Proyecto y construcción de la estructura de los Teatros del Canal, Centro de las Artes Escénicas de la Comunidad de Madrid

Structural design and construction for the "Teatros del Canal", Madrid Centre for the Performing Arts

Julio Martínez Calzón[1] **y Álvaro Serrano Corral**[2]

Recibido | *Received:* 06-11-2008
Aceptado | *Accepted:* 10-12-2008

Resumen

Se describe el proyecto y construcción de la estructura del Centro de Artes Escénicas de la Comunidad de Madrid, Teatros del Canal, del arquitecto Juan Navarro Baldeweg. Esta estructura se compone de tres edificios: dos teatros y un centro coreográfico con estructuras de hormigón armado y pretensado, metálicas y mixtas. Los edificios se caracterizan por tener su estructura colgada de las zonas superiores mediante pantallas y losas en voladizo, de hormigón pretensado, de hasta 18 m. El proyecto de una estructura evolutiva de esta magnitud lleva aparejado la utilización de sistemas especiales de análisis que, igualmente, se describen a continuación.

Palabras clave: teatro, hormigón pretensado, pantallas, estructura colgada, estructura mixta, fachada, postproceso.

Abstract

In the article, the structural project and construction of the Teatros del Canal, Madrid Centre for the Performing Arts, designed by architect Juan Navarro Baldeweg, are described. The building can be divided in three pieces: two theatres and a choreographic centre with reinforced and prestressed concrete, composite and steel structures. The buildings have a hung structure from the upper zones by means of walls structure. They also have prestressed concrete slabs cantilevering until 18 m. The structural project of this kind of structures needs the use of special analyses systems that are also described.

Key words: *theatre, prestressed concrete, shear walls, suspended structure, composite structure, façade, postprocessing.*

(1) Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Director. MC2 Estudio de Ingeniería (Madrid, España).
(2) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. MC2 Estudio de Ingeniería (Madrid, España).

Persona de contacto / *Corresponding author:* alvaro.serrano@mc2.es

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

1. INTRODUCCIÓN Y ASPECTOS GENERALES

Los Teatros del Canal se sitúan en Madrid, en la confluencia de las calles Bravo Murillo y Cea Bermúdez, ocupando un solar de 8750 m^2 antiguamente utilizado por el Canal de Isabel II (compañía suministradora del agua en Madrid) como almacén y taller.

El edificio surge como una necesidad de la ciudad de Madrid, que requería un espacio escénico adecuado, moderno y funcional para poder acoger a las más exigentes producciones teatrales, y es el resultado de un concurso restringido, convocado en junio del año 2000 por la Comunidad de Madrid, con el patrocinio del Canal de Isabel II.

De este concurso salió ganadora, por unanimidad, la propuesta del arquitecto cántabro Juan Navarro Baldeweg, que contó con MC2 Estudio de Ingeniería para llevar a cabo el proyecto estructural necesario para desarrollar su diseño arquitectónico [1].

En el año 2002, la obra civil del edificio fue adjudicada a la UTE formada por las empresas Dragados (entonces ACS) y OHL. Posteriormente, para realizar el equipamiento escénico de los teatros, a estas dos empresas se uniría la firma ThyssenKrupp Elevadores.

El concepto arquitectónico del proyecto se basaba en crear un hito artístico y arquitectónico, "rico formalmente y con una vitalidad intrínseca que hiciera brillar y animara la encrucijada de las calles Bravo Murillo y Cea Bermúdez", al decir de Juan Navarro Baldeweg, y que además se abriera a las extensas zonas verdes que se sitúan a su frente (Fig. 1).

1. INTRODUCTION AND GENERAL ASPECTS

The Teatros del Canal building, is located in Madrid, in the confluence of the streets Bravo Murillo and Cea Bermúdez, occupying a plot of 8750 m^2 formerly used by the Canal de Isabel II (water supplying company in Madrid) like warehouse and factory.

Madrid has for many years lacked a modern and functional centre for the performing arts and in the majority of occasions the city has had to resort to nineteenth century theatres of great architectural merit but offering little in the way of comfort, functionality, visibility and acoustics or even location for the more demanding theatre productions of the present and future.

In order to overcome this shortfall and obtain a comfortable, modern and functional centre, the Comunidad de Madrid (Madrid Regional Council), put out to restricted tender in June 2000 a project for the Teatros del Canal (Canal Theatres) Centre for the Performing Arts.

The successful tender by unanimous vote was the project presented by the architect Juan Navarro Baldeweg who entrusted MC2 Estudio de Ingeniería with the preparation of the audacious structural project necessary to implement the architectural design [1].

In 2002, the civil works of the building was adjudged to the Joint Venture formed by Dragados (then ACS) and OHL. Later, the ThyssenKrupp Elevadores company joined the aforementioned firms to assemble the stage equipment of the theatres.

The architectonic concept of the project was based on creating an artistic and architectonic, "formally rich and with an



Figura 1. Situación y entorno del edificio.
Figure 1. Situation and surroundings of the building

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

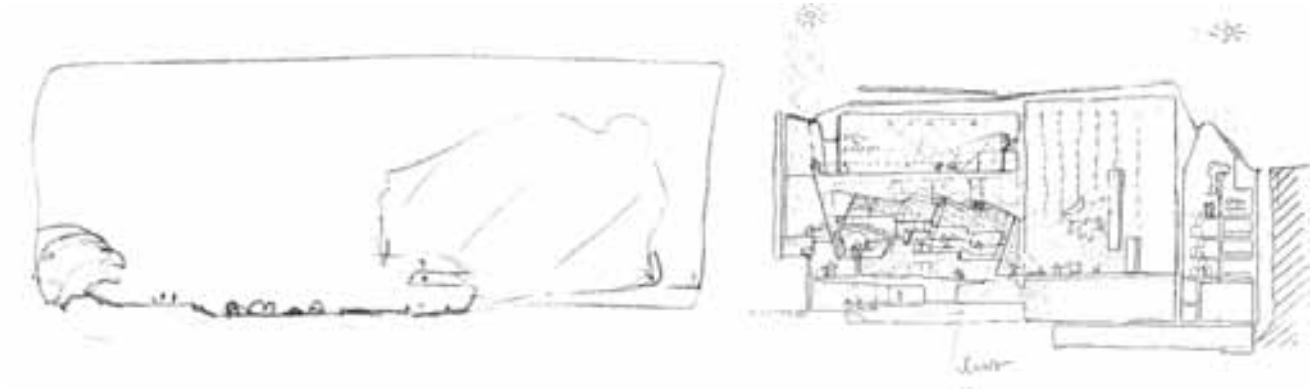


Figura 2. Conceptos iniciales del proyecto arquitectónico.
Figure 2. First architectural concepts.

La funcionalidad del edificio, dedicado a la actividad teatral, exigía integración y segregación. La vida urbana debía sentirse atraída por la actividad teatral, y a la vez, debía plantearse una cierta discontinuidad para proteger el núcleo de la obra, que por naturaleza, resulta ajeno, en gran medida, a la realidad ciudadana circundante [2].

Esta última dicotomía se formalizó mediante la integración y continuidad de la calle en el nivel de las plantas bajas de acceso; y la segregación, por elevación en altura del resto del programa arquitectónico, que llevaba consigo la transparencia y continuidad del espacio público en el interior del edificio, y que invita a la participación al viandante, pero siempre resguardando el centro de la actividad teatral en un nivel superior (Fig. 2).

Estas decisiones conceptuales implicaban una compleja interrelación entre volúmenes edificatorios y vacíos, que se traduciría posteriormente en un proyecto arquitectónico fuertemente imbricado en la estructura resistente que lo soporta [3] (Fig. 3).

intrinsic vitality landmark that made shine and animated the Bravo Murillo and Cea Bermúdez streets confluence", according to Juan Navarro Baldeweg's words, and in addition opened itself to the extensive green zones located at its front (Fig. 1).

The functionality of the building dedicated to the theatre activity, demanded integration and segregation. The urban life had to feel attracted by the theatre activity, and simultaneously, had to consider a certain discontinuity to protect the nucleus of the work, that by its nature is not connected with the surrounding urban reality [2].

This circumstance was formalized by means of the integration and continuity of the street in the access ground level; and the segregation, by the elevation on height of the rest of the architectonic program. Then, this forced the transparency and continuity of the public space inside the building that invites the citizen to its participation, but always protecting the centre of the theatre activity in an upper level (Fig. 2).

These conceptual decisions implied a complex interrelation between the building volumes and empty spaces, that later

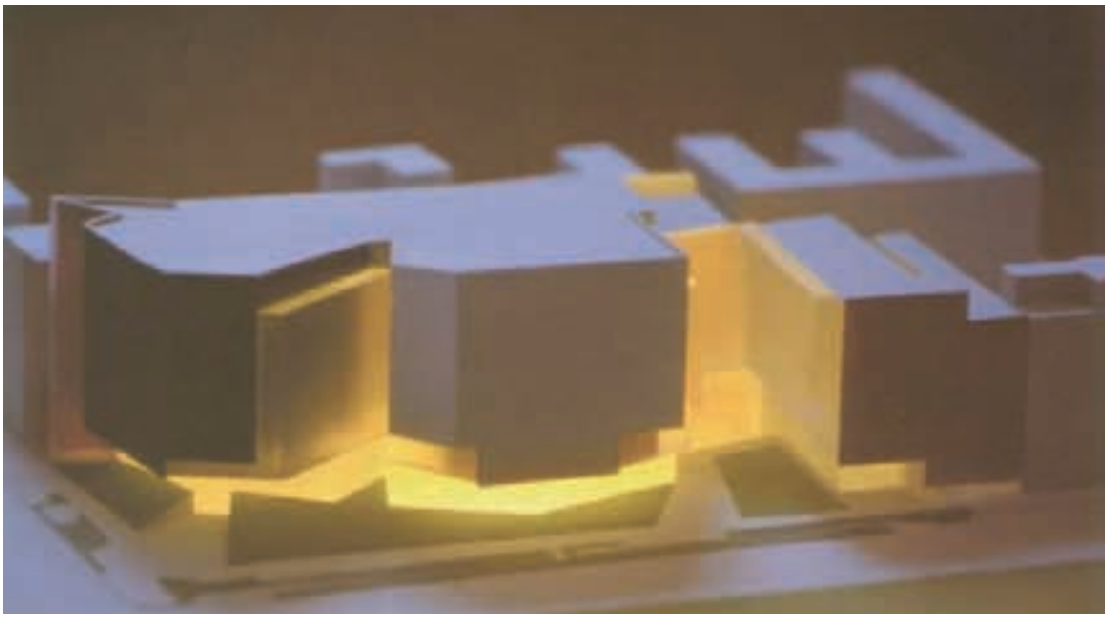


Figura 3. Primera maqueta del proyecto.
Figure 3. Architectural model.

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



Figura 4. Imagen virtual de los edificios: Teatro Configurable, Teatro Principal y Centro Coreográfico (de izquierda a derecha)
Figure 4. Infography of the buildings: Configurable Theatre, Main Theatre and Choreographic Centre (from left to the right).

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EDIFICIO

El edificio se compone de tres piezas bien diferenciadas funcionalmente por el objeto de su uso, y arquitectónicamente por los volúmenes que dichas piezas generan y los espacios intermedios que las mismas determinan [5]; asimismo, estos volúmenes son independientes estructuralmente. La superficie construida es de 35.520 m^2 de los que son útiles aproximadamente 29.400 m^2 (Fig. 4).

El Teatro Principal constituye el volumen central del edificio. Consiste en un gran escenario de 40 m de ancho y 20 m de fondo de escena, y una sala para 850 espectadores situados en dos niveles. El foso de orquesta, usualmente cerrado, dispone de una plataforma móvil que permite, en caso necesario, acoger a una orquesta de hasta 80 músicos. Sobre esta sala principal, el teatro cuenta con una amplia zona de ensayos de 28 x 25 m^2 completamente diáfana.

Una segunda sala de carácter polivalente, denominada Teatro Configurable, se sitúa adyacente al Teatro Principal. Este espacio se ha diseñado para poder configurarse espacial y artísticamente con total libertad en función del espectáculo que se represente en cada momento. Dispone de techo y suelo técnicos, que permiten situar el escenario en el centro de la sala o en posición frontal y distribuir a los espectadores en la forma que más convenga al espectáculo mediante el uso de gradas telescópicas. Su aforo puede variar entre 450 y 725 personas (Figs. 5 y 6).

El acceso, tanto al Teatro Principal, como al Teatro Configurable, se realiza por el nivel de calle, que en la idea *would lead to an architectonic project strongly overlapped with its resistant structure [3] (Fig. 3).*

2. GENERAL DESCRIPTION

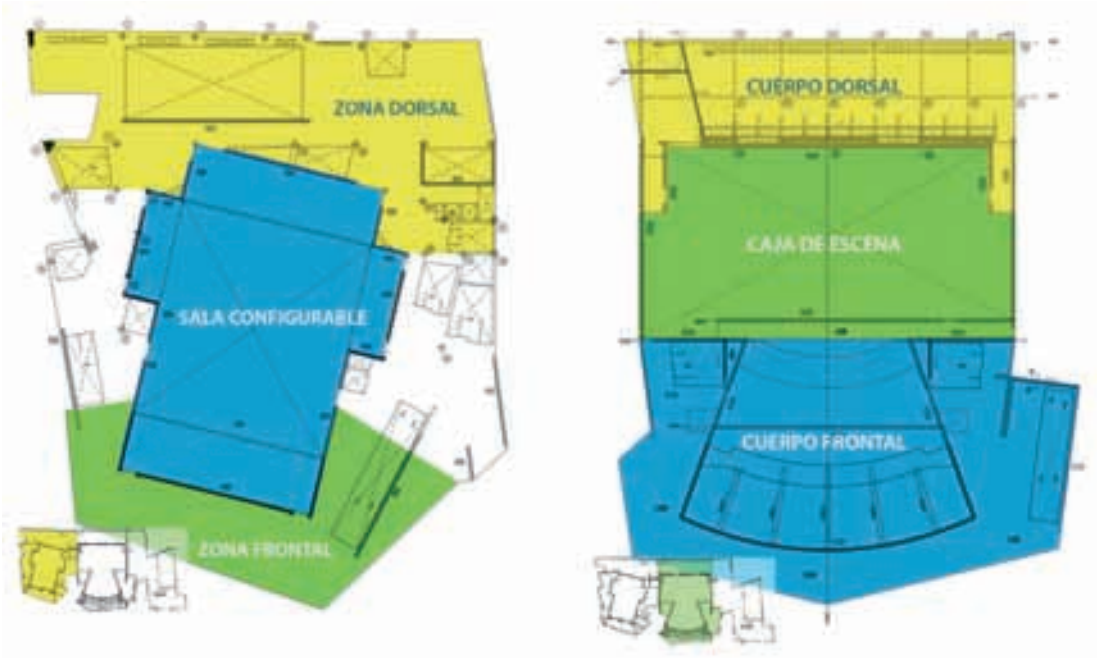
The building is composed of three areas which are clearly differentiated both in terms of use and architecture, by the forms of the buildings and the intermediate areas defined by the same. These volumes are structurally independent. The total built area is 35.520 m^2 with 29.400 m^2 being usable space.

The Main Theatre forms the central part of the building and has seating for 850 spectators set on two levels and a 40 m wide and 20 m deep stage. The orchestra pit, usually closed, is equipped with a moving platform to house up to 80 musicians. A broad and complete open plan rehearsal area of 28 x 25 m^2 is set over the main theatre.

A second multi-purpose hall, called Configurable Theatre, has also been built which may be freely configured to suit the performance. This theatre area has technical floor and ceiling which allow the movement of the stage into the centre of the theatre or in a frontal position and to distribute the audience in different seating arrangements by means of telescopic or sliding stalls which, in accordance with arrangement, may seat between 450 and 725 spectators (Figs. 5 y 6).

The access, in both theatres, is made at the street level, that in the previously mentioned architectonic concept, is an open and permeable space, without supports nor other ele-

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



Figuras 5. Plantas esquemáticas de los Teatros Configurable (izq.) y Principal (dcha.). *(Tomado de [4]).*
Figure 5. Schematic plants of the Configurable Theatre (left) and Main Theatre (right) (From [4]).

arquitectónica anteriormente expuesta, es un espacio abierto y permeable, sin soportes ni otros elementos que supongan una discontinuidad en la percepción del espacio. De este modo los techos de estos ámbitos son unos grandes voladizos, que aparentan estar únicamente apoyados en el fondo opuesto a la entrada.

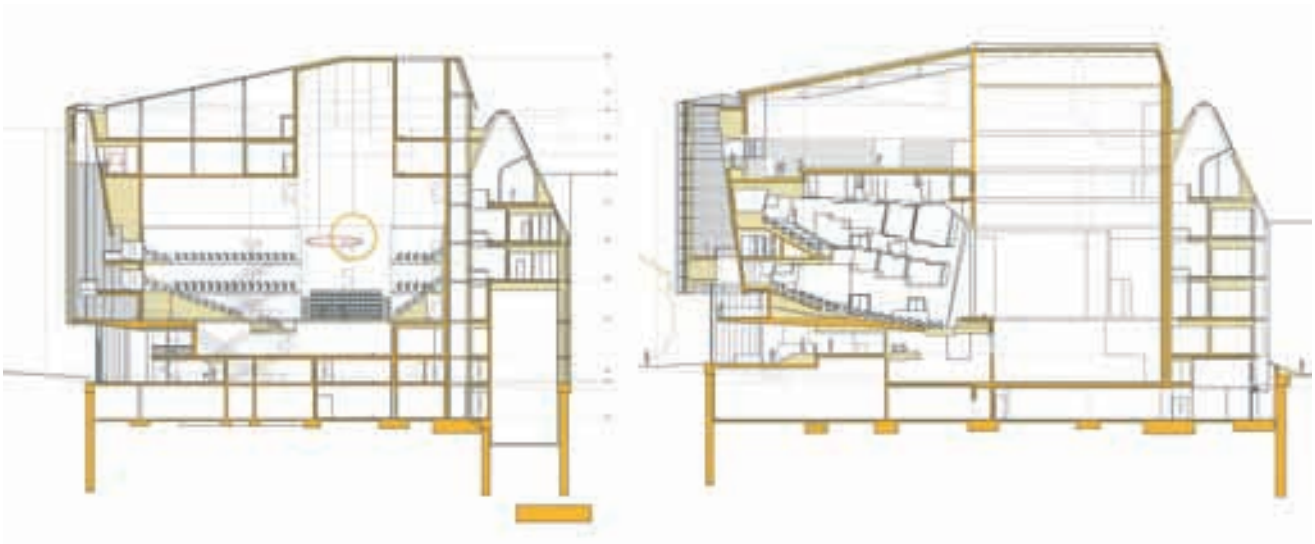
La tercera componente del edificio consiste en un Centro Coreográfico, dedicado al desarrollo y promoción de la danza como expresión artística, con 12 salas de baile, aulas, estudios, camerinos, salas de entrenamiento, una unidad de documentación y una oficina para la promoción y difusión de la danza.

Estas tres zonas están unidas en su parte dorsal por una zona común de servicios, que permite la utilización de

ments that migth suppose a discontinuity in the perception of the space. In this way the ceilings of these zones are great cantilever slabs, which pretend to be solely supported at the opposite zone to the entrance.

The third section of the building is formed by the Choreographic Centre which is dedicated to the development and promotion of dance as a performing art, with its dance rooms, classrooms, studios, dressing rooms, rehearsal areas, document department and dance promotion office.

These three areas are connected at the rear by a common service area which allows the individual or combined use of the halls; and in its lower part by an underground level shared by the three pieces with parking uses, warehouse, factories and other dependencies.



Figuras 6. Secciones esquemáticas de los Teatros Configurable (izq.) y Principal (dcha.).
Figure 6. Schematic sections of the Configurable Theatre (left) and Main Theatre (right).

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



Figura 7. Imagen de la estructura colgada del Teatro Principal en construcción.
Figure 7. Main theatre hung structures under construction.

las salas de forma individual o conjunta; y en su parte inferior por un nivel de sótanos que comparten las tres piezas con usos de aparcamiento, almacén, talleres y otras dependencias.

Exteriormente el edificio está rodeado por una piel de vidrio laminar especial con una textura formada por pequeñas pirámides, de manera que el reflejo de la luz solar, se perciba como el brillo del terciopelo del telón de los teatros. Esta fachada de vidrio está colgada de las zonas superiores de la construcción.

Igualmente, la zona dorsal de servicios cuenta con un lucernario que proporciona luz natural a dicha zona y da una mayor dignidad a estos espacios interiores alejados del público.

3. TIPOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN ESTRUCTURAL

El proyecto arquitectónico planteado para el edificio, presenta una gran complejidad de formas que exige soluciones estructurales de tipo singular en un número muy importante de casos.

Por su tipología estructural se puede separar la parte correspondiente a los teatros de la correspondiente al Centro Coreográfico.

Ambos teatros se han diseñado con una solución estructural similar y homogénea consistente en grandes pantallas y losas macizas de hormigón armado en general,

The building is externally enclosed by curtain walling suspended from the upper parts of the construction.

The rear service area is fitted with a skylight which provides natural light to the area and offers a dignified presence to these internal areas far from the public.

3. STRUCTURAL TYPE AND DESCRIPTION

The *architectonic project for the building has a great complexity of forms that demands singular structural solutions in a very important number of cases.*

The structural type of the arts centre may be separated into that of the theatres and that of the Choreographic Centre.

Both theatres have been designed with a common structural solution consisting of large shear walls and slabs of reinforced concrete, together with prestressed concrete in the large cantilevers at the front of the building. The structure is completed with reinforced concrete columns (on the lower floors), steel columns (in the upper floors), and composite self-bearing trusses, girders and beams which cover the large open areas of the stage houses and stalls which were built without the need for temporary supports and at great height above floor level. All the stage machinery is suspended from this cover framework.

3.1. Main Theatre

The Main Theatre, at street level, is envisaged as a prolongation of the outer public space and the transparency of the glass curtain walling subsequently required a complete absence of supports in the facing area at this ground level. This arrangement implies that the organization of the vertical concrete walls extending from those forming the stage house, are shorter at the bottom than at the top (Fig. 7).

This then leads to a projecting type arrangement and in the stalls, amphitheatre and foyer these move outwards in the form of large cantilevers and are connected to the rear of the screen walls which are, in turn, connected and stabilized by the walls enclosing the stage house.

The upper grandstand in the amphitheatre are structurally configured as a large box section beam, where the upper flange, corresponding to the area of seating, slopes until meeting the lower horizontal flange which, in turn, serves as the roof to the rear section of the stalls. This frees the entire lower area with a span of 34 m and rests on the lateral screen walls from which the previously mentioned slab is suspended.

These walls that support, mainly, the frontal projection of the building, are in addition to structural elements, architectural elements of lateral closing of the volume that surrounds the stalls, taking advantage of the architectonic form of the building in order to integrate the resistant structure on it. Nevertheless this circumstance has the servitude of which this structure must respect the functionality of the

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

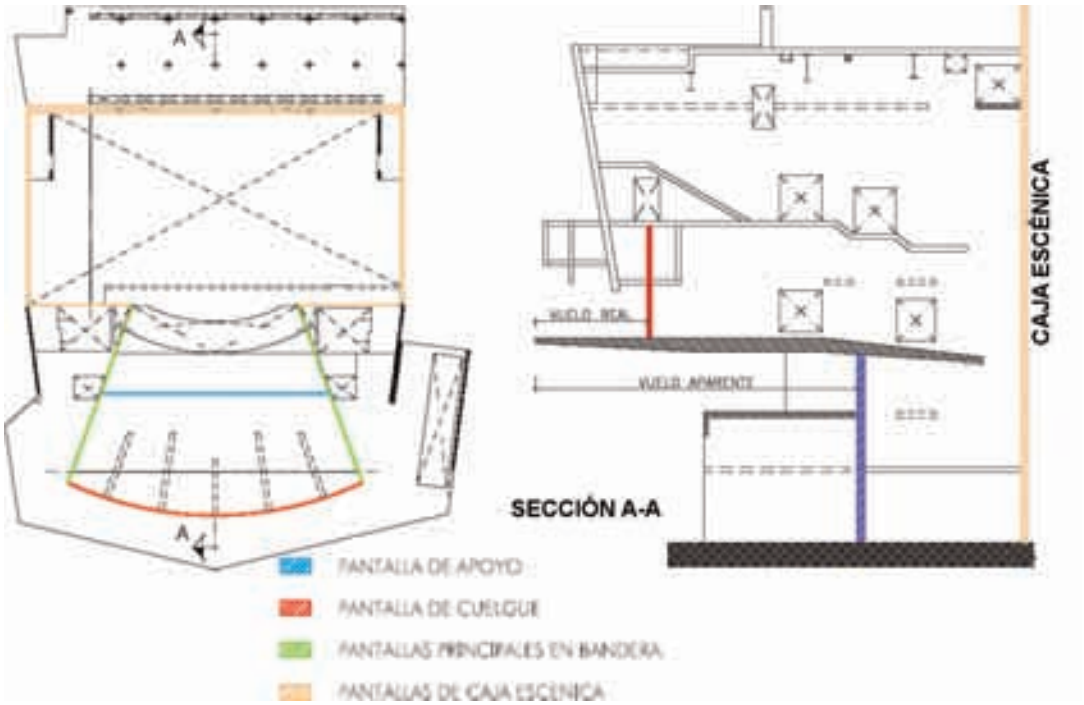


Figura 8. Esquema de la estructura colgada del Teatro Principal.
Figure 8. Main theatre hung structures scheme.

y pretensado en los grandes voladizos del frente del edificio, y en los vanos de gran luz. Esta estructura fuertemente entrelazada de losas y pantallas de hormigón armado y pretensado resulta muy adecuada para resistir tanto las acciones verticales, como las horizontales correspondientes no sólo a viento, sino también a los efectos de cuelgue de la maquinaria escénica de los teatros.

La estructura se completa en las zonas intermedias con pilares de hormigón armado (en las plantas inferiores) y metálicos (en las superiores); y por importantes vigas, celosías y entramados mixtos autoportantes, que permiten cubrir los grandes espacios de las cajas escénicas y las salas sin necesidad de apeos durante su construcción, que se realiza a gran altura; asimismo, de estos elementos cuelga toda la maquinaria escénica necesaria para el funcionamiento de los teatros.

3.1. Teatro Principal

En el Teatro Principal, la entrada a las salas se efectúa a unos 6 m por encima de la cota de la calle, y la exigencia, ya mencionada, de una completa ausencia de soportes en el nivel de acceso, implica que el conjunto de pantallas verticales de hormigón que nacen de las perimetrales que rodean la caja escénica tienen menor longitud en el nivel inferior que en los superiores, dando una configuración general a estas pantallas en forma de "pescante" o "en bandera" (Fig. 7).

Esta disposición provoca que, estructuralmente, tanto el patio de butacas, como el anfiteatro y las zonas exteriores de entrada a la sala surjan hacia el frente del edi-

space that contains, and therefore it must adapt itself in its form to the architectonic geometry, including the existing hollows for spectators' access or facilities (Fig. 8).

In this particular case, the mentioned servitude deeply conditions the structural behaviour of the walls, generating resistant mechanisms that compel the main flows of forces, to be distributed surrounding the aforementioned hollows. When these flows of forces are in tension and overpass certain critical values of cracking control, it is necessary to incorporate a prestressed reinforcement in the direction of the tension forces, to avoid important losses of stiffness, and excessive cracking. In the opposite case, when the flows of forces are in compression, the concrete and its reinforcement resist it directly, although in some cases, due to existing stranglings in these flows caused by hollows in the walls, it was necessary to locally increase the quality of the concrete (from HA-30 to HA-40), to be able to reach a sufficient resistant capacity, without increasing the thicknesses of the walls (Figs. 9 and 10).

The theatre foyer consists of a large prestressed concrete slab with an apparent cantilever of 18.20 m which may be observed from the lower floor and this together with its designed finish with areas of exposed concrete, gives the area a spectacular appearance. However, as this slab is suspended from the upper structure of the theatre the cantilever of the slab is really 'only' 6.00 m (Fig. 11).

The upper grandstand in the amphitheatre are structurally configured as a large box section beam, where the upper flange, corresponding to the area of seating, slopes until meeting the lower horizontal flange which, in turn, serves as the roof to the rear section of the stalls. This frees the entire lower area with a span of 34 m and rests on the lateral screen

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

ficio como grandes voladizos, y estén sustentadas desde la parte trasera de las pantallas, que a su vez, están unidas y estabilizadas por las pantallas frontales que sirven de cierre a la caja escénica.

Las pantallas "en bandera" que soportan, con carácter fundamental, el voladizo frontal, son además de elementos estructurales, elementos de cierre laterales del volumen que encierra al patio de butacas, aprovechando de esta manera la forma arquitectónica del edificio para integrar la estructura resistente. Sin embargo esta circunstancia lleva aparejada la servidumbre de que dicha estructura debe respetar la funcionalidad del espacio que contiene, y por lo tanto debe adaptarse en su forma a la geometría arquitectónica, incluyendo los huecos existentes para acceso de espectadores o instalaciones (Fig. 8).

En este caso particular, la servidumbre indicada condiciona profundamente el comportamiento estructural de las pantallas, generándose un mecanismo resistente que obliga a que los flujos principales de fuerzas se distribuyan rodeando los antedichos huecos. Cuando estos flujos de fuerzas son de tracción y superan ciertos valores críticos de control de la fisuración, es necesario incorporar un pretensado en la dirección de dichas tracciones, para evitar importantes pérdidas de rigidez, y fisuraciones excesivas. En el caso opuesto, cuando los flujos de fuerzas son de compresión, se resisten directamente con el hormigón y su armadura, aunque en algún caso, debido a los estrangulamientos existentes en dichos flujos, provocados por huecos en la pantallas, fue necesario aumentar localmente la calidad del hormigón (de HA-30 a HA-40), para conseguir alcanzar una capacidad resistente suficiente, sin aumentar los espesores de las pantallas (Figs. 9 y 10).

La entrada a la sala consiste en una gran losa pretensada con 18.20 m de voladizo aparente desde su extremo frontal hasta su punto de apoyo en el fondo de la entrada al edificio, observable desde la planta inferior. Esta circunstancia, unida al efecto del acabado empleado, con zonas en hormigón visto, da a esta zona exterior de estancia una singular espectacularidad. Sin embargo,

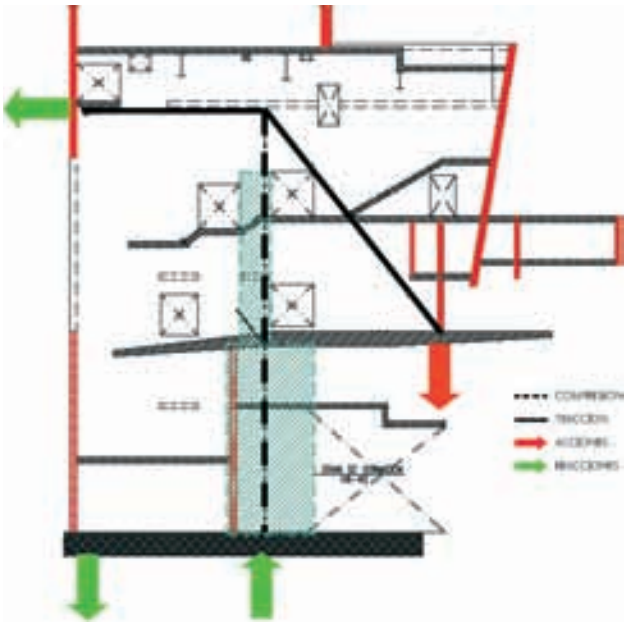


Figura 9. Esquema estructural de las pantallas laterales de cuelgue del Teatro Principal.
Figure 9. Main Theatre lateral walls structural scheme.



Figura 10. Pretensado de pantallas laterales del Teatro Principal
Figure 10. Main Theatre lateral walls prestressing.

walls from which the previously mentioned slab is suspended (Figs. 12 and 13).

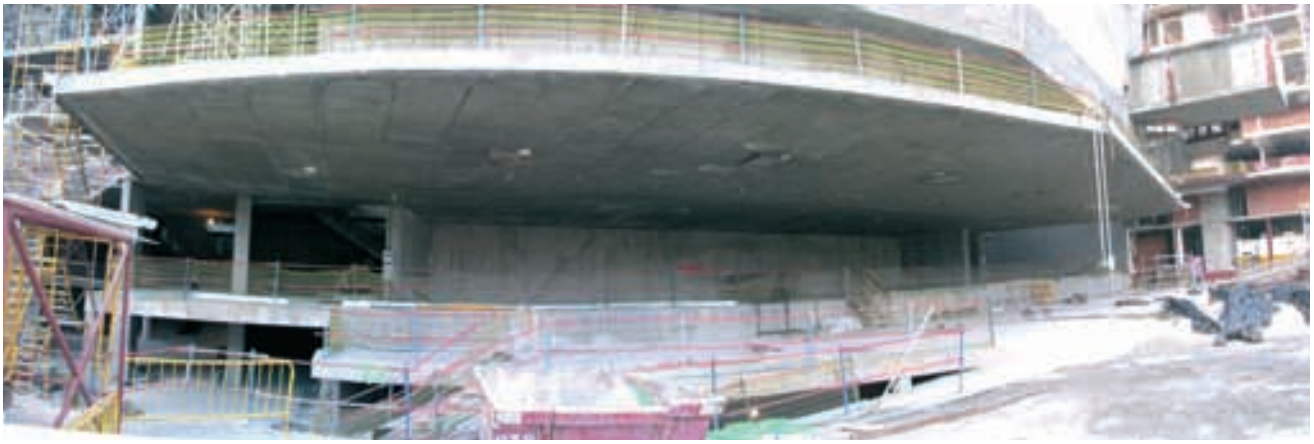


Figura 11. Vista inferior de la gran losa volada del Teatro Principal.
Figure 11. Main Theatre cantilever access slab lower view.

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



Figura 12. Vista inferior del sistema estructural que conforma el anfiteatro
Figure 12. Amphitheatre structure lower view.

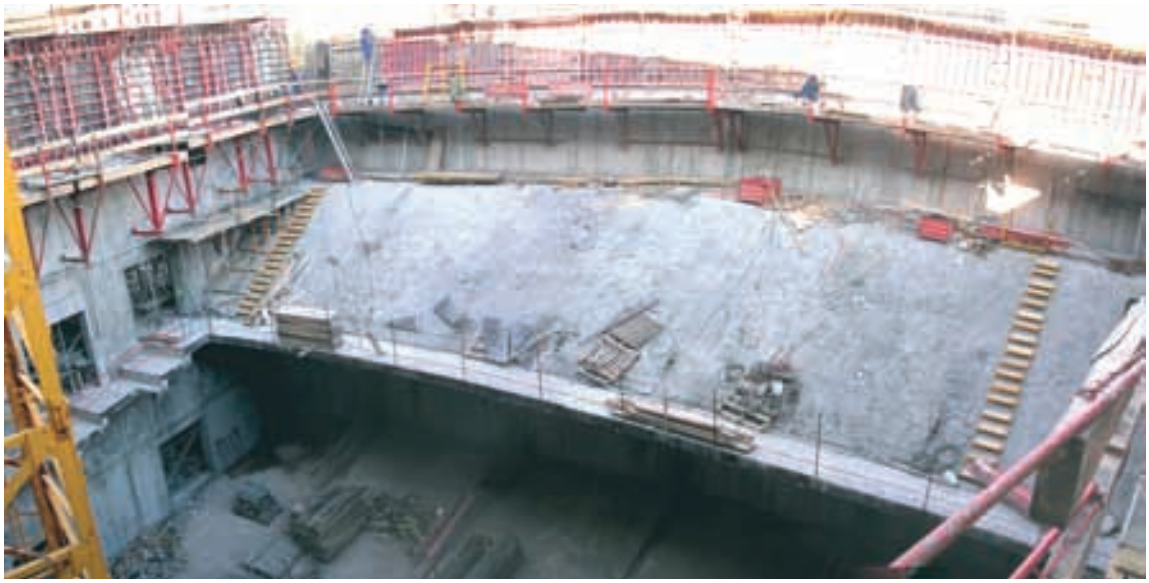


Figura 13. Vista superior del sistema estructural que conforma el anfiteatro.
Figure 13. Amphitheatre structure upper view.

realmente esta losa está suspendida de la estructura superior del teatro, por lo que el voladizo estructural real de esta losa es de 'únicamente' 6.00 m (Fig. 11).

La grada superior del anfiteatro de la sala se resuelve estructuralmente como una gran viga curva balcón de sección trapecial en cajón, en la cual el ala superior y el ala inclinada, que corresponde a la zona donde se sitúa el público, se unen convergiendo cerca del borde exterior del ala inferior horizontal, que forma el techo de la zona del fondo del patio de butacas, permitiendo dejar libre toda esta zona inferior, salvando una luz de 34 m. La viga cajón se une en sus extremos a las grandes pantallas laterales, de las que cuelga la losa exterior mencionada anteriormente (Figs. 12 y 13).

Encima del espacio correspondiente al público del Teatro Principal, se sitúa una sala de ensayos que está soportada por vigas armadas mixtas, de las que además, cuelga la concha acústica del teatro y las pasarelas de acceso a las instalaciones situadas en el techo de la

A rehearsal area is set over the public zone of the main theatre. This area is supported in composite reinforced beams of variable span up to a maximum of 31 m. These beams hold the acoustic shell of the theatre and catwalks to the installation set in the theatre ceiling. These beams are, in general, 1.60 m steel beam deep, and are 6.00 m separated to each other, with the exception of the outer beam, that is the one with the longest span, 31 m, and that has been designed with a steel beam depth of solely 1.00 m, due to the necessity to maintain a minimum height between these beams and the acoustic shell (Figs. 14 and 15).

The assembly of these beams has been made in height, joining both parts in which they were transported to the work site, with the aid of a temporary intermediate support. Once both parts were welded, the temporary support was retired and purlins were placed between the beams, in order to support steel sheeting lost formwork that would allow the concreting the 25 cm upper slab in two phases, with the intention of making the whole rest of the construction process without temporary supports.

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

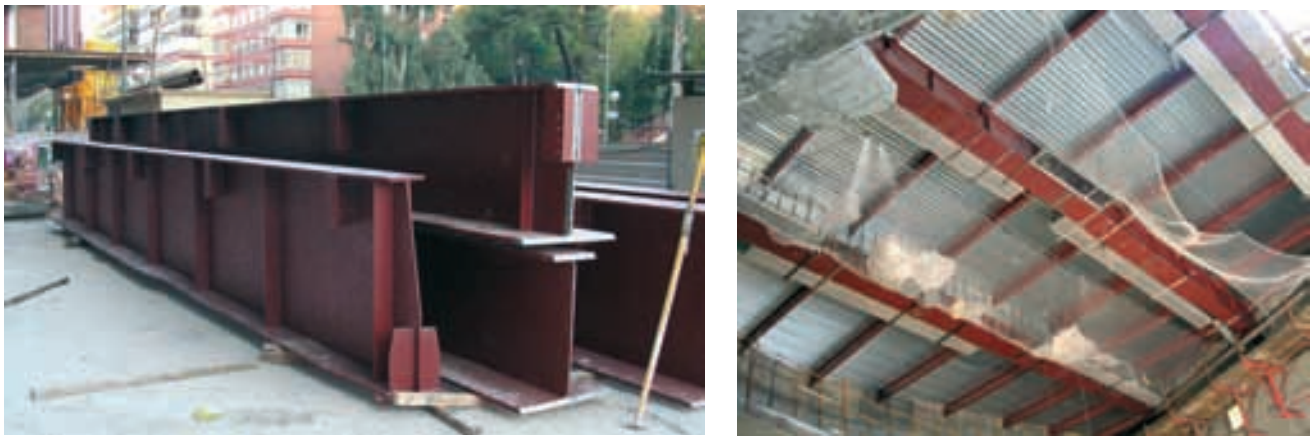


Figura 14. Vista de las vigas previamente al montaje y colocadas en su posición definitiva.
Figure 14. View of the steel beams previously to assembling and in their definitive position.

sala. Estas vigas tienen en general un canto metálico de 1.60 m, y están separadas entre sí 6.00 m, a excepción de la viga delantera, que resulta ser la que mayor luz tiene, 31 m, y que se ha diseñado con un canto metálico de únicamente 1.00 m, debido a la necesidad de mantener unos gálibos determinados entre estas vigas y la concha acústica (Figs. 14 y15).

El montaje de estas vigas se ha realizado en altura, uniendo las dos partes en que fueron transportadas a la obra, con la ayuda de un soporte intermedio provisional. Una vez soldadas ambas partes, se retiró el soporte provisional y se colocaron entre las vigas, correas que soportaban un encofrado perdido de chapa plegada, que permitiría hormigonar la losa superior de 25 cm de canto, en dos fases, todo ello con el objeto de realizar prácticamente todo el resto del proceso sin la necesidad de cimbras ni apeos.

En la parte superior del edificio, recorriendo todo su perímetro, se dispone una viga balcón de hormigón o metálica, según las zonas, que sirve de cierre formal del frente del edificio, y de la que cuelga la fachada de cristal apoyada en grandes perfiles metálicos. Esta fachada de cristal en algunos casos se separa del cuerpo del edificio, y cuelga desde una serie de costillas metálicas en voladizo de hasta 6 m, que surgen de la viga perimetral mencionada anteriormente.

A concrete or steel balcony beam, runs around the entire perimeter of the upper part of the building. Large steel profiles are attached to these beams to support the glass curtain walling enclosing the front of the building. In some areas this glass frontage is set clear of the body of the building and is suspended on a series of cantilevered steel ribs of up to 6 m which extend from the perimeter beam.

The building is covered by a series of composite beams with an upper slab over the rehearsal area and a composite truss over the stage box, which also supports the stage grid and all its machinery. Both are self-bearing and are built without the need for supports (Fig. 16).

3.2. Configurable Theatre

The Configurable Theatre shares the same structural type and concept as the Main Theatre but with the difference that the public are set within the area of the stage which is arranged in the form of a Latin cross. However, part of this stage box is suspended at the rear to leave a clear lower space as in the case of the Main Theatre (Fig. 17).

A further characteristic of the Configurable Theatre are the large cantilevers of complicated form which protrude from the stage box and which in some cases extend as far as 15 m

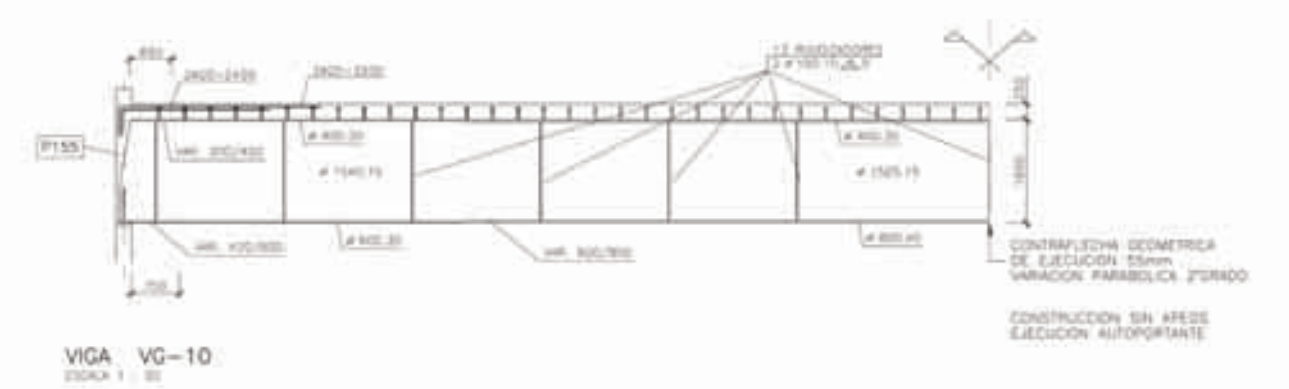


Figura 15. Vigas mixtas de soporte del forjado de la sala de ensayos.
Figure 15. Rehearsal area floor composite beams.

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

Finalmente, el edificio se cubre mediante otro sistema de vigas mixtas armadas con losa maciza superior en la zona de la sala de ensayos, y un sistema de celosías mixtas sobre la zona de la caja escénica, encargada esta última además, de soportar el peine escénico y toda su maquinaria. Ambos sistemas son autoportantes y se construyen, al igual que las anteriores, sin necesidad de apeos (Fig. 16).

3.2. Teatro Configurable

El Teatro Configurable comparte tipología y concepto estructural con el Teatro Principal, pero se diferencia del anterior en que el público se sitúa dentro del recinto correspondiente a la caja escénica, que tiene forma de cruz latina. Esto no evita que una parte de esta caja cuelgue "en bandera" de la parte dorsal de la misma, dejando libre el espacio inferior, como en el caso del Teatro Principal (Fig. 17).

Otra peculiaridad del Teatro Configurable es la presencia de importantes áreas en voladizo de complicada geometría, que surgen del sistema estructural de la caja escénica, alcanzando en algún caso hasta 15 m de luz (Fig. 18). Estos voladizos se han resuelto mediante losas macizas pretensadas de canto variable. La configuración geométrica de estos voladizos, con un trabajo de flexión marcadamente bidireccional, pero en el que no predomina ninguna dirección principal de forma constante en toda la losa, impide que se puedan realizar aligeramientos eficaces para todas las hipótesis de carga, que hubieran resultado muy beneficiosos por la reducción de peso que implican.

Los cierres superiores de la caja escénica se realizan, al igual que en el Teatro Principal, mediante estructuras de tipo mixto. En este caso, no sólo soportan la cubierta del edificio mediante vigas, sino que también se han diseñado entramados y celosías de gran canto para resistir las fuertes cargas correspondientes a las zonas de maquinaria y equipamiento escénico que requiere el Teatro Configurable (Figs. 19 y 20).



Figura 16. Celosías mixtas de la cubierta de la caja escénica.
Figure 16. Composite trusses for the stage house roof.



Figura 17. Teatros en construcción. En primer plano el Teatro Configurable.
Figure 17. Theatres under construction.



Figura 18. Losa de entrada del Teatro Configurable.
Figure 18. Access slab in the Configurable Theatre.

(Fig. 18). These cantilevers are formed by prestressed concrete slabs of variable depth. The geometrical arrangement of these cantilevers work under noticeably bi-directional bending, though with no predominant main direction throughout the slab. This prevents the use of efficient weight lightening under all possible loading cases which would have been very beneficial to reduce the weight involved.

The upper enclosures of the stage house are formed in the same manner as in the Main Theatre with composite structures. In this case, they not only support the roof of the building by means of beams, but also frames and trusses have been designed to resist the very important loads corresponding to the machinery and stage equipment zones, that the Configurable Theatre requires (Figs. 19 and 20).

The assembly of all these structures has been made, as in the Main Theatre, taking maximum advantage of its capacity in partial structural resistant phases, until completing its construction, in a strongly evolutionary construction process, so that the construction is, at any moment, carried out avoiding centrings, falseworks, props, and the execution of complicated operations in height altitude (Fig. 21).

Similarly, the spandrel beams supporting the glass façade in the main theatre are continued throughout this part of the building.

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



Figura 19. Interior de la caja escénica del Teatro Configurable. Estructuras mixtas.
Figure 19. Composite structures inside the Configurable Theatre stage house.

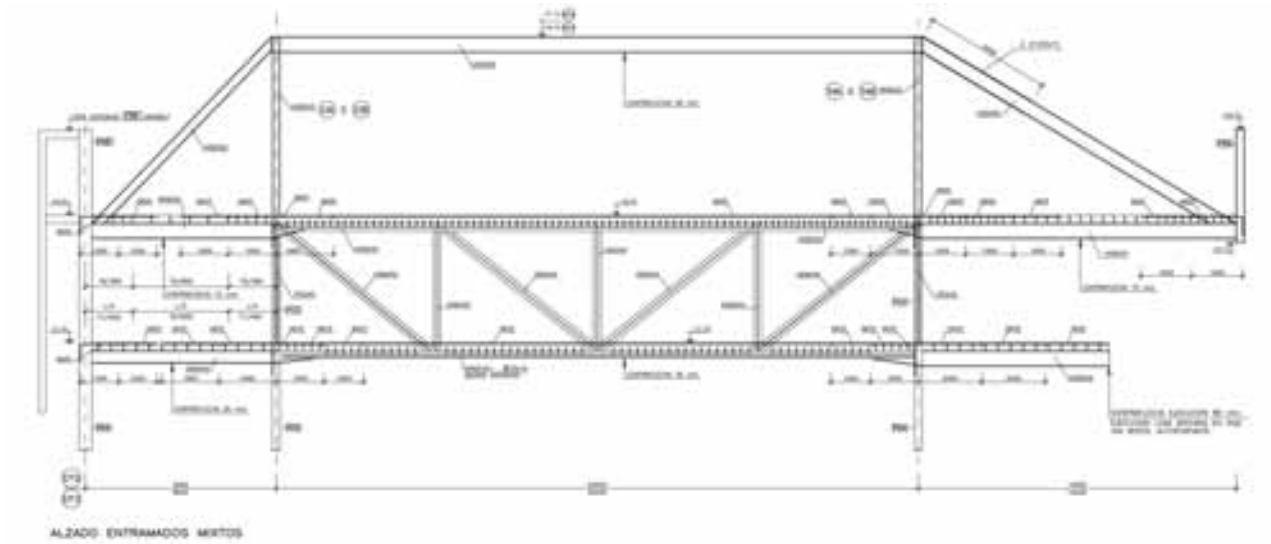


Figura 20. Entramados mixtos de la zona alta del Teatro Configurable.
Figure 20. Composite frames in the upper zone of the Configurable Theatre.

El montaje de todas estas estructuras se ha realizado, al igual que en el Teatro Principal, aprovechando al máximo su capacidad en los estados resistentes parciales, hasta su construcción completa, en un proceso constructivo de tipo fuertemente evolutivo, de forma que la construcción se lleve a cabo evitando en todo momento cimbras, puntales, apeos y la ejecución de operaciones complicadas a gran altura (Fig. 21).

De la misma manera, las vigas balcón que soportaban la fachada de cristal en el Teatro Principal se continúan en esta parte del edificio, formando un encintado perimetral de la zona alta del borde frontal del edificio, que sirve de soporte a los elementos de la fachada acristalada.

3.3. Centro Coreográfico

La zona de edificio correspondiente al Centro Coreográfico tiene unas características sustancialmente diferentes de las correspondientes a las zonas de los teatros, así como unas necesidades funcionales también

3.3. Choreographic Centre

The Choreographic Centre has very different functional requirements from the theatres and this is reflected by its structural type which, in this case, is in the form of columns, frames and slabs formed in reinforced concrete in the lower floors below ground level and in steel or composite material in the upper floors (Fig. 22).

The structure is apparently more conventional but is made complicated by the geometric arrangements of this part of the building, with numerous changes in level, double and triple heights levels, different flooring thicknesses and the large amount of installations within the same.

The horizontal forces are taken by the screen walls and lift cores, and the floor slabs are considered as rigid diaphragms.

The classrooms and dance rooms are of particular note in this building and require wide open spaces of double and triple height (6.40 m y 10.40 m respectively), and great amplitude (15 m x 30 m without intermediate supports).

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



Figura 21. Estructuras mixtas no apeadas.
Figure 21. Unpropping composite structures.

muy diferentes. Estas circunstancias se reflejan claramente en su tipología estructural, que en este caso es de soportes, pórticos y losas, de hormigón armado en las plantas inferiores, bajo rasante; pasando a ser los soportes metálicos, y las losas a estar soportadas mediante vigas mixtas en las plantas superiores (Fig. 22).

Aparentemente esta tipología es de carácter más convencional, sin embargo, resulta igualmente compleja por las especiales características geométricas de esta parte del edificio, en la que se dan numerosos cambios de nivel, dobles alturas, plantas intermedias, diferentes espesores de pavimentos y también por la gran cantidad de instalaciones que soporta.

These rooms are structurally solved with the previously indicated structural type (Fig. 23).

A further point of note is the large, sculptural ramp which extends in double cantilever towards the plaza created by the Choreographic Centre and the Main Theatre. This ramp is in double cantilever as it is held in the air by 4.50 m cantilever beams which extend from the main columns of the Choreographic Centre and the edge sections of the ramp similarly cantilever out from the central part leaving the ramp totally unconnected (Figs. 24 and 25). The ramp appears to be suspended in the air from the outside of the building through the steel rib supported transparent glass façades arranged in the courtyards created between the three sections of the building [7].

3.4. Rear zone

The rear zone of the theatres, which serves as a communication area between the three sections of the building, is formed by concrete columns at the lower floors and steel columns at the upper floors together with reinforced concrete slabs, of analogous form to the designed structure for the Choreographic Centre

The rear area is covered with a large glass skylight set on a steel frame (Fig. 26).

The stairs and ramps in the building are formed in concrete or steel according to purpose.

3.5. Façades

The glass façades that envelope the building are a main part of itself, not only from the architectonic point of view, but also from the structural point of view, since they require singular structural solutions in most of zones.



Figura 22. Vista general del Centro Coreográfico en fase de construcción
Figure 22. General of the Choreographic Centre during construction.

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



Figura 23. Salas de danza de doble y triple altura del Centro Coreográfico
Figure 23. Double and triple height dance room in the Choreographic Centre.

Las acciones horizontales existentes, en este caso únicamente de viento, se recogen mediante pantallas y núcleos de ascensores, considerando los forjados como diafragmas rígidos.

Destacan en este edificio las aulas y salas dedicadas a la danza que se caracterizan por ser espacios de doble y triple altura (6.40 m y 10.40 m respectivamente), y gran amplitud (15 m x 30 m sin soportes intermedios). Estas salas se han resuelto estructuralmente con la tipología indicada anteriormente (Fig. 23).

Otro elemento singular, no sólo en cuanto a su diseño estructural, sino también por su intención formal, es la gran rampa de carácter escultórico que comunica las diferentes plantas del Centro Coreográfico, por el lateral exterior del edificio. Esta rampa se compone de una losa de hormigón armado de 25 cm de canto, que se sostiene desde cada piso, mediante vigas en ménsula de 4.50 m de vuelo, y desde las cuales la rampa, a su vez, vuela longitudinalmente hasta alcanzar una longitud total máxima de 16.50 m, de manera que la percepción visual exterior es que la rampa esta suspendida flotando en el aire. Los tramos adyacentes de la rampa están unidos mediante tabiques verticales y triangulares de hormigón armado que permiten alcanzar en la losa la importante esbeltez mencionada (Figs. 24 y 25).

Esta rampa puede verse perfectamente desde el exterior del edificio, a través de la fachada acristalada semitransparente que se ha dispuesto en la plaza que se crea entre el Teatro Principal y el Centro Coreográfico [7].



Figura 24. Vista exterior e interior de la rampa del Centro Coreográfico.
Figure 24. Outer and inner view of the ramp in the Choreographic Centre.

3.4. Zona Dorsal

La zona dorsal de los teatros, que sirve de comunicación entre las tres piezas del edificio se resuelve con una estructura de soportes de hormigón en las plantas infe-

The glass façade can be divided in two zones. The first zone corresponds to the upper parts of the building, over the level of access to the houses (fig. 27). In this zone, the façade is cavity-wall façade with opaque red, black or silver colour glasses, according to the building that envelopes, and visible

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

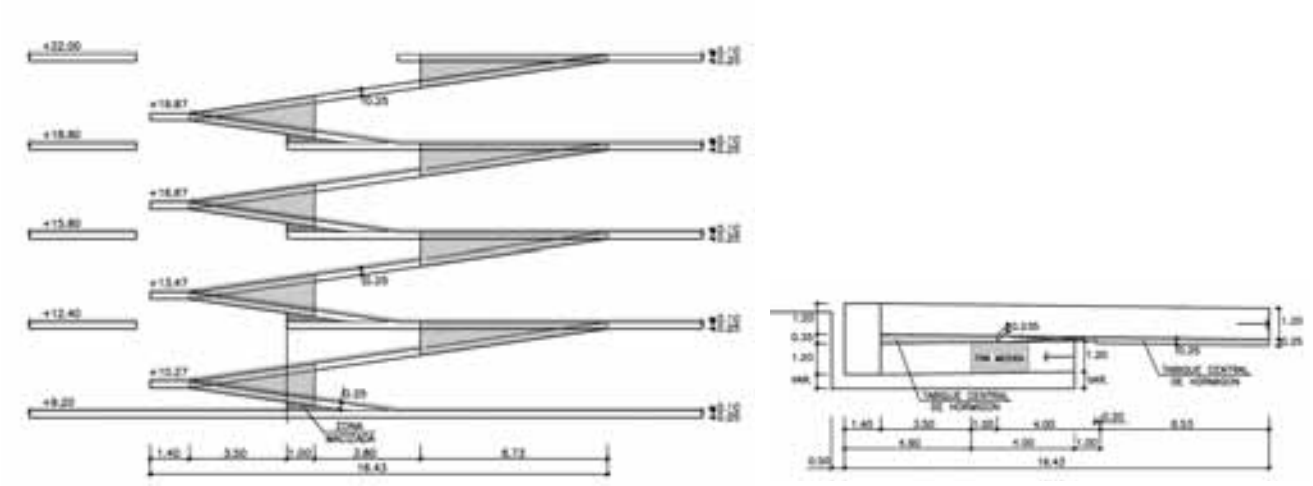


Figura 25. Esquema en alzado y planta de la rampa del Centro Coreográfico
Figure 25. Elevation and plant schemes of the ramp in the Choreographic Centre.

riores y metálicos en plantas superiores, y losas macizas de hormigón armado, de forma análoga a la estructura diseñada para el Centro Coreográfico.

La cubierta de esta zona es un gran lucernario acristalado con un esqueleto metálico (Fig. 26).

Las escaleras y rampas del conjunto de los edificios son de hormigón o bien metálicas ligeras en función del uso que se les vaya a dar.

3.5. Fachadas

Las fachadas acristaladas que recubren el edificio son una parte fundamental del mismo, no sólo desde el punto de vista arquitectónico, sino también desde el punto de vista estructural, ya que requieren soluciones de tipo singular en la mayor parte de de zonas.

La fachada puede dividirse en dos zonas. La primera zona correspondería a las partes altas del edificio, por

by its two sides; or a wall curtain façade with transparent and translucent glasses, in the zones between buildings. The designed types of structure for support of these upper zones glass façade are:

– *Conventional steel beam and supports, constructed floor to floor.*

– *Hung vertical steel laminated profiles from truss structures located in the upper border of the buildings.*

– *Hung vertical or inclined steel profiles from rising cantilevers of up to 6 m in the upper zone between buildings.*

These hung steel profiles are simply horizontally supported in the access to the stage house floor (level +6.00), having the movement along the profile released, by means of a longitudinal drill in this direction, with the object to freely allow the deformations due to temperature variations, and thus avoiding any type of parasitic or not controlled stress state in the profiles and in the glass façade (Fig. 28).



Figura 26. Lucernario de la Galería Dorsal y vista aérea del Centro Coreográfico y Galería Dorsal.
Figure 26. Glass skylight in the Rear Zone and aerial view of the Rear Zone and Choreographic Centre.

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

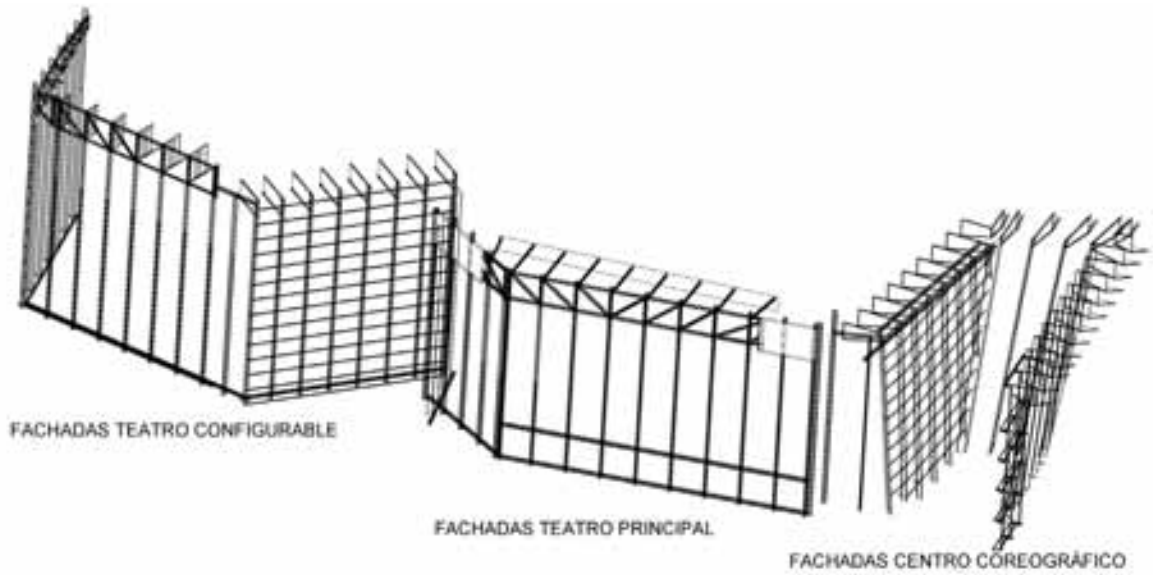


Figura 27. Estructura metálica de las fachadas superiores colgadas.
Figure 27. Upper façades steel structure.

encima de la cota de entrada de las salas (Fig. 27). En esta zona, la fachada es de tipo ventilada con vidrios opacos de color negro, rojo o plata, según los edificios que cierra, y visible por sus dos lados; o bien de tipo muro cortina con vidrios transparentes o translúcidos, en las zonas entre cuerpos. Los tipos de estructura diseñados para soporte de esta fachada acristalada de la parte superior son de tres tipos:

– Soportes y vigas metálicos de tipo convencional, construidos planta a planta.

– Perfiles verticales metálicos colgados desde estructuras en celosía situadas en el borde superior de los edificios, que salvan luces importantes en voladizo y en cuelgue.

These hung steel profiles must respect the very strict deformative conditions that require the façades of glass elements, being in the case of the inclined profiles especially important, since the selfweight of the façade determines an appreciable bending in these profiles.

In the case of the cantilever structural elements, it has also been necessary to make a system of rigidly fixing in the spandrel beam of the building, centring the reaction, and avoiding that the spandrel beam was put under torsion or warping (Fig. 29).

The second zone of the building façades corresponds to its lower part, in which the façade must maintain the repeatedly previously expressed conceptual idea of permeability.



Figura 28. Estructura metálica de fachada colgada desde ménsulas en el espacio entre el Centro Coreográfico y el Teatro Principal.
Figure 28. Upper façades steel structure hung from cantilevers between the Choreographic Centre and the Main Theatre.

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

– Perfiles metálicos verticales o inclinados colgados de ménsulas salientes en voladizo de hasta 6 m en la zona superior entre edificios.

Los perfiles de cuelgue se apoyan horizontalmente en el forjado de entrada a las salas (cota +6.00), habiéndose liberado el movimiento longitudinal al perfil, mediante un taladro rasgado en dicha dirección, con el objeto de permitir libremente las deformaciones debidas a cambios de temperatura, evitando así cualquier tipo de estado tensional parásito o no controlado en los perfiles de cuelgue, y en la fachada de vidrio (Fig. 28).

Estos perfiles de cuelgue deben respetar los estrictos condicionantes deformativos que requieren las fachadas de elementos de vidrio, siendo especialmente importantes en el caso de los perfiles inclinados, ya que el propio peso de la fachada determina una apreciable flexión en dichos perfiles.

En el caso de los elementos en ménsula también ha sido necesario realizar un sistema de empotramiento de dichas ménsulas en la viga peto perimetral del edificio, centrando la reacción, y evitando que la viga peto se viera sometida a torsiones o alabeos (Fig. 29).

La segunda zona característica de las fachadas del edificio corresponde a la parte inferior del mismo, en la cual la fachada se pretende que mantenga la idea de permeabilidad expresada repetidamente con anterioridad. Para ello, el vidrio en esta zona es completamente transparente, y las juntas entre vidrios se han reducido al mínimo imprescindible.

La estructura de soporte de esta fachada consiste en palastros gruesos de acero articulados mediante bulones en su apoyo superior e inferior. Estos elementos se apoyan en el forjado inferior, por lo que están sometidos a esfuerzos de compresión. Las dimensiones de la sección de estos palastros son de 300 mm x 50 mm. La dimensión transversal de estas chapas es muy reducida en relación a su luz de pandeo, que en algunos casos llega a ser de 7.40 m, por lo que ha sido necesario realizar un estudio muy preciso de sus condiciones de estabilidad. La articulación de la zona superior esta asociada a un agujero rasgado, con el objeto de evitar cualquier tipo de posibilidad de apoyo de los forjados superiores en los palastros de soporte (Fig. 30).

3.6. Cimentación y subestructura

La presencia en los límites del solar de edificios de viviendas, algunos en un estado de conservación problemático, unido a la necesidad de construir sótanos, obligaba a realizar una excavación por debajo de las cimentaciones de dichos edificios colindantes, lo que llevó a construir una pantalla de contención realizada con pilotes de diámetro 800 mm, con separaciones y longitudes variables, dependiendo de la zona que se tratara. La imposibilidad de realizar anclajes al terreno,



Figura 29. Estructura metálica de fachada colgada desde ménsulas en el Teatro Configurable y celosías frontales de cuelgue de perfiles de fachada.
Figure 29. Façades steel structure hung from cantilevers in the Choreographic Centre and frontal façade trusses.



Figura 30. Fachadas inferiores terminadas.
Figure 30. Lower façades.

With this objective, the glass façade is completely transparent in this zone, and the joints between glasses have been reduced to the essential minimum.

The supporting structure for this façade consists of a simply supported steel plate. These elements are supported in the lower floor, reason why they are under compressive stress. The dimensions of the cross-section of these steel plates are 300 mm x 50 mm. The cross-sectional dimension of these plates is much reduced in relation to its buckling length (up to 7.4 m), thus a very precise study of its stability conditions has been carried out (Fig. 30).

3.6. Foundations and substructure

The presence of residential buildings around the boundary of the building site and the need for basements made it neces-

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



Figura 31. Contención perimetral del solar.
Figure 31. Retaining wall.

llevó a la necesidad de ejecutar la excavación con la pantalla de pilotes apoyada en una berma provisional, que se retiró al construir el primer forjado del edificio (Fig. 31).

La cimentación es de tipo superficial, consistente en grandes losas de hormigón, de formas complejas, en las que se apoyan las pantallas verticales; y en zapatas para los pilares y pantallas exentas menores. El canto de dichas losas es de 1.30 m para el Teatro Principal y de 1.30 ó 1.60, según zonas, en el Teatro Configurable (Figura 32). La cota de cimentación varía según zonas, la más profunda a la cota –6.50, en las zonas dorsales, donde se aceptaban tensiones medias de hasta 0.45 N/mm^2 y la más superficial, en la cota –3.00, donde la tensión admisible considerada es de 0.30 N/mm^2.

4. ASPECTOS DE PROYECTO Y DEL CÁLCULO ESTRUCTURAL

El planteamiento del proyecto de una estructura tan singular como la de los teatros, exigió igualmente, una

sary to excavate below the foundations of the adjacent buildings. This subsequently required the construction of retaining walls formed by 800 mm diameter piles with variable spacing and length according to area. The impossibility to make anchorages to the terrain, took to the necessity to execute the excavation with the retaining wall of piles supported with a provisional berm that was retired when the first floor of building was constructed (Fig. 31).

The foundations to the vertical walls are formed in large concrete slabs of complex shape, while the smaller walls and columns are set on footings. The thicknesses of the foundations vary from 1.30 m for the Main Theatre and 1.30 or 1.60 m, according to the area, in the Configurable Theatre. The depth of the foundations also vary according to area with the deepest being set at –6.50, in the rear areas, and which withstand average stresses of up 0.45 N/mm^2 and the more superficial being set at a level of –3.00, where the admissible stress considered is 0.30 N/mm^2.

4. DESING ASPECTS AND STRUCTURAL CALCULATION

The design arrangement of such a unique structure required an equally special methodology. The complex geometrical and architectural arrangement, together with the evolutionary nature of the structure, the functional requirements and the complex structural interactions between the elements, made it impossible to use the majority of work and calculation methods employed in more conventional buildings [5].

The total dimension of the building, along with the adopted structural type, strongly interlaced and monolithic, recommended the positioning of expansion joints that were set between each part of the building to minimize the effects of temperature and shrinkage, very conditioning in the case of having made an integral structural design.

The previous circumstance permitted separately represent the structure of each one of the theatres, by means of individual global models of finite elements which accurately repre-



Figura 32. Hormigonado de la losa de cimentación del Teatro Configurable.
Figure 32. Configurable Theatre foundation concreting.

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

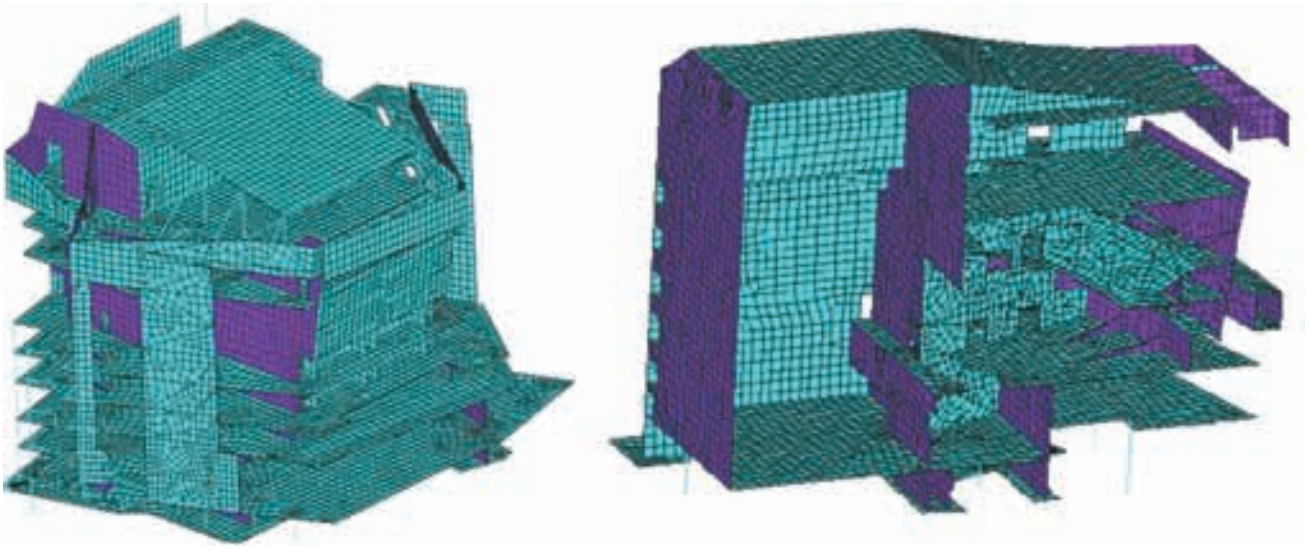


Figura 33. Modelos de elementos finitos del Teatro configurable (izq.) y Principal (dcha.).
Figure 33. Configurable Theatre (left) and Main Theatre (right) finite elements models.

metodología también singular. La especial configuración geométrica y arquitectónica de los edificios, unida al carácter evolutivo de la estructura, las servidumbres funcionales que se le imponían, las complejas interacciones estructurales entre elementos tridimensionales y la necesidad de monolitismo entre losas y pantallas, invalidaban una buena parte de los métodos de trabajo y de cálculo aplicados en edificios más convencionales [5].

La dimensión total del edificio, junto con la tipología adoptada, fuertemente entrelazada y monolítica, recomendó la colocación de juntas entre los teatros, y entre el Teatro Principal y el Centro Coreográfico, con objeto de reducir los efectos de las acciones térmicas e higrométricas, muy condicionantes en el caso de haber realizado un diseño estructural integral.

La circunstancia anterior se aprovechó para representar la estructura de cada uno de los teatros por separado, mediante sendos modelos globales de elementos finitos que representaban con precisión las pantallas, losas, pilares, vigas y entramados metálicos que componían cada edificio. Esto permitía aplicar directamente las distintas hipótesis de carga adoptadas, y además, tenía la ventaja de que cada modelo podía segregarse fácilmente en partes para el estudio secuencial del proceso constructivo. En dicho modelo se incluyó la cimentación para tener en cuenta la interacción de la estructura con el terreno (Fig. 33).

La amplia superficie de forjados y pantallas a dimensionar, 19.000 m^2 en el Teatro Principal y 15.000 m^2 en el Teatro Configurable, dio lugar a grandes modelos de elementos finitos: 26.200 elementos en el Teatro Principal y 22.100 en el Teatro Configurable. Esta circunstancia, unida a la intensa interacción de esfuerzos en cada punto de la estructura, y a la necesidad de optimización de espesores y armaduras, en un plazo de tiempo razonable, determinó la necesidad de utilizar un postproceso de

sented the walls, slabs, columns, beams and steel trusswork of each building. This then allowed the direct application of different loading hypotheses and had the additional advantage that the model could easily be separated into sections to enable a study of the construction process. The said model included the foundations in order to consider the interaction of the structure with the soil (Fig. 33).

The great surface of floors and walls to dimension, 19.000 m^2 in the Main Theatre and 15.000 m^2 in the Configurable Theatre, gave finite elements models of great size: 26.200 elements for the Main Theatre model and 22.100 for the Configurable Theatre. This circumstance, together with to the intense interaction of internal forces in each point of the structure, and the necessity of optimization of thicknesses and reinforcement, in a reasonable time, determined the necessity of using an automatic data postprocess, and a results control system by means of simplified models, that will allow to verify the goodness of the obtained computer results.

From the results of the stresses on the elements the ULS and SLS envelope of the structures was made. On the basis of this envelope, automatic numerical and graphic postprocessing in the finite elements code ANSYS was made in order to directly obtain the amount of reinforcement required in the slabs and walls, considering the interaction between bending and torque stresses and axial and shear stresses, according the Eurocode rules. These internal forces were automatically compared with axial–bending interaction diagrams, tabulated for different quantities of reinforcement in predefined patterns. The results of reinforcement patterns were also automatically represented in graphs of slabs and walls (Fig. 34).

The more conventional columns and beams were dimensioned in the same way. In certain special areas of the structure, such as the main cantilever slabs in the theatre, more detailed local models were made to verify the reliability of the results of the general model and proved highly satisfactory.

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

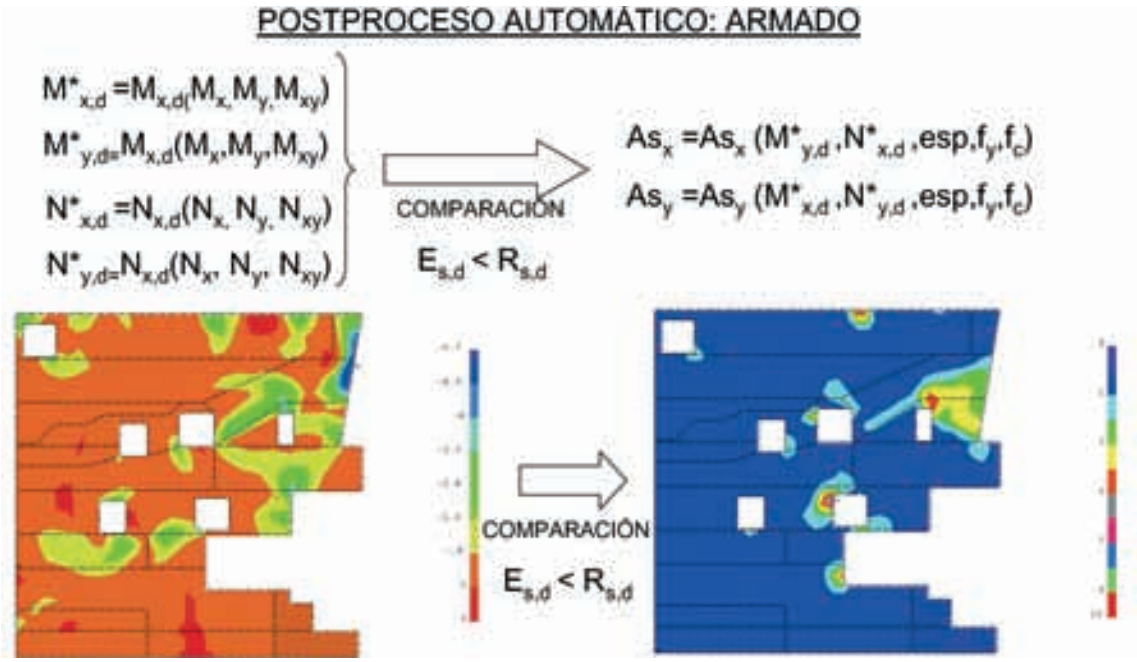


Figura 34. Fundamentos del postproceso automático.
Figure 34. Automatic postprocess basis.

datos de tipo automático, y un sistema de control de resultados mediante modelos simplificados, que permitirá comprobar la bondad de los resultados informáticos obtenidos.

Con el objetivo anterior, a partir de los resultados de esfuerzos en los elementos del modelo se realizó la envolvente de cálculo (valores mayorados) y de servicio (valores característicos) de las estructuras. Con estas envolventes se programó en el código de elementos finitos ANSYS un postproceso automático, tanto numérico como gráfico, que permitía obtener directamente las armaduras necesarias en las losas y pantallas, teniendo en cuenta las interacciones entre esfuerzos de flexión y torsión, y de axil y rasante, de acuerdo con las reglas de interacción de Wood y Armer, recogidas en el Eurocódigo, para obtener parejas de esfuerzos de axil y momento flector equivalente en las dos direcciones de armado de la lámina. Estas parejas de esfuerzos se comparaban automáticamente con los diagramas de interacción axil – flexión, tabulados para distintas cuantías de armadura representadas en patrones predefinidos de armado. Los resultados de los patrones de armado se representaban, también automáticamente, en gráficos de las losas y las pantallas (Fig. 34).

De la misma forma se dimensionaron los pilares y vigas convencionales. De ciertas zonas singulares de la estructura, como pueden ser las principales losas en voladizo de los teatros, se realizaron también modelos locales más detallados, para comprobar el buen ajuste de los resultados del modelo general, que resultó ser extraordinaria.

Las vigas, celosías y entramados mixtos de las zonas altas de los teatros, de carácter evolutivo, se calcularon mediante modelos locales, cuyos resultados se contrastaron con los obtenidos en los modelos generales.

The composite beams, trusses and frameworks to the upper areas of the theatres, of evolutionary nature, were calculated by individual local models and the results were compared with those obtained from the general models.

6. CONSTRUCTION PROCESS

In the case of the theatres and given the evolutionary nature of the structure and the presence of large cantilevers and suspended areas supported on a structure such as this, a complete study of the main stages of the final construction process was carried out in order to estimate the reactions of supports, real precambers during construction and the expected movements during the removal of supports in order to gauge the range of the hydraulic jacks required for this operation

The Choreographic Centre construction process is quite conventional, floor to floor, with some hung zones, to construct later. On the contrary, the construction process of the two theatres is similar and is essentially based on the following stages [6]:

- *Construction of the foundations and the first structural walls and slabs by conventional methods.*
- *Elevation of the walling forming the stage house by climbing formwork up to roof level (Fig. 35).*
- *Construction with temporary steel supports of the suspended structure consisting of the cantilevered slabs and walls, up to the point where they reached sufficient strength capacity to be self-bearing.*
- *Controlled unpropping of the structure built to this point, by means of hydraulic jacks at the top of the temporary steel supports.*

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



Figura 35. Estructura de los teatros en fase de construcción
Figure 35. Theatres structure under construction.

6. PROCESO CONSTRUCTIVO

En el caso de los teatros, y dado el carácter evolutivo de la estructura, y la presencia de grandes voladizos y de zonas colgadas, que son soportadas en parte por la estructura que está sobre ellas, se realizó un estudio completo de las principales fases del proceso constructivo final, con objeto de estimar las reacciones en los apeos provisionales, las contraflechas reales de construcción, y finalmente los movimientos esperados en las fases de desapeo, para el dimensionamiento de la carrera de los gatos hidráulicos necesarios para esta operación.

El proceso constructivo del Centro Coreográfico es de tipo bastante convencional, planta a planta, con algunas zonas colgadas, a construir a posteriori. Por el contrario, la ejecución de los dos teatros es muy semejante y se basó fundamentalmente en las siguientes fases [6]:

– Construcción de la cimentación, y de las primeras pantallas estructurales y losas por procedimientos convencionales.

– Elevación mediante encofrados trepantes, hasta la cota de cubierta de las pantallas que conforman la caja escénica (Fig. 35).

– Construcción mediante importantes apeos provisionales metálicos, de la estructura colgada consistente en losas voladas y pantallas, hasta la cota en la que estas últimas, en conjunto presentan una capacidad resistente suficiente para ser autoportantes.

– *Forming of the remainder of the walls and slabs over the existing structure.*

– *Closing of the roof covers by steel and composite structures.*

– *Construction of the glass façade structure (Fig. 36).*

One of the most crucial parts of the construction process was the removal of the temporary supports in the theatres. This process was carried out with seven 6500 kN capacity hydraulic jacks in the case of the Main Theatre and four similar jacks in the Configurable Theatre.

This operation was highly complex due to the high degree of not statically determination of the structure on unpropping, the operation of any of the jacks seriously affected the loads acting on the others. A staged unpropping procedure was established for these operations with simultaneous control over loads and movements, based on the results obtained in the evolutionary analyses (Figs. 37 y 38).

One of the fundamental problems consisted of determining, with a sufficient precision, the real load supported by every temporary support, to recover it by means of hydraulic jacks. Although this load had been considered in the previous analyses, if its real value were not determined with certain exactitude, it was in danger to overload the hydraulic jacks and to carry the structure to load states for which it was not designed. For this determination a procedure was designed. The operation was controlled by means of a micrometer that

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

– Desapeo controlado de la estructura construida hasta ese momento, mediante gatos dispuestos en la coronación de los apeos metálicos provisionales.

– Ejecución del resto de pantallas y losas elevándose apoyadas sobre la estructura existente.

– Cierre de las cubiertas mediante estructuras metálicas y mixtas autoportantes.

– Construcción de la estructura de las fachadas acristaladas (Fig. 36).

El principal punto singular del proceso constructivo de los teatros, fue el desapeo de su estructura parcial inferior, realizada mediante el empleo de 7 gatos hidráulicos de 6500 kN de capacidad máxima en el caso del Teatro Principal, y de 4 unidades similares para el Teatro Configurable.

Esta operación resulta de gran importancia ya que, debido a la gran hiperestaticidad de la estructura a desapear, la actuación en uno cualquiera de los gatos, modifica de forma importante las cargas actuantes sobre el resto. Para estas maniobras se diseñó un procedimiento especial de desapeo por fases, con control simultáneo de cargas y movimientos, a partir de los valores obtenidos en los análisis evolutivos (Figs. 37 y 38).

Uno de los problemas fundamentales consistía en determinar, con una precisión suficiente la carga real que soportaba cada apeo, para recuperarla mediante gatos. Pese a que dicha carga se había estimado en los análisis previos, si no se determinaba su valor real con cierta exactitud, se corría el peligro de sobrecargar los gatos y someter a la estructura a estados de carga para los que no estaba diseñada. Para esta determinación se diseñó un procedimiento que controlaba mediante un micrómetro los movimientos que se producían entre el apeo y la losa al ir cargando los gatos, registrando los valores en un gráfico de forma que, en el momento que se producía la total transmisión de carga, la variación de rigidez del sistema apeo–gato–estructura provocaba un cambio de



Figura 36. Construcción de la estructura de fachadas.
Figure 36. Façade structure construction.

registered the movements that took place between the temporary support and the slab when the hydraulic jacks were put in load, registering the values in a graph so that, at the moment that the total transmission of load happened, the system support-jack-structure stiffness variation caused a slope change in the registered line, obtaining thus by intersection of the two straight lines a very approximated value of the existing load in temporary support (Fig. 39).

The operation was highly successful and in spite of the fact that this is a highly complex and not statically determinated concrete structure, the operations showed excellent correspondence with the expected loads and movements in the case of the Main Theatre and a somewhat less precise but always favourable correspondence in the case of the Configurable Theatre (Fig. 40).

The study of the construction process, considering the time of construction of each part of the structure and its creep, similarly provided the real movements in the cantilevers and allowed the definition of the necessary precambers.

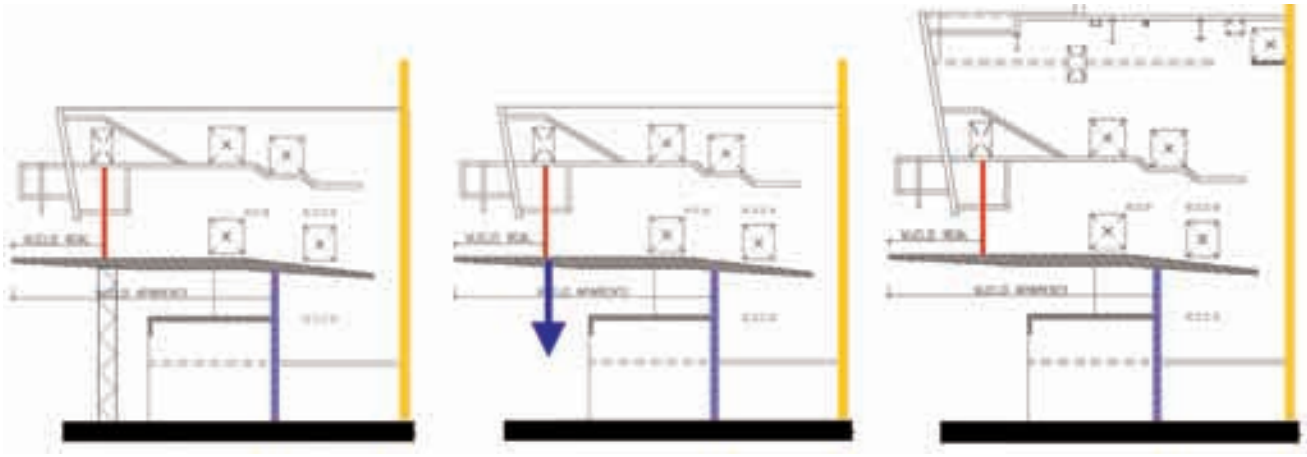


Figura 37. Esquema de fases de la construcción del Teatro Principal: Estructura parcial apeada (izq.), desapeo (cent.) y finalización de la ejecución (dcha.)
Figure 37. Main Theatre construction phases scheme.

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



Figura 38. Apeos del Teatro principal con los gatos de desapeo colocados.
Figure 38. Hydraulic jacks on the temporary supports of the Main Theatre.

pendiente en la línea registrada, obteniéndose así por intersección de las dos rectas un valor muy aproximado de la carga existente en el apeo (Fig. 39).

Las maniobras se realizaron con éxito y, pese a ser una estructura de hormigón sumamente compleja e hiperestática, con un excelente ajuste con las cargas y movimientos esperados en el caso del Teatro Principal, y algo menos precisa, pero del lado favorable en el caso del Teatro Configurable (Fig. 40).

Igualmente, del estudio del proceso constructivo, considerando el instante de construcción de cada parte de la estructura y su fluencia, se obtuvieron los movimientos reales en los voladizos, para definir las contraflechas necesarias.

Resulta interesante indicar en este punto, que el proceso constructivo previsto inicialmente en el proyecto se realizaba sin los apeos provisionales antedichos, avanzando en voladizo, sin embargo, la constructora prefirió colocar estos apeos metálicos para facilitar la construcción y reducir localmente los plazos de construcción, decisión que resulto, sin duda, del todo positiva.

It is interesting to indicate at this point, that the construction process initially prepared in the project was made without the aforementioned temporary supports, constructing in cantilever, nevertheless, the general contractor preferred to place these steel temporary supports to facilitate the construction and to locally reduce the terms of construction, decision that was, without doubt, absolutely positive.

Finally, some images of the building in its last phases of construction and finished (Figs. 41 to 47) are shown. The theatres were inaugurated with their total stage equipment the 23rd of September, 2008.

7. CONCLUSION

The Teatros del Canal opens a new line of structural design in which there is no difference between the functional, the architectural and the structural form, using the whole building as structure, and taking the advantage of all the spatial structural resources in order to optimize the structure of the buildings. This also requires a mutual understanding between the architect and the structural engineer in order to obtain the best final result.



Figura 39. Mecanismo de determinación de la carga en apeos. Micrómetro para determinación de movimientos.
Figure 39. Procedure to determine the load on the temporary supports. Micrometre.

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

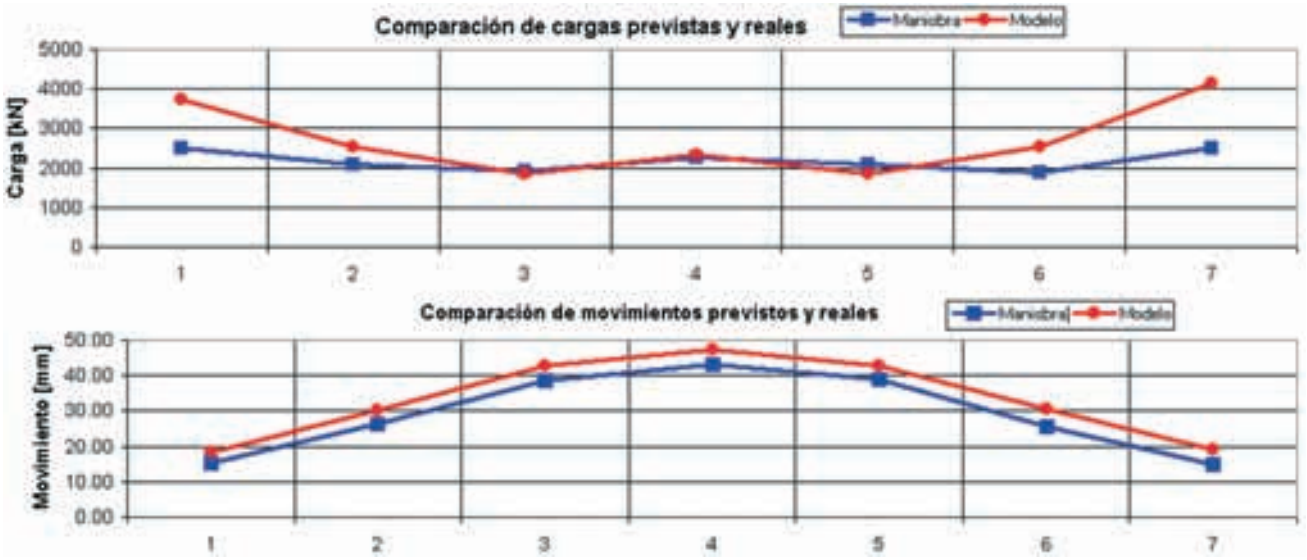


Figura 40. Gráficos comparativos de cargas en apeos (arriba) y movimientos de la estructura (abajo) entre el modelo de cálculo (rojo) y la realidad (azul)

Figure 40. Graphics of comparing between the analysis model (red) to reality (blue) for load on temporary supports (up) and structure movements (down).



Figura 41. Colocación de vidrios de fachada.

Figure 41. Façade glasses placing.



Figura 42. Vista frontal del edificio en sus últimas fases de construcción

Figure 42. Frontal view of the building in its final phase of construction.

Finalmente, se muestran a continuación algunas imágenes del edificio en sus últimas fases de construcción y terminado (Figs. 41 a 47). Los teatros se inauguraron con su total maquinaria el 23 de septiembre de 2008.

7. CONCLUSIÓN

Los Teatros del Canal representan una nueva línea de diseño estructural en la cual no existen diferencias sustanciales entre la forma estructural, arquitectónica y funcional, usando el edificio completo como estructura, y aprovechando al máximo los recursos que este proporciona, con el objeto de optimizar su esquema resistente. Esto requiere un entendimiento mutuo entre el arquitecto y el ingeniero estructural para conseguir un resultado final excelente.

El proyecto de la estructura para un edificio de estas características especiales, requiere igualmente una metodología de trabajo especial. La complejidad geométrica y



Figura 43. Vista lateral del edificio.

Figure 43. Lateral view.

The design arrangement of such an unique structure requires an equally special methodology. The complex geometrical and architectural arrangement, the evolutionary

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



Figura 44. Vista del edificio terminado.
Figure 44. Finished building view.



Figura 45. Vista del edificio terminado.
Figure 45. Finished building view.



Figura 46. Atrio interior cubierto por la fachada acristalada.
Figure 46. Inner atrium covered by the glass façade.

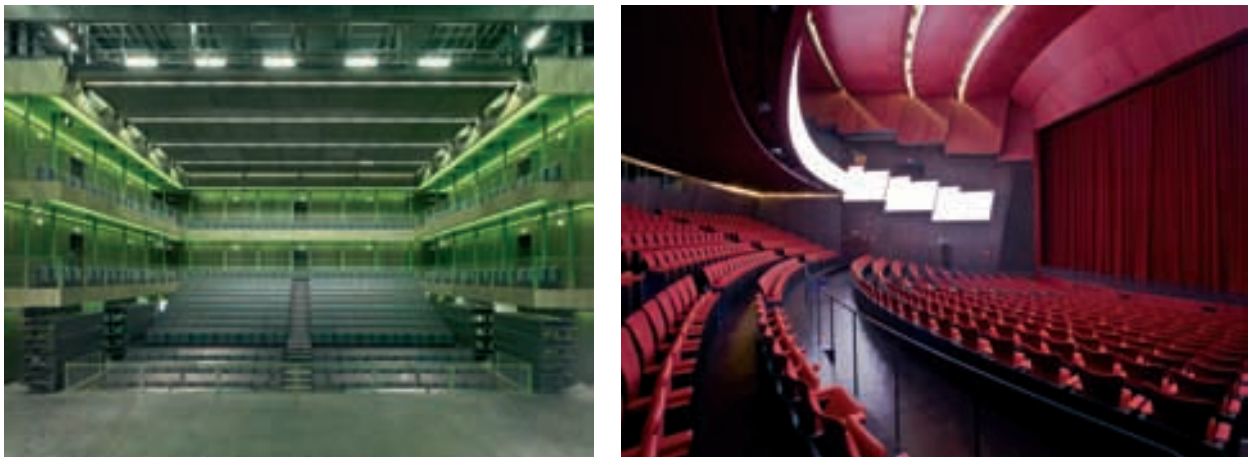


Figura 47. Interior de las salas configurable (izq.) y principal (dcha.)
Figure 47. Inner view of the Configurable Theatre house (left) and Main theatre house (right).

arquitectónica, la naturaleza evolutiva de la estructura, los requerimientos funcionales y las complejas interacciones entre elementos estructurales, hace imposible el uso de la mayoría de los métodos de cálculo empleados en edificios convencionales, y requiere el empleo de métodos de elementos finitos asociados a potentes sistemas de postproceso automático.

nature of the structure, the functional requirements and the complex structural interactions between the elements, made it impossible to use the majority of calculation methods employed in conventional buildings; and requires the use of FE methods along with a powerful automatic post-processing.

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

8. REFERENCIAS

[1] Hernández Ayuso, A., Serrano Corral, A., Tabera Atienza, A.: *Teatro del Canal. Centro de Artes Escénicas de la Comunidad de Madrid.* Revista de Obras Públicas. Año 153. Nº 3.469. Septiembre 2006. pp. 61-71

[2] Navarro Baldeweg, J.: *Centro para las Artes Escénicas de la Comunidad de Madrid.* El Croquis. Nº 133. 2006. pp. 134-153

[3] Martínez Calzón, J., Serrano Corral, A.: *Nuevas líneas de diseño estructural: Los Teatros del Canal en Madrid.* Informes de la Construcción. Vol. 58. Nº 504. Octubre – Diciembre 2006. pp. 65-66

[4] Madrid Ramos, M., Tabera Atienza, A., Álvarez Andrés, J.J.: *Centro de Artes Escénicas de la Comunidad de Madrid.* Zuncho. Nº 16. Junio 2008. pp. 2-12

[5] Martínez Calzón, J., Serrano Corral, A.: *Teatro del Canal. Centro de Artes Escénicas de la Comunidad de Madrid.* III Congreso de Puentes y Estructuras de Edificación de ACHE. Zaragoza. Noviembre 2005.

[6] Tabera García, A., Madrid Ramos, M., Tabera Atienza, A.: *Proceso Constructivo del Teatro del Canal. Centro de Artes Escénicas de la Comunidad de Madrid.* III Congreso de Puentes y Estructuras de Edificación de ACHE. Zaragoza. Noviembre 2005.

[7] Gómez Navarro, M.: *Proyecto del Teatro del Canal.* II Congreso de Puentes y Estructuras de Edificación de ACHE. Madrid. Noviembre 2002.

8. REFERENCES

[1] Hernández Ayuso, A., Serrano Corral, A., Tabera Atienza, A.: Teatro del Canal. Centro de Artes Escénicas de la Comunidad de Madrid. *Revista de Obras Públicas. Año 153. Nº 3.469. September 2006. pp. 61-71.*

[2] Navarro Baldeweg, J.: Centro para las Artes Escénicas de la Comunidad de Madrid. *El Croquis. Nº 133. 2006. pp. 134-153.*

[3] *Martínez Calzón, J., Serrano Corral, A.:* Nuevas líneas de diseño estructural: Los Teatros del Canal en Madrid. *Informes de la Construcción. Vol. 58. Nº 504. October – December 2006. pp. 65-66.*

[4] Madrid Ramos, M., Tabera Atienza, A., Álvarez Andrés, J.J.: Centro de Artes Escénicas de la Comunidad de Madrid. *Zuncho. Nº 16. June 2008. pp. 2-12.*

[5] Martínez Calzón, J., Serrano Corral, A.: Teatro del Canal. Centro de Artes Escénicas de la Comunidad de Madrid. *III Congreso de Puentes y Estructuras de Edificación de ACHE. Zaragoza. November 2005.*

[6] Tabera García, A., Madrid Ramos, M., Tabera Atienza, A.: Proceso Constructivo del Teatro del Canal. Centro de Artes Escénicas de la Comunidad de Madrid. III *Congreso de Puentes y Estructuras de Edificación de ACHE. Zaragoza. November 2005.*

[7] Gómez Navarro, M.: Proyecto del Teatro del Canal. II *Congreso de Puentes y Estructuras de Edificación de ACHE. Madrid. November 2002.*

FICHA TÉCNICA / *DATA SHEET*

✻ Propiedad / Owner and site management:	Canal de Isabel II. Comunidad de Madrid.
✻ Proyecto de Arquitectura / Architect:	Juan Navarro Baldeweg
✻ Proyecto de Estructura / *Structure*:	MC2 Estudio de Ingeniería
✻ Proyecto de Instalaciones / Facilities:	Argu Ingeniería y Servicios
✻ Ingeniería Acústica / *Acoustics*:	García-BBM
✻ Constructora obra civil / *Civil Works contractor*:	UTE Dragados – OHL
✻ Constructora equipamiento / *Stage equipment contractor*:	UTE Dragados – OHL – TyssenKrupp Elevadores
✻ Asistencia Técnica / *Technical assistance*:	UTE Seti – Euroconsult.
✻ Estructura Metálica / *Steel structure*:	Martifer.
✻ Pretensado / *Prestressing*:	Tecpresa.

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