tres plantas de aparcamiento subterráneas, la primera de las cuales permite la entrada de autobuses y vehículos de carga, mientras que las otras dos inferiores se destinan exclusivamente al aparcamiento de turismos. Por encima de la gran losa que forma la planta de pista se han levantado nueve niveles de plantas de diferentes tipos, situándose la última en la cota +28,00 con respecto a la calle. Desde estas plantas de circulación se accede a los graderíos, desde los cuales se divisa la totalidad del espacio interior sin ningún soporte y preparado para la realización de todo tipo de espectáculos.



Fig. 4. Cuerpos laterales (Lunetos).
Figure 4. Lateral bodies.

- Dos cuerpos, laterales, que se corresponden con los dos lunetos pertenecientes, básicamente, a la construcción original y que son los únicos elementos que se han mantenido del antiguo Palacio de Deportes. En la Figura 4 se observa su estado al iniciarse la obra.
- Cuatro torres, una en cada esquina del cuerpo central para acceso y evacuación del edificio, en las que se sitúan también las instalaciones y los servicios de las distintas plantas (Figuras 1 y 2).

2. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

En consonancia con lo anterior en el conjunto del edificio también pueden

distinguirse tres cuerpos con diferentes y muy distintas concepciones estructurales.

2.1. Cuerpo central

La estructura del cuerpo central está formada por 6 pórticos separados entre ejes 10 metros y dos tímpanos paralelos a éstos, que son dos grandes estructuras metálicas en celosía. Los seis pórticos tienen un dintel de estructura metálica formada por unas vigas espaciales de celosía de sección triangular, dispuestas longitudinalmente en paralelo al eje principal del Palacio de Deportes. La directriz de las vigas es circular con un radio de 230 m y con un canto de tres metros, con una distancia entre apoyos de 120 m completada con pequeños voladizos en cada extremo.

Los pilares de este pórtico son de estructura mixta, de modo que la estructura metálica de montaje, que se explicará posteriormente, queda integrada en el hormigón que dará las secciones definitivas a las pilas. Las pilas son de sección variable, y se pretensan, a efectos de minimizar las deformaciones del pórtico. Aún así, en los pórticos centrales, fue necesario aumentar la rigidez de los pilares de la Calle Goya, introduciendo un puntal metálico de gran área, tal como se observa en el croquis de la Figura 5. Las pilas de hormigón soportan las losas y vigas de hormigón de las diferentes plantas de acceso y distribución, y los graderíos frontales. Estas losas que unen todas las pilas tendrán

los pilares de la Calle Goya, introduciendo un puntal metálico de gran área, tal como se observa en el croquis de la Figura 5. Las pilas de hormigón soportan las losas y vigas de hormigón de las diferentes plantas de acceso y distribución, y los graderíos frontales. Estas losas que unen todas las pilas tendrán

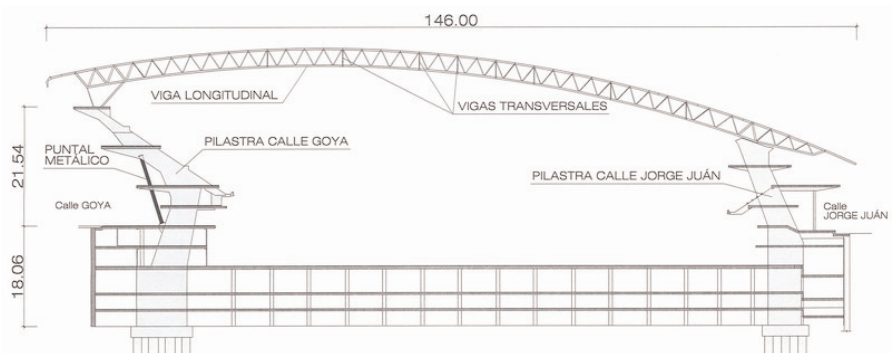


Fig. 5. Pórtico del cuerpo central.
Figure 4. Frame of the central body.

century. Three underground car parking floors have been built beneath this track. The first floor allows for the entrance of buses and heavy loaded vehicles, whilst the lower two are designed only for car parking. Over the big slab that forms the ground of the track, nine different floors have been raised, being the highest one +28,00 m high above the street level. These circulation floors give access to the terraces, from where the total indoor space can be contemplated without being disturbed by any support and ready for any type of show.

- The other two bodies, the lateral ones, correspond to the two lateral walls, that basically belonged to the original construction and that are the only elements that were kept from the former Sports Centre. Figure 4 shows the aspect at the beginning of the works.
- Four towers, one on each corner of the central body to accede and evacuate the building, and where the installations and services of the different stages were placed (Figures 1 and 2).

2. DEFINITION OF THE STRUCTURE

According to the previous description three different parts or bodies can be differentiated on the whole of the building, with very different structural conceptions.

2.1. Central body

The structure of the central body is formed by six frames separated 10 metres between them and two spandrel elements parallel to those frames that

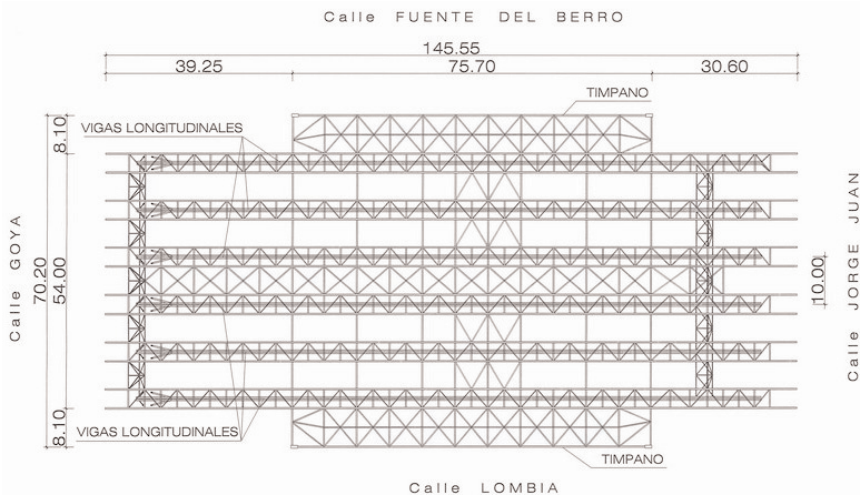


Figura 6 . Planta de estructura del cuerpo central.
Figure 6. Plan view of the central body structure.

are two great metallic trusses. The six frames have a lintel of metallic structure formed by spatial beams of triangular section in truss. They are longitudinally placed parallel to the main axle of the Sports Centre. The beams' shape is circular with 230 m radius, three metres depth, and 120 m distance between supports. This is completed with short cantilevers on each extreme.

The pilasters of this frame are composite structures so that the auxiliary steel structure, that will be explained afterwards, is embedded in concrete constituting the definite pilaster sections. The pilasters have variable sec-

tion and are prestressed, in order to minimise the deformations of the frame. However, it was necessary to increase the stiffness in the central pilasters of Goya Street in the central frames, by introducing a steel strut of great area, as shown in Figure 5. The concrete pilasters support the slabs and concrete beams at the different access and distribution floors, and the frontal grading. The slabs that join all the pilasters will have an important general structural function of sharing loads and deformations.

The beam of the frame is embedded in the lowest pile, whilst is elastically con-

una importante función estructural general, de reparto de cargas y deformaciones.

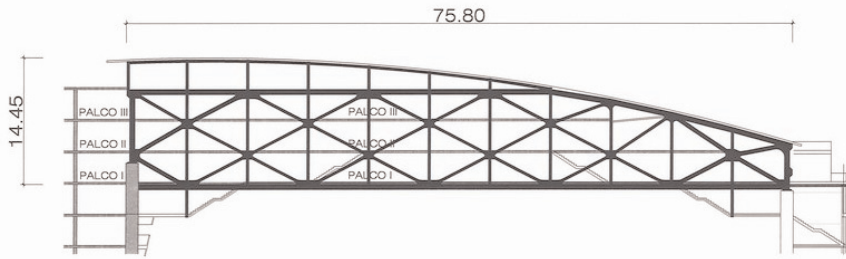
El dintel del pórtico se empotra en la pila de menos altura (Calle Jorge Juan), mientras que se conecta a la pila más alta de forma elástica, con dos elementos (ver figs. 5 y 17) que se encuentran con la pila de hormigón, dejando un espacio entre ellos: este encuentro fue motivado por la necesidad de dejar paso peatonal justamente en ese punto. No obstante, el efecto arco es muy importante.

Las vigas dintel están unidas transversalmente mediante otras vigas de celosía planas de igual canto, para arriostamiento y reparto transversal de cargas.

Otros elementos significativos de la estructura de este cuerpo central, son los llamados tímpanos (Ver Figuras 6 a 11), que son las estructuras que limitan con los cuerpos laterales procedentes del antiguo Palacio. Estas dos potentes vigas-tímpano son unas celosías de gran canto (10 m) constituidas por barras formadas por perfiles en cajón armados rectangulares, de 30 cm de anchura. La prolongación longitudinal de los tímpanos, se efectúa con estructura de hormigón que enlaza con las cuatro torres de esquina. Los tímpanos, como se observa en las Figuras 7 y 9, recogen por uno de sus lados, en el cordón superior, las vigas



Figura 7. Vista de la estructura del cuerpo central.
Figure 7. View of the central body structure.



connected to the highest pile by means of two elements (see figures 5 and 17) that reach the concrete pile, leaving a gap between them: this is due to the necessity of leaving pedestrian access at that point. Nevertheless, the arch effect is very important.

The beams are transversally joined by means of another plane truss beams of the same height to stiff and share transversal loads.

Other significant elements of the structure of the central body are the spandrel trusses (see figures 6 and 11). These structures are placed beside the lateral bodies that were part of the former Sports Centre. These two big spandrel elements beams are trusses of great height (10 meters) constituted by rectangular shaped reinforced bars 30 centimetres wide. The longitudinal enlargement of the tympanums is a concrete structure that joins the four towers at the corners. The spandrel trusses pick at the upper chord on one side, the main transversal deck beams, as shown on Figures 7 and 9. On the other side, they receive on their lower chord the pieces of the deck that link the central body to the lateral walls.

The structures of the boxes are also joined to the spandrel trusses at +18 and +21,5 high. These boxes lay on one side of the spandrel, and also hung to the first series of transversal beams beside those spandrels (Figure 9). These boxes work as beams and also stabilised the truss on the perpendicular plane. Finally, the spandrel itself on its outer face receives the vertical frontage that close the difference of levels between both types of decks.



Figura 8. Alzado y foto del tímpano lateral.
Figure 8. Front view and foto of the lateral spandrel truss.

transversales de la cubierta principal. Por el otro lado, cada tímpano en su cordón inferior recibe las piezas de las cubiertas que unen el cuerpo central con los cuerpos (lunetos) laterales existentes.

Ambos tímpanos son también los elementos a los que se adosan las estructuras de palcos en las cotas +18 y +21,5. Estos palcos apoyan en un lado en el propio tímpano, y cuelgan también de la primera serie de vigas transversales adyacentes a dichos tímpanos (Figura 9). Estos palcos, trabajando como vigas en su plano estabilizan el propio tímpano en su plano perpendicular. Finalmente, el propio tímpano en su cara exterior,

recibe la fachada vertical que cierra el desnivel existente entre ambos tipos de cubiertas.

Como elementos y detalles estructurales más significativos de este cuerpo central, se detalla seguidamente la composición de la viga dintel del pórtico y de su unión con los pilares de hormigón.

Como se ha señalado la luz de este dintel es de, aproximadamente 120 metros, variando ligeramente de unos pórticos a otros, debido a la curvatura en planta de las fachadas del Palacio, mientras la separación entre dinteles es de 10 metros. En

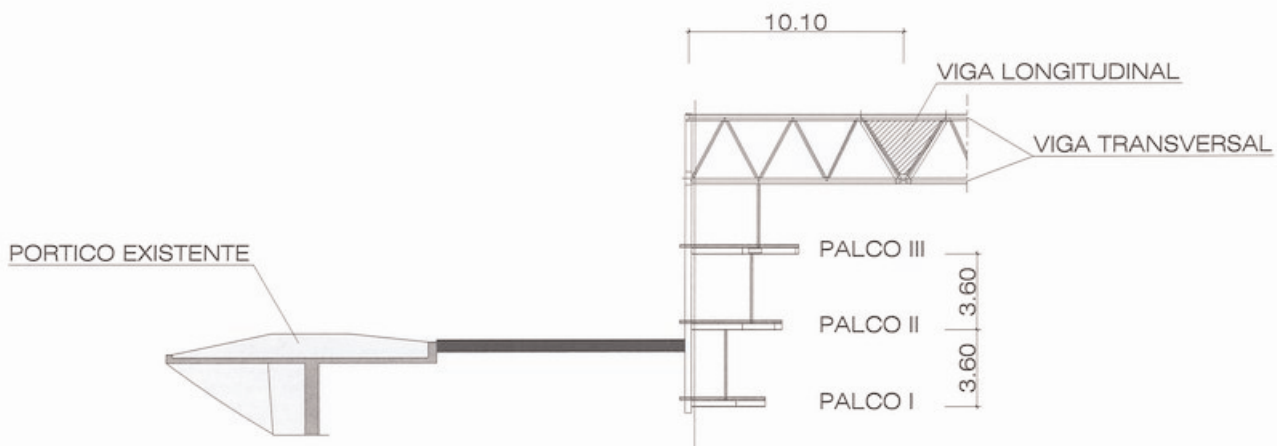


Figura 9. Sección transversal de tímpano, mostrando palcos.
Figure 9. Transversal section of the spandrel truss, showing the structure of the boxes.



Figuras 10 y 11. Vista exterior e interior de tímpano
Figures 10 and 11. External and internal view of the spandrel truss.

The most significant elements and details of this central body are the main beam of the frame and the join to the concrete piles.

As it was mentioned before the span of this main beam is 120 metres, slightly changing due to the curvature of the frontages and the 10 meters distance between beams. Important stresses appeared so that the constructive system needed to be as stable as possible.

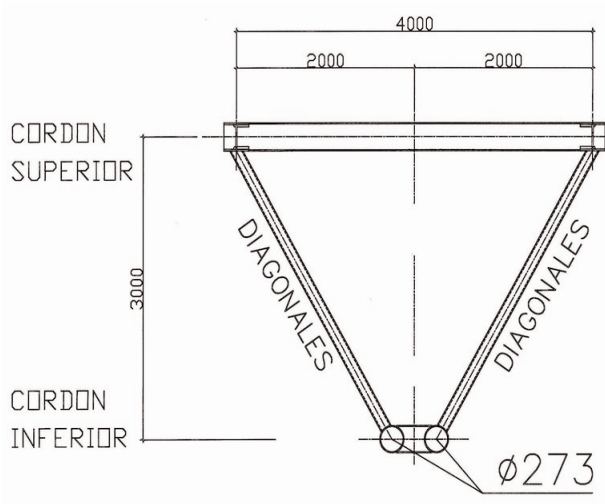
The main beam had triangular section with its three faces formed by trusses (figures 12 and 13). It is 3 metres high.

The distance between its two upper chords is more than 4 metres. This section allows for the beams to be very stable on the construction process because of the great radius forced by the distance between the upper chords. At the same time roof secondary it allows to minimize the span of the beams to a

maximum of 6 metres. The diagonals are tubular and the lower chord is also formed by very close tubular profiles with a distance of 50 cm between axes, where the diagonal planes of the piece reach. The lower chords have 273 mm diameter and a variable thickness between 12 and 40 mm. The diagonals are made of 127 mm tubes and variable thickness from 12 to 25 mm. The reason of shape of this lower chord is to facilitate the manufacturing of the two trusses of the lateral planes. That could be performed horizontally; besides the joint of the four diagonals on a single point of the lower chord is avoided, which would have obliged a great diameter tube. So that the punching shear of the diagonals is avoided. Nevertheless the connection elements of the lower tubes need to be calculated with torsion effort and the transmission stress due to the joint also coincides with the lower chord of the secondary truss. The two upper chords are formed by a HEB beam to allow for the support and con-

este dintel aparecían esfuerzos muy importantes y, por el sistema constructivo, debía ser lo más estable posible.

La sección transversal del dintel es triangular, con sus tres caras formadas por vigas en celosía (Figuras 12 y 13). Su canto es de 3 metros y, por tanto, de gran esbelteza respecto a su luz. La separación de sus dos cordones superiores es de 4 metros. Esta sección permite que la viga sea muy estable en montaje, por el gran radio de giro que le da la separación entre los cordones superiores. Asimismo permite que la luz de las correas, disminuya y pase a ser como máximo de 6 metros. Las diagonales son tubulares, y el cordón inferior está constituido por dos perfiles también tubulares muy próximos, en paralelo a 50 cm entre ejes, a cada uno de los cuales acomete uno de los planos de diagonales de la pieza. Los cordones inferiores tienen un diámetro de 273 mm y un espesor variable entre 12 y 40 mm. Las diagonales son tubos de 127 mm y espe-



Figuras 12 y 13. Sección de las vigas longitudinales.
Figures 12 and 13. Transversal section of the longitudinal beams.



Figuras 14 y 15. Detalle de apoyo de las vigas longitudinales en el lado Jorge Juan.
Figures 14 and 15. Detail of the connection between longitudinal roof beams and concrete pilaster on Jorge Juan side.

sores variables entre 12 y 25 mm.. El motivo del desdoble de este cordón inferior es el de facilitar la fabricación de las dos potentes cerchas de los planos inclinados, que se pueden realizar en posición horizontal; además, se evita el encuentro de cuatro diagonales en un único punto del cordón inferior, lo que obligaría a poner un tubo de gran diámetro, y se evita el conocido punching shear (o punzonamiento) de las diagonales en el tubo del cordón, por su pequeño diámetro. Esto, no obstante, implica que los elementos de conexión entre los dos tubos inferiores, deban ser calculados con los esfuerzos que aparecen en ellos debidos a los rasantes producidos por la torsión y a los esfuerzos de transmisión del esfuerzo del cordón inferior de las cerchas secundarias (las perpendiculares) que acometen precisamente en esos nudos.. Los dos cordones superiores se forman con perfiles laminados tipo HEB para facilitar el apoyo de la cubierta y la conexión con la

misma estando, asimismo, unidos entre sí por una celosía situada en el plano horizontal. Por la gran carga de las diagonales fue necesario rigidizar el alma de estos perfiles abiertos.

El empotramiento de este dintel en la pila de la calle Jorge Juan (la más baja) se realiza vinculando dos nudos de la celosía del dintel al hormigón de la pila, como se observa en las Figuras 14 y 15. Uno de estos nudos pasará tracciones al hormigón (en el lado externo del pórtico) mientras que el otro transmitirá compresiones: de ahí la diferencia entre los dos detalles de conexión.

La unión del dintel con el otro pilar de hormigón, el más alto, situado en el frente de la calle Goya, se realiza a base de unas barras metálicas, a modo de trípode, que confieren mayor flexibilidad a este nudo que en el caso anterior. Se observan en las fotografías de las Figuras 16 y 17 las uniones de todos

nection to the deck. They also are connected by a horizontal truss. It was necessary stiff the web of these opened profiles due to the great loads at the diagonals.

The embedment of this beam on the pile of the Jorge Juan street (the lowest one) is performed by linking two joints of the truss to the concrete pile, as it is shown in figures 14 and 15. One of these joints transmit traction stresses to the concrete (at the outer side of the frame) while the other will transmit compression stress. This is the reason for the two different joint details.

The joint between the main beam to the other concrete pile (the highest one) placed at Goya street is performed by means of steel bars like a tripod that transmit more flexibility to this linking than in the previous case. On figures 16 and 17 the linking of these elements are observed. Due to its spatial character



Figuras 16 y 17. Detalle de apoyo de las vigas longitudinales en el lado Goya.
Figures 16 and 17. Detail of the connection between longitudinal roof beams and concrete pilaster on Goya side.

and in order to avoid parasite stresses, spherical spin were placed at the joint of the bars to the concrete.

From the structural point of view, this central body is completed with the horizontal reinforced concrete slabs that form the stages at the frontal areas of the building, that mainly extend over the concrete piles (see figure 5) as well as the elements for the support of the grades.

2.2. Lateral walls

The second body of the building is integrated by the two lateral terraces and their decks. As it has been mentioned before, the structures of these systems are made of conventional reinforced concrete, and correspond to the main terraces of the former centre, that after a restoration could be used. On the upper dorsal extreme, they receive in a similar way as the original disposition, the other edges of the lateral decks. On their inner edge, they are supported isostatically on the lower edge of the spandrel truss beams which shape is precisely adapted to the required one by means of the intersection of the plain of the tympanum with the surfaces of the lateral decks (see figures 10 and 11).

2.3. Access and service corners

The third body of the building is formed by the four towers at the inner corners, of the big cross that outcomes

due to the intersection of the two bodies described before. Great part of the vertical access systems are placed at these zones: stairs, lifts, installations, etc., and structurally present a series of concrete fronts and frames, as well as metal diaphragm of vertical trusses, 11 metres high, structural elements for the resistance to occasional horizontal stresses and wind force.

3. STRUCTURAL BEHAVIOUR

The functional bodies already described the main body formed by the frames of great span and the spandrel truss beams that join this body to the lateral walls, the lateral walls themselves, and the four towers, form a complex of heterogeneous structural behaviour. This complex structurally works as a whole without joints.

This obliges to study a spatial analysis of a global model. Due to the big amount of elements, the model is completed with more controlled plane analysis.

The central body has very flexible elements, that are the frames already described and two very rigid elements that are the spandrels completed by a concrete structure. In this sense and taking into account that the four towers at the corners were necessary to resist the wind efforts, the central body is also connected to these towers, as well as to the existing lateral walls. Great part of

estos elementos. Dado su carácter espacial, y para evitar flexiones parásitas se colocaron rótulas esféricas en la unión de las barras con el hormigón.

Este cuerpo central, desde el punto de vista estructural se completa con las losas horizontales de hormigón armado que forman las plantas de las zonas frontales del edificio, y que predominantemente se extienden en voladizo hacia fuera de las pilastras, como se observa en el croquis de la figura 5, así como los elementos para apoyo de gradas.

2.2. Lunetos laterales

El segundo cuerpo del edificio lo integran los dos graderíos laterales y sus cubiertas. Como se ha mencionado antes, las estructuras de estos dos sistemas son de hormigón armado convencional, y corresponden a los graderíos principales del antiguo Palacio, que, debidamente rehabilitados, pudieron reutilizarse. En su extremo dorsal superior reciben, en forma semejante a como lo hacían en su disposición original, los bordes exteriores de las cubiertas laterales, las cuales en su borde interior, como se ha expresado anteriormente, se apoyan en forma isostática en el borde inferior de los tímpanos, que se observa también en la foto de la Figura 10. En la vista interior, Figura 11, se observa la disposición de las gradas en la estructura de lunetos.

2.3. Esquinas de acceso y servicios

El tercero de los cuerpos del edificio estaría constituido por el conjunto de los cuatro torres de esquina donde se ubican gran parte de los sistemas verticales de acceso: escaleras, ascensores, patios de instalaciones, etc. Estructuralmente presentan una serie de pantallas y pórticos de hormigón, así como diafragmas metálicos de celosías verticales, de 11 metros de canto, elementos estructurales necesarios para lograr la respuesta resistente frente al viento.

3. COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

Los cuerpos funcionales señalados (cuerpo central compuesto por los pórticos de gran luz y las vigas-tímpano que unen este cuerpo con los lunetos;



Fig. 18. Torres de Servicios.
Figure 18. Service tower.

los propios lunetos existentes, y las cuatro torres) forman un conjunto heterogéneo en su comportamiento estructural, dado que estructuralmente es un único conjunto sin juntas entre ellos.

Lo anterior obliga a un análisis espacial sobre un modelo global, que por el gran número de elementos es completado por análisis planos más controlables.

El cuerpo central tiene elementos muy flexibles, que son los pórticos ya descritos y dos elementos muy rígidos que son los tímpanos completados por estructura de hormigón. Asimismo y dado que para los esfuerzos de viento eran necesarias las torres de esquina, también está conectado el cuerpo central a estas torres, así como a las lunetos existentes. Gran parte de las interacciones entre todos estos elementos se producen a través de los forjados horizontales que unen las pilas de hormigón, así como por las vigas transversales a los pórticos de cubierta que, descargando los pórticos, llevan carga a los tímpanos.

Precisamente, con el fin de evitar una gran concentración de acciones en los sistemas más rígidos laterales, en detrimento de los más flexibles centrales, el proceso constructivo mantuvo prácticamente desvinculados los seis pórticos del cuerpo central, respecto a los otros elementos, hasta muy avanzado el proceso de ejecución y solo entonces, casi al final de la obra, se llevó a cabo la unión hiperestática completa del conjunto de todos los sistemas involucrados, cerrando las juntas provisionales que se habían dejado entre los forjados de los distintos cuerpos.

En el estudio de deformaciones tenían bastante importancia las deformaciones reológicas del hormigón de las pilas en las que, además de las cargas verticales que provocaban movimientos horizontales por la forma de las pilas de la calle Goya, las acciones horizontales debidas al efecto arco del dintel, aumentaban estas deformaciones. Este aspecto también quedó mejorado al realizar la conexión final ya comentada.

4. PROCESO CONSTRUCTIVO

La construcción estaba muy condicionada por el plazo de ejecución de las

obras y por las dificultades de trabajo en el lugar, al no contarse con superficies auxiliares adyacentes para su ejecución.

Precisamente, uno de los aspectos fundamentales de la propuesta ganadora del concurso, fue la idea de su realización mediante un sistema ascendente-descendente de modo que fuese posible simultanear los trabajos de construcción de las estructuras subterráneas bajo la losa de la pista a la vez que se abordaban los de los sistemas de la superestructura por encima de la pista.

A su vez todo este proceso, como ha quedado dicho previamente, influye notablemente en el comportamiento de la estructura tanto en régimen instantáneo como en el diferido.

Con el fin de favorecer la exposición de dicho proceso, se expone a continuación por separado la ejecución de ambos tipos de estructuras.

4.1. Zona bajo pista

Los forjados de aparcamiento se construyen mediante un proceso descendente, consistente en la realización desde el nivel de pista, una vez excavado el terreno hasta esa cota, de los pilotes necesarios para la cimentación, tanto de los soportes internos de las zonas de aparcamiento, como de los grandes pilotes necesarios para las pilastras que

the interactions amongst all these elements are produced through the horizontal slabs that join the concrete piles, as well as the transversal beams to the deck frames that transmit stresses to the spandrels, alleviating the frames.

In order to avoid a great concentration of actions on the most rigid lateral systems, to the detriment of the more flexible central ones, the constructive process precisely kept detached the six frames until the construction process was very advanced and only then, almost at the end of the works, all the systems involved were joined together in a redundant ensemble, closing the joints between the slabs of the different bodies.

It was very important to study the reological deformations of the concrete pilasters. The vertical loads provoked horizontal movements because of the shape of the pilasters at Goya Street, and the horizontal stresses due to the arch effect of the main beam increased the deformations. This aspect was also improved with the final connection already mentioned.

4. CONSTRUCTIVE PROCESS

This activity was very much conditioned by the period of construction and the difficulties to work on that place, due to the lack of auxiliary areas to perform the works.



Figura 19. Construcción de sótanos.
Figure 19. Basement construction.



Figuras 20 y 21. Estructura metálica de pilares.
Figures 20 and 21. Pilasters steel skeleton.

Precisely, one of the main aspects of the winning proposal was the idea of building by an upward-downward system, applied to a complex structure for its disposition that allowed to completely separate and do at the same time the underground structures under the slab of the track and the structures above it.

At the same time, all this process notably influences the structure behaviour both instantly and differed in time.

In order to ease the explanation of the process, the execution of the two types of structures are described separately.

4.1. The area under the sports track

The slabs of the car park were built by a descendent process, that consisted on the construction of the foundation piles, once the terrain was excavated, from the track level. These piles were necessary for the internal supports of the car parking area, and for the pilasters of both frontages. The piles reached the level of the lower basement and then metal shafts of the adequate length to be adapted to the top levels of each support were incorporated, filling the rest of the borehole with terrain. At the end of this process, the great concrete slab of the track is constructed over the terrain, and once it is completed, the excavation of the lower levels started.

The steel columns will then be covered by concrete, constituting composite pillars, being able to support the rest of the foreseen stresses and showing a better behaviour in case of fire.

On each pilaster, there are placed two big metal shafts, embedded on big diameter piles and with the culmination at the track level.

4.2. Area over the track

Once the slab of the track was constructed, the execution of the superstructure was immediate and parallel to the works on the lower levels previously described.

As it was mentioned before, the behaviour of the structure is very complex due to the different resisting nature of the structural elements. The indecisiveness of the efforts generated by the constructive process become an obstacle for the definition of the structure. It was then decided to make the structure independent during the construction and only to join it closely to the service stage. Therefore, it can be said that the constructive processes of the central body could be studied separately in respect to the service towers, access frames and box areas.

In this area, in order to start as soon as possible with the structure of the roof, great steel truss pilasters were built, so that the construction of the roof was not conditioned by the concrete pilasters and the slabs amongst them.

These steel pilasters will allow to build the deck, and they will be mostly integrated in the concrete pillars at the same time, and therefore, the bearing capacity of this material will be structurally profited. Therefore, the structure of the roof could be simultaneous to the

soportarán los pórticos centrales. Dichos pilotes se ejecutan hasta el nivel del sótano inferior y en ese momento se incorporan fustes metálicos de una longitud apropiada para adaptarse a los niveles de coronación de cada soporte, rellenándose con tierras el resto de las perforaciones. Al término de esta operación, se construye entonces sobre el terreno la gran losa de hormigón de la planta de pista, y una vez completada, se inicia la excavación de las plantas inferiores.

Los pilares metálicos se recubrirán posteriormente de hormigón, formando unos pilares mixtos, capaces de recibir el resto de las solicitaciones previstas y con mejor comportamiento frente al fuego.

En cada pilastra se disponen dos grandes fustes metálicos empotrados en sendos pilotes de gran diámetro y con su coronación a nivel de la pista.

4.2. Zona sobre pista

A partir de la ejecución de la losa de pista, la ejecución de la superestructura sobre la cota de pista, es inmediata y en paralelo con los trabajos descritos para las zonas bajo pista. Como ya se ha señalado, el comportamiento de la estructura, debido a la distinta naturaleza resistente de los diversos elementos estructurales utilizados es muy complejo y las indeterminaciones de los esfuerzos generados por el proceso constructivo suponen un obstáculo para el dimensionamiento de la estructura. A la vista de este posible problema, se decidió independizar la estructura central durante su construcción y sólo unirla con el resto de cuerpos del edificio en períodos cercanos a la fase de servicio. Se puede decir, por tanto, que los procesos constructivos del cuerpo central han podido ser estudiados separadamente respecto a los de las torres de servicio, pórticos de acceso y zona de palcos.

En esta zona, y a fin de abordar lo antes posible la estructura de cubierta, se construyen unos grandes pilares metálicos en celosía, con el fin de que el montaje de cubierta no estuviera condicionado por las pilas de hormigón y los forjados entre ellas (Figuras 20 y 21).

Estas pilas metálicas permitirán montar la cubierta, y a la vez quedarán en su



Fig. 22. Construcción de estructura de cubierta.
 Figure 22. Construction of roof structure.

mayor parte integradas en las pilas de hormigón y, por tanto, la capacidad resistente de este material quedará estructuralmente aprovechado. Así la construcción de la estructura de cubierta podrá simultanearse con la de las pilas de hormigón, la del sistema de losas que unen estas pilas, y la de los graderíos.

Se puede observar en la fotografía de la Figura 22 el avance de la estructura de cubierta, con el sistema señalado. La obra en ese momento tenía abiertos tres tajos: sótanos, estructura de cubierta y estructura de hormigón. La estructura metálica de cubierta, está apoyada en los pilares metálicos de fachada, y en unos pilares provisionales apoyados en la zona de pista. En la situación señala-

da, no se había comenzado a construir la estructura metálica de tímpanos.

A continuación, a grandes rasgos, se exponen las fases de construcción más significativas del proceso de ejecución de la estructura metálica de cubierta:

1. Construcción del elemento central. Montaje de castilletes centrales y pilastras metálicas.
2. Montaje de las vigas longitudinales (6) en dos mitades.
3. Unión de las dos partes de cada viga longitudinal en el castillete central.
4. Arriostramiento de las vigas longitudinales en el plano de cubierta y montaje de las vigas transversales.

construction of the concrete piles, with the system of slabs that join these piles, and the grades.

Figure 22 shows the progress of the structure of the deck, with the system described before. At that point, there were three different works at the same time: the underground, the structure of the roof and the concrete structure. The steel structure of the roof lays over the steel piles of the frontage and on some provisional piles laid on the track. On the described situation, the steel structure of the spandrel trusses was not built yet.

Now, it is exposed on features, the more significant constructive phases of the execution process of the area over the track:

1. Construction of the central element. Assembly of the central provisional columns and metal pillars.
2. Assembly of the longitudinal beams (6) in two halves.
3. Joint of the two parts of each longitudinal beam of the central provisional column.
4. Bracing of the longitudinal beams on the roof deck plane and assembly of the transversal beams.
5. Concrete of the pilasters up to +21,45 m high and connection of the longitudinal beams of the roof to this slab.

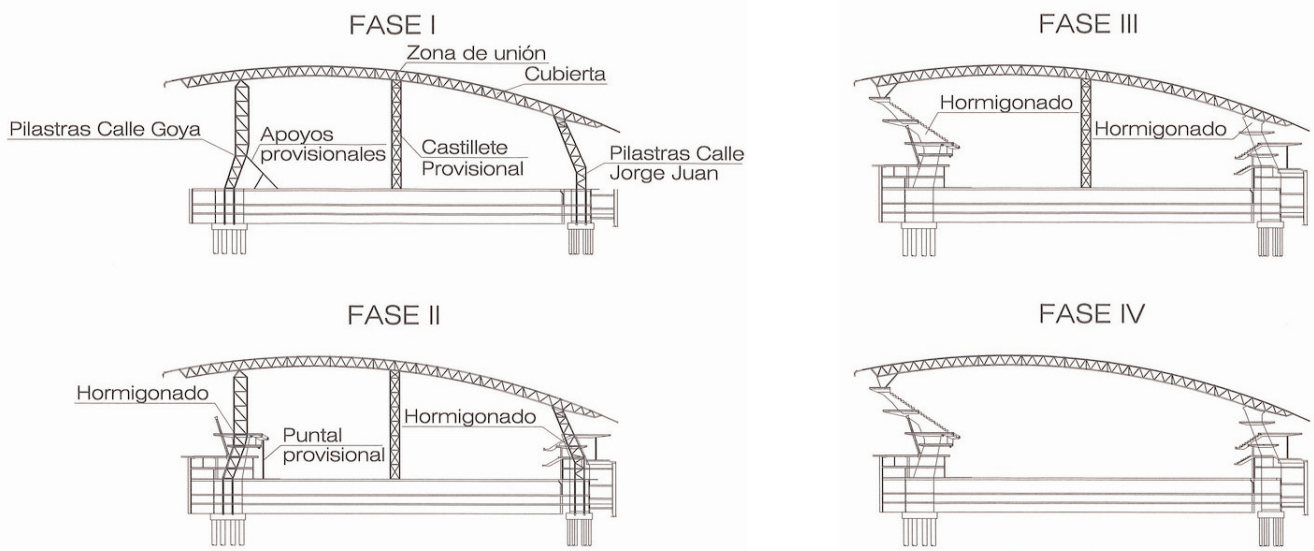
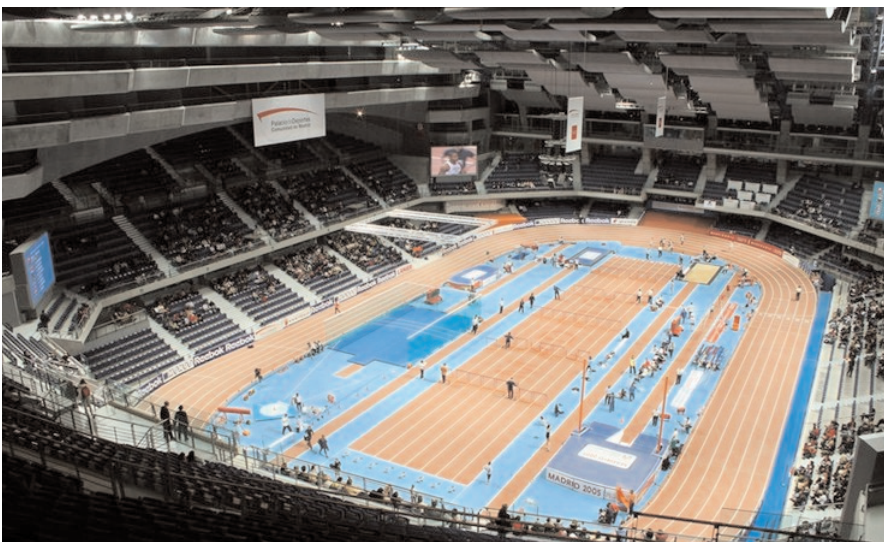


Fig.23. Sistema constructivo.
 Figure 23. Constructive system.



Figuras 24 y 25. Vistas exterior e interior del Palacio de Deportes.
Figures 24 y 25. External and internal views of the CAM Sports Hall.

6. Removal of the central provisional steel column once the prestressing process of the concrete pilasters was finished.

7. The rest of the different floors, where built on a conventional ascendant way. On each slab, there were joints with passing through reinforcement, but provisionally not concreted, on the +21.45 and +14.25 slabs.

8. Placing of terraces.

9. Concreting of construction joints.

The service towers and access frames to the central body followed the natural upward constructive process. It is important to reiterate the importance of dissociating the different structural parts during the construction and joining the together at the final phases close to the miss en scene, as the deformabil-

ity of so different structures, and the movements during construction could have been pernicious for the most rigid structure. Subsequently, during the service phase, in which the movements of the structure were much lower, the overall collaboration of the whole allows for a more consistent and homogeneous behaviour.

5. CONCLUSIONS

The conclusions of the most outstanding characteristics of the structure of Madrid's Sports Centre have been analysed from the constructive, and structural points of view.

The process by which the works were conceived allowed for the independent execution of the steel roof and the parking, so that the period of construction

5. Hormigonado de las pilastras hasta la cota +21.45 y conexión de las vigas longitudinales de cubierta a esta losa.

6. Desmontaje del castillete central una vez finalizado el proceso de tesado de las pilastras de hormigón.

7. El resto de las distintas plantas, en toda su superficie se construyó en forma ascendente convencional. En cada losa fueron dejadas juntas con armadura pasante, pero sin hormigonar (provisionalmente), en las losas +21.45 y +14.25.

8. Colocación de graderíos.

9. Hormigonado de las juntas de construcción antedichas.

Las torres de servicio y los pórticos de acceso al cuerpo central siguieron un proceso constructivo ascendente natural. Es importante reiterar la importancia de dissociar las diversas partes de las estructuras durante la construcción y unir las en fase final próxima a la de servicio, ya que al ser las deformabilidades de las estructuras tan distintas, los movimientos durante la construcción serían perniciosos para la estructura más rígida. Posteriormente durante la fase de servicio, en la que los movimientos de la estructura son mucho menores la colaboración global de todo el conjunto permite un comportamiento más consistente y homogéneo.

5. CONCLUSIONES

Se han señalado las características más importantes del Palacio de Deportes de la Comunidad de Madrid tanto desde el punto de vista estructural como constructivo.

El procedimiento con el que se ganó el concurso permitió la ejecución independiente de la cubierta metálica y el aparcamiento, de tal forma que se pudo reducir notablemente el plazo de la construcción. Su intención era la de –sin modificar en absoluto la propuesta arquitectónica– lograr una realización de gran rapidez y eficacia con el cambio exclusivo de ciertas soluciones estructurales establecidas en el proyecto de Arquitectura. El proceso finalmente diseñado que en esencia respeta el original, incorporó la disociación del sistema durante la construcción para liberar el



Fig. 26. Fachada del Palacio de Deportes.
Figure 26. Façade of sports halls.

comportamiento de naturaleza distinta de los diferentes cuerpos estructurales que componen el Palacio de Deportes. Estos procedimientos han permitido prever con gran precisión el comportamiento de la estructura en fases constructivas y en las futuras de servicio.

El Palacio de Deportes ha sido construido por una U.T.E. entre FCC Construcción y Necso. El Gerente de esta UTE fue José Antonio Bravo y el

Jefe de Obra Manuel Fernández. La estructura metálica ha sido construida por Talleres Torrejón (Gonzalo Rodríguez). Es de destacar la colaboración con el departamento de estructuras de AEPO, durante el proyecto de la estructura, de Juan Medina Martos, Luis Viñuela y José Martínez Salcedo que con su experiencia y profesionalidad han guiado el proyecto y han diseñado parte de los detalles constructivos que lo componen.

was notably reduced. The intention was to achieve a rapid and efficient construction by only changing some structural solutions established on the Architecture design, but not modifying the architecture design at all. The final process design essentially respects the original and incorporated the dissociation of the system during the construction in order to release the different nature behaviour of the different structural bodies that form the Sports Centre. These processes allowed to foresee the behaviour of the structure on the constructive phases and on the future service phases very accurately.

The Sports Centre has been built by FCC and Necso. The Manager of the work was José Antonio Bravo and the Head of the works Manuel Fernández. The steel structure was built by Talleres Torrejón (Gonzalo Rodríguez).

It is also important to mention the collaboration of the department of structures of AEPO Consultancy, during the design of the structure, of Juan Medina Martos, Luis Viñuela and José Martínez Salcedo that with their experience and professionalism conducted the project and also designed part of the constructive details.

FICHA TÉCNICA

- **NOMBRE DE LA OBRA:**
Palacio de Deportes de Madrid
- **PROPIEDAD:**
Comunidad Autónoma de Madrid
- **ARQUITECTO Y DIRECCIÓN DE LA OBRA:**
Enrique Hermoso y Paloma Huidobro
- **EMPRESAS CONSTRUCTORAS:**
FCC Construcción y NECSO
(Unión Temporal de Empresas)
- **GERENTE DE LA UTE:**
José Antonio Bravo
- **JEFE DE OBRA:**
Manuel Fernández
- **PROYECTO DE ESTRUCTURA:**
Julio Martínez Calzón, Cristóbal Medina,
Departamento de Estructuras de AEPO;
con la colaboración de Juan Medina Martos,
Luis Viñuela y José Martínez Salcedo.
- **ASISTENCIA TÉCNICA DE LA DIRECCIÓN DE OBRA:**
EUROESTUDIOS
- **EJECUCIÓN ESTRUCTURA METÁLICA:**
Talleres Torrejón (Gonzalo Rodríguez).
- **PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA:**
Capacidad: 4.834 espectadores
Aparcamientos: 3 plantas
Luz de la viga arco de la cubierta (cuerpo central):
120 m
Canto de la viga arco de la cubierta (cuerpo central):
3 m
Acero estructural: 2.401.670 Kg
Acero de armar: 3.641.072 Kg
Hormigón: 41.443 m³

HORMIGÓN y acero

últimos números publicados



Base de datos de artículos
publicados en números
anteriores disponible en:

<http://www.e-ache.net>