

Apuntes sobre el *Palais des Machines* de París de 1889: espacio, estructura y ornamento

Notes about the Palais des Machines of 1889 in Paris: space, structure and ornament

Oscar Linares de la Torre

Universitat Politècnica de Catalunya. oscar.linares@upc.edu

Received 2017.05.30

Accepted 2018.03.14



To cite this article: Linares de la Torre, Oscar. "Notes about the *Palais des Machines* of 1889 in Paris: space, structure and ornament". *VLC arquitectura* Vol. 5, Issue 1 (April 2018): 33-61. ISSN: 2341-3050. <https://doi.org/10.4995/vlc.2018.7713>



Resumen: El *Palais des Machines* de la Exposición Universal de París de 1889, diseñado por el arquitecto Charles Louis Ferdinand Dutert y el ingeniero Victor Contamin es, sin duda alguna, un icono de la arquitectura del siglo XIX: su potente espacialidad, su portentosa estructura y su descarnada tectónica han arrancado, con razón, grandes elogios a críticos y arquitectos de la segunda mitad del siglo XX. Sin embargo, en demasiadas ocasiones la crítica y la historiografía de finales del siglo pasado han ofrecido una interpretación interesada de esta obra, orientada a subrayar determinados valores arquitectónicos para, luego, presentarlos como un producto directo de la voluntad de sus autores. El objetivo del presente artículo es explicar, en conjunto y con la máxima transparencia, cómo la conjunción entre ciertas cuestiones coyunturales y la voluntad/habilidad de ambos autores hizo posible la construcción de una de las obras más importantes de la arquitectura decimonónica. A tal efecto, se analizan los tres aspectos arquitectónicos más celebrados del edificio: las enormes dimensiones del espacio central, el particular sistema estructural elegido y el desigual uso del ornamento.

Palabras clave: Espacio; estructura; ornamento; proyecto.

Abstract: *The Palais des Machines of the Paris Universal Exposition of 1889, designed by the architect Charles Louis Ferdinand Dutert (1845-1906) and the engineer Victor Contamin (1840-1893), is undoubtedly an icon of the 19th century architecture: its powerful spatiality, its portentous structure and its straightforward tectonics have rightly received high praise by critics and architects from the second half of the 20th century. However, critical tradition and historiography from the end of the last century have frequently offered a biased interpretation of this work, aimed at underlining certain architectural values for then presenting them as a direct product of the author's will. The aim of this article is to explain, altogether and with maximum transparency, how the conjunction between certain circumstantial issues and the will/ability of both authors made possible the construction of one of the most important works of the nineteenth-century architecture. To achieve this, the three most celebrated architectural aspects of the building are analysed: the huge scale of the central space, the particular structural system chosen and the uneven usage of ornament.*

Keywords: Space; structure; ornament; project.

El *Palais des Machines* de la Exposición Universal de París de 1889, diseñado por el arquitecto Charles Louis Ferdinand Dutert (1845-1906) y el ingeniero Victor Contamin (1840-1893) es, sin duda alguna, un icono de la arquitectura del siglo XIX: su potente espacialidad, su portentosa estructura y su descarada tectónica han arrancado, con razón, grandes elogios a críticos y arquitectos de la segunda mitad del siglo XX.¹

Sin embargo, en demasiadas ocasiones la crítica y la historiografía de finales del siglo pasado han ofrecido una interpretación interesada de esta obra, orientada a subrayar determinados valores arquitectónicos –curiosamente coincidentes con aquellos en los que se sustentó después la arquitectura moderna–, para luego presentarlos como un producto directo de la voluntad de sus autores. El hecho de que el edificio se mantuviera en pie apenas veinte años para ser demolido hace ya casi un siglo, junto con la circunstancia de que como testimonio de su existencia apenas se conserven algunas fotografías, memorias constructivas y dibujos, ha facilitado sin duda esta sesgada labor interpretativa.

La finalidad del presente artículo no es, claro está, volver a explicar el *Palais des Machines* de Dutert y Contamin: existe suficiente bibliografía sobre este edificio, señalada al final del presente artículo, como para poder conocerlo en profundidad. El objetivo del presente artículo es explicar, en conjunto y con la máxima transparencia, cómo la conjunción entre ciertas cuestiones coyunturales y la voluntad/habilidad de ambos autores hizo posible la construcción de una de las obras más importantes de la arquitectura decimonónica. A tal efecto, se analizan los tres aspectos arquitectónicos más celebrados del edificio: las enormes dimensiones del espacio central, el particular sistema estructural elegido y el desigual uso del ornamento. Algunas de las

The Palais des Machines of the Paris Universal Exposition of 1889, designed by the architect Charles Louis Ferdinand Dutert (1845-1906) and the engineer Victor Contamin (1840-1893), is undoubtedly an icon of the 19th century architecture.¹ Its powerful spatiality, its portentous structure and its straightforward tectonics have rightly received high praise by critics and architects from the second half of the 20th century.

However, critical tradition and historiography from the end of the last century have too frequently offered a biased interpretation of this work, aimed at underlining certain architectonic values –strangely coinciding with those that later underpinned modern architecture–, for then presenting them as a direct product of the author's will. The building remained in place for barely twenty years before being demolished nearly a century ago, with little evidence of its existence being conserved in the form of photographs, constructive memories and drawings. These factors have certainly facilitated the positively skewed reviews.

The purpose of this article is not to explain the Palais des Machines of Dutert and Contamin again: there is enough bibliography about this building, indicated at the end of this article, to obtain an in-depth knowledge. The aim is to explain, altogether and with maximum transparency, how the conjunction between certain circumstantial issues and the will/ability of both authors made possible the construction of one of the most important works of the nineteenth-century architecture. To achieve this, the three most celebrated architectural aspects of the building are analysed: the huge scale of the central space, the particular structural system chosen and the uneven usage of ornament. Some of the issues that will be analysed have been previously

cuestiones que se van a analizar han sido apuntadas anteriormente por otros autores, pero nunca han sido expuestas de manera conjunta, ni con la voluntad de señalar las razones coyunturales que orientaron el proyecto hacia su forma final. Otras reflexiones, en cambio, son aportaciones originales del autor.

SOBRE LAS DIMENSIONES DEL ESPACIO CENTRAL

En términos dimensionales, el espacio definido por la nave central del *Palais des Machines de París* se constituye como un rectángulo en planta de 421,7 m de largo y 114,3 m de ancho. Con estas dimensiones, la nave central cubre una superficie total de unos 48.200 m². Su sección en forma de "arco aplanado" llega a elevarse en su parte central hasta dejar una altura libre interior de algo más de 43 metros. Sólo la nave central conforma un volumen que supera el 1.730.00 m³.

Si se entiende la arquitectura como el arte de la construcción de espacios, debe reconocerse el mérito de este proyecto, al menos, en lo que a sus dimensiones se refiere: nunca antes en toda la historia de la arquitectura se había construido un espacio único de tales proporciones. En planta, dentro de este espacio central, cabrían hasta tres manzanas completas del ensanche proyectado por Ildefons Cerdà para la ciudad de Barcelona. En sección, la altura de este espacio expositivo es asimilable a la del *Pantheon* de Roma o a la de la Catedral de Amiens (Figura 1).

Ciertos autores señalan la construcción de este gran volumen diáfano como un hecho espacial digno de mención, pero lo hacen como si se tratase de algo subsidiario de un logro más importante que tiene que ver sólo con la estructura: la posibilidad

identified by other authors, but they have never been exposed together, nor with the aim to highlight the circumstantial reasons that oriented the project towards its final form. Other reflections, however, are original contributions of the author.

ABOUT THE DIMENSIONS OF THE CENTRAL SPACE

In dimensional terms, the space defined by the central nave of the Palais des Machines of Paris is constituted of a rectangle plan, 421.7 m long and 114.3 m wide. With these dimensions, the central nave enclosed a total area of about 48,200 m². Its section, with a "flattened arch" shape, rises over 43 meters in its central part. The central nave alone conforms a volume of more than 1,730,000 m³.

If architecture is understood as the art to create spaces, the merits of this project should at least be recognised regarding its dimensions: there had never been, in the entire history of architecture, a single space of such dimensions. In the plan, inside the central space would hold up to three whole blocks of the Eixample projected by Ildefons Cerdà for the city of Barcelona. In section, the height of this exhibition space is similar to the Pantheon in Rome, or the Amiens Cathedral (Figure 1).

Certain authors note the construction of this large diaphanous volume to be a noteworthy spatial event. However, they do so as if it was subsidiary to a more important achievement which only relates to the structure: the possibility to cover an

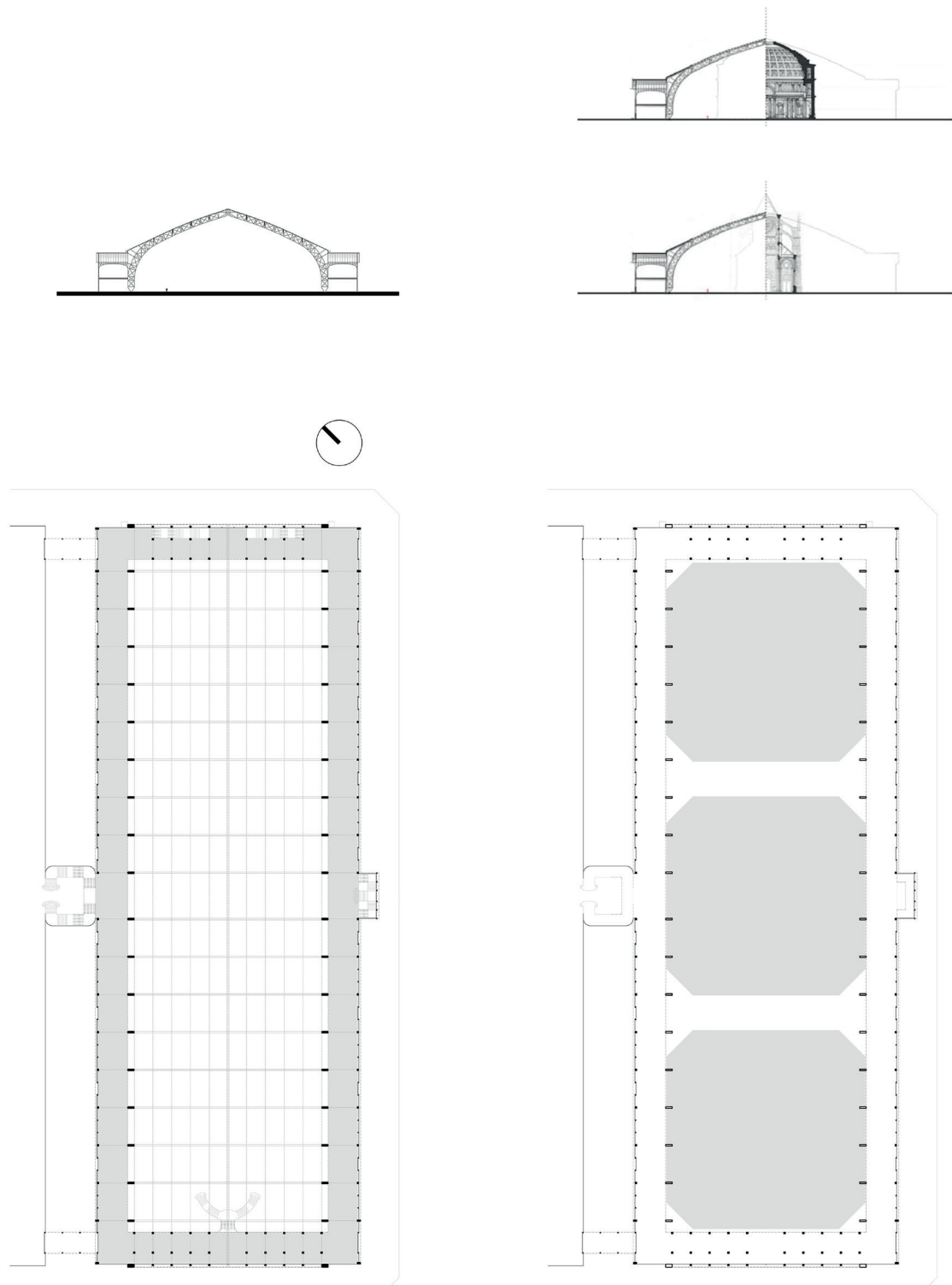


Figura 1. Comparación entre el *Palais des Machines* de París, el ensanche de Barcelona, el Pantheon (Roma, 128) y la Catedral de Notre-Dame de Amiens (Amiens, 1220).

Figure 1. Comparison between the *Palais des Machines* of Paris, the Eixample of Barcelona, the Pantheon (Rome, 128) and the Notre-Dame Cathedral of Amiens (Amiens, 1220).

de cubrir 114 metros de luz sin apoyos intermedios. Sin embargo, esta idea exige algunas aclaraciones.

Más allá de las nuevas necesidades funcionales planteadas por la industrialización –nuevos edificios para infraestructuras civiles, grandes espacios expositivos, invernaderos, etc.–, durante el siglo XIX la construcción de grandes espacios cubiertos acabó por convertirse en un fin en sí mismo, símbolo y expresión del desarrollo tecnológico de la estructura metálica. En el caso concreto de las exposiciones universales, se intentó expresar esta voluntad mediante la construcción de espacios expositivos diáfanos de cada vez mayor dimensión. Tanto es así que, a pesar de tener unas necesidades similares, la anchura libre de la crujía central del célebre *Crystal Palace* de la Exposición Universal de Londres de 1851, de algo más de 20 metros, se duplicó en la exposición de Viena de 1873 y se triplicó en la de Philadelphia de 1876. Ese mismo año se construyó en Londres la *St. Pancras Station* que, con sus más de 70 metros de luz, se constituyó en la estructura arquitectónica de mayor luz construida hasta la fecha. Con sus algo más de 114 metros de luz, el *Palais des Machines* de 1889 superó en 44 metros la luz de su antecesor, convirtiéndose en el espacio cubierto de mayor anchura libre de soportes jamás construido por el ser humano.² Teniendo en cuenta estos datos, parecería adecuado afirmar, de acuerdo con la mayoría de autores, que el *Palais* representó en su momento un logro estructural sin precedentes.

Pero esta afirmación requiere un matiz importante: la estructura del *Palais des Machines de 1889* representó un hito estructural sólo en el ámbito de la edificación, no en el ámbito de la ingeniería civil. Durante aquellos mismos años se estaban construyendo varios puentes de luces algo mayores: el Puente del Mississippi, construido en 1874 y proyectado por James Eads, llegó a los 139 m.

unsupported span of 114 meters. However, this idea demands some clarification.

Beyond the new functional needs raised by industrialisation –new buildings for civil infrastructures, large exhibition spaces, greenhouses, etc.–, during the 19th century, the construction of large covered spaces was an end in itself, a symbol and expression of the technological development of metal structure. In the specific case of universal exhibitions, this goal was to be expressed by the construction of diaphanous exhibition spaces of increasing dimensions. This was to the extent that despite having similar needs, the clear width of the central space in the famous Crystal Palace of the London Universal Exposition in 1851, of over 20 meters, doubled in the exhibition of Vienna in 1873, and tripled in Philadelphia in 1876. This very same year the St. Pancras Station was built in London. With a span of over 70 meters, it became the largest architectural vaulted structure built to date. The Palais des Machines in 1889, with a span of over 114 meters, overcame its predecessor by 44 meters, becoming the covered space with largest unsupported width ever built by the human being.² Considering this information, it would seem appropriate to say, in accordance with most authors, that the Palais represented, at the time, an unprecedented achievement.

But this assertion requires an important nuance: the structure of the Palais des Machines of 1889 represented a structural milestone only in edification, not in the field of civil engineering. During these very same years, several bridges with larger unsupported spans were being built: The Mississippi Bridge, built in 1874 and designed by James Eads, reached a span of 139 m; the Garabit Bridge, by

de luz; el Puente de Garabit de Eiffel, finalizado en 1884, salvaba ya una luz de 165 m; y el Puente del Duero de Théophile Seyrig, terminado en 1877, llegó a los 172 m. No deben olvidarse, tampoco, el Puente de Brooklyn, finalizado en 1883, con una luz de 486 m y el Firth of Forth, terminado en 1890 con 521 m de luz libre.³ Teniendo en cuenta estos datos, parece conveniente relativizar el logro que supuso la construcción del *Palais des Machines* en términos puramente estructurales (Figura 2).

Por otro lado, hay que señalar que son pocos los autores que indagan en las razones que llevaron a configurar un espacio en planta de tales dimensiones. Fácilmente se puede deducir que las dimensiones en planta del *Palais des Machines* de Dutert y Contamin respondían a su ubicación urbana. El edificio debía alinearse, igual que el resto de edificios de la exposición, con la *Avenue de Suffren* y la *Avenue de la Bourdonnais*. Debido a su posición perpendicular con respecto al eje del conjunto expositivo, la longitud del edificio quedó limitada a sus aproximadamente 420 m de largo. El lado largo del edificio debía alinearse con la *Avenue de la Motte-Picquet*, así que la única dimensión que quedaba por definir, la anchura del edificio, la debió establecer la organización como un acuerdo entre la superficie de exposición requerida en el *Palais des Machines* y el espacio no ocupado por el resto de edificaciones de la exposición alojadas en el *Champ de Mars* (Figura 3).

Una vez esclarecido el por qué de las dimensiones en planta del edificio, es necesario aclarar por qué se decidió que el edificio debía cubrirse sin apoyos intermedios. No fue una decisión de los autores. En el pliego de condiciones particulares del Plan General de la Exposición se estableció esta enorme dimensión en planta como un requisito que el diseño final debía satisfacer de un solo trazo:

Eiffel, finished in 1884, already covered a span of 165 m; and the Duero Bridge by Théophile Seyrig, completed in 1877, spans to 172 m. Others should also be considered: The Brooklyn Bridge, finished in 1883, with a 486 m span, and the Firth of Forth, completed in 1890 with 521 m of unsupported span.³ Referring to this data, it seems appropriate to relativise the achievement that the construction of the Palais des Machines meant in purely structural terms (Figure 2).

On the other hand, it should be noted that few authors have investigated the reasons that led to the final plan configuration. It can easily be deduced that the dimensions in the plan of the Palais des Machines by Dutert and Contamin responded to its urban location. Like the rest of the buildings of the exhibition, the Palais des Machines had to be aligned with Avenue de Suffren and Avenue de la Bourdonnais. Due to its perpendicular position to the axis of the Exhibition, the length of the building was limited to roughly 420 m long. The long side of the building needed to align with Avenue de la Motte-Picquet. The only dimension that remained to be defined, the width of the building, was set by the organisation as an agreement between the exhibition area required for the Palais des Machines, and the area that the remaining buildings of the exhibition in Champ de Mars left unoccupied (Figure 3).

Once the reasons behind the dimensions of the building in the plan have been clarified, it is necessary to explain why it was decided that the building ought to be covered without any intermediate support. It was not a decision made by the authors. In the particular specification documents of the General Plan of the Exhibition, this huge plan dimension was established as a requirement that the final design had to appear seamless:

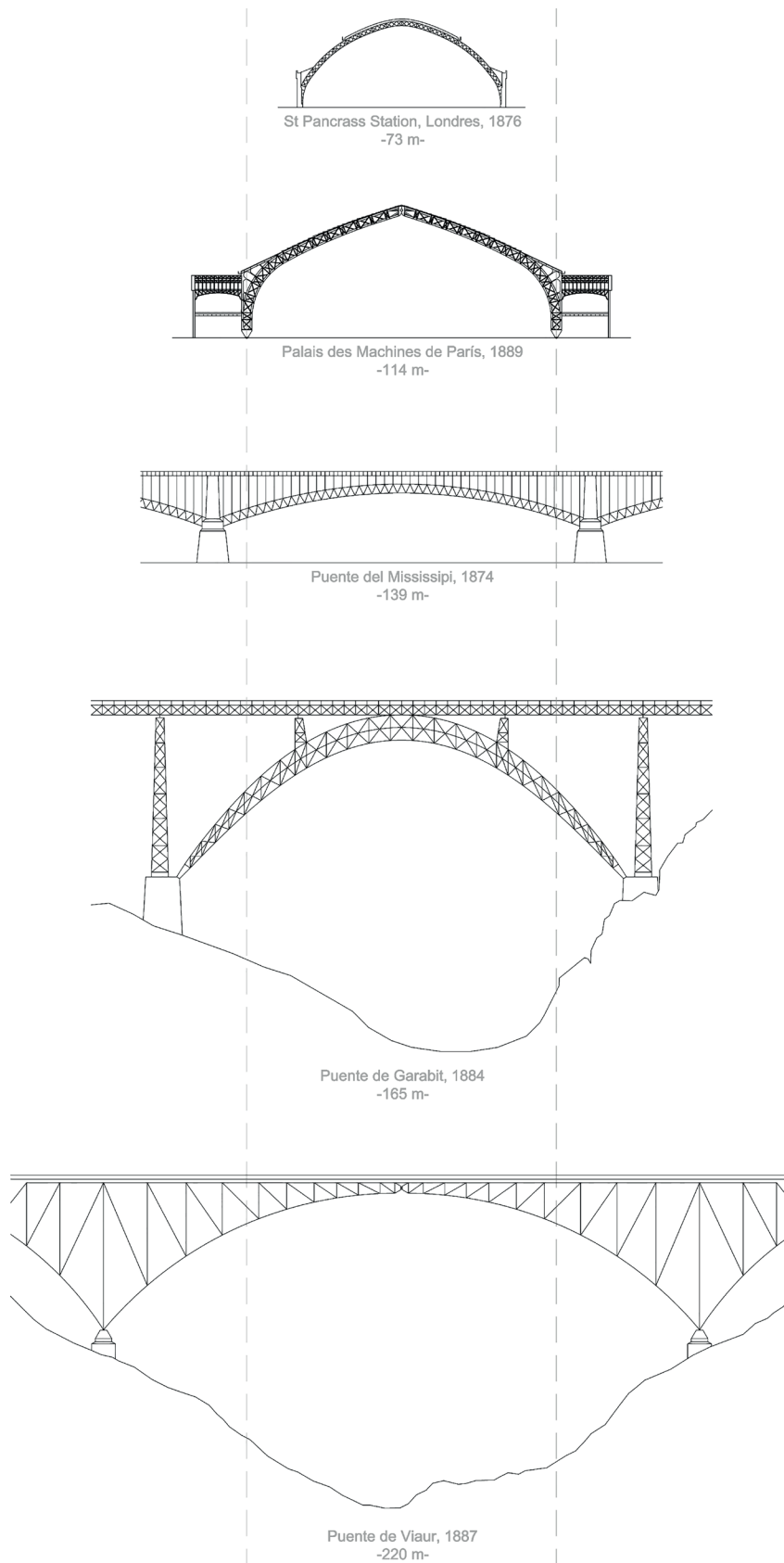


Figura 2. Comparación de la luz libre cubierta por el *Palais des Machines* de París de 1889 y por otras estructuras de la época.

Figure 2. Comparison between the span of the *Palais des Machines* of Paris of 1889, and other structures of the time.

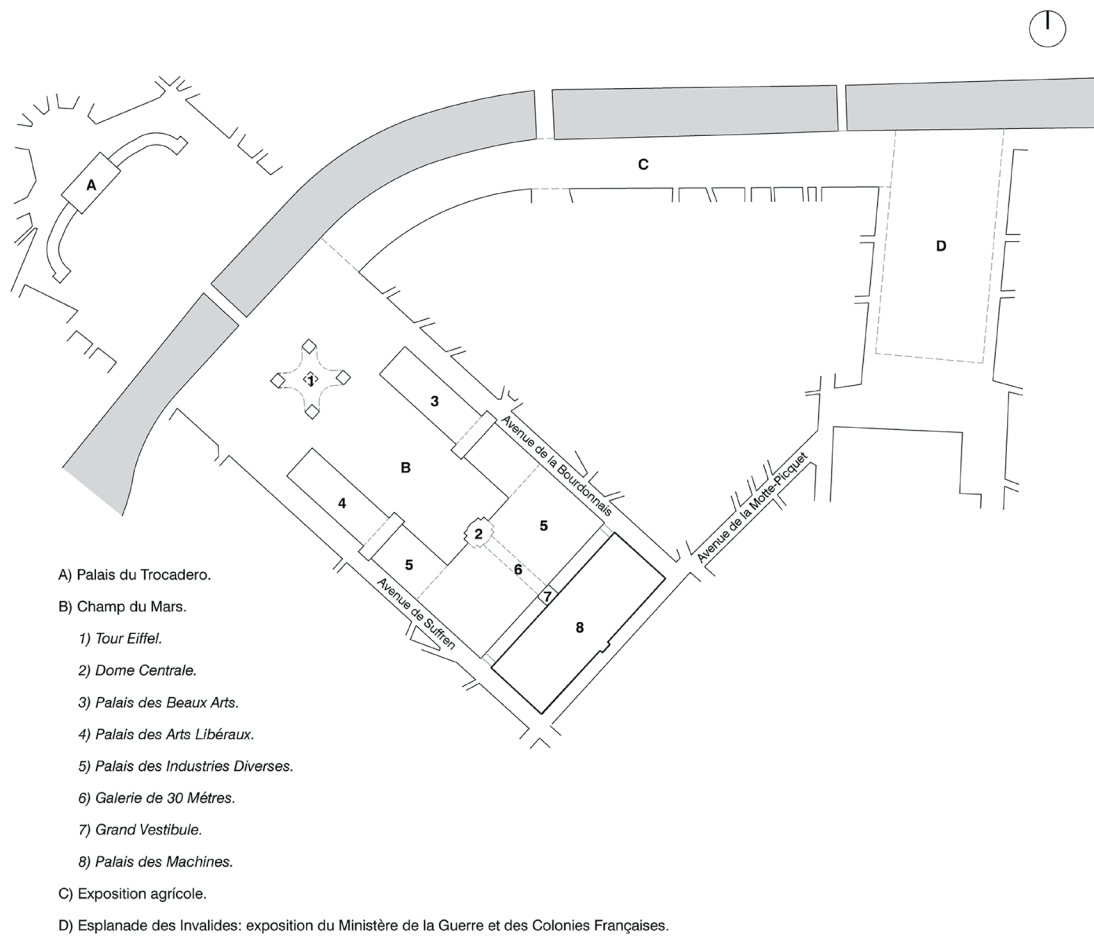


Figura 3. Conjunto edificado de la Exposición Universal de París de 1889.

Figure 3. Area of the Universal Exhibition of Paris of 1889.

A pesar del progreso realizado en las construcciones metálicas de grandes dimensiones, todavía había grandes dificultades para resolver la excepcional altura y luz especificadas en el programa general del Palais proyectado para la Exposición de 1889. La Dirección General de los Trabajos había decidido alojar las máquinas en un único

In spite of the progress made by large dimension metallic constructions, there were still great difficulties to solve with the exceptional height and span specified in the general program of the designed Palais for the 1889 Exhibition. The General Directorate of the Projects had decided to house all machines in a single palace, 400 m

palacio de 400 metros de largo por 115 de ancho sin ningún soporte vertical intermedio. Éste era un programa difícil de cumplir.⁴

Existió además una segunda razón, más pragmática: el terreno sobre el que debía construirse el edificio tenía una composición y una capacidad mecánica bastante pobres, por lo que parecía adecuado reducir el número de apoyos de la estructura a fin de minimizar los problemas relacionados con la cimentación y sus movimientos diferenciales.⁵

En cuanto a la sección, se puede afirmar con toda tranquilidad que la altura de la nave central no respondía a ningún requisito funcional: la exposición de maquinaria no requería, en ningún caso, 43 metros de altura libre. Probablemente tampoco respondiera a una idea preconcebida de sus autores. Más bien, parece consecuencia de la tipología estructural elegida para cubrir el espacio sin apoyos intermedios. No obstante, cabe señalar que esta gran altura permitió, de paso, concebir el edificio como telón de fondo del conjunto expositivo del *Champ de Mars* (Figura 4).

A modo de conclusión, puede decirse que se suele presentar el *Palais des Machines* de 1889 como un hito en la historia de las estructuras y, ciertamente, lo fue: superó con mucho las luces logradas por los edificios que le precedieron. Pero no debe olvidarse que para ello utilizó un desarrollo tecnológico testado ya en el ámbito de la ingeniería civil, hecho que obliga a relativizar el logro que ello supuso en términos puramente estructurales. Además, la pobre naturaleza mecánica del terreno, las dimensiones del emplazamiento urbano, así como la voluntad de los organizadores de la exposición de construir un espacio totalmente libre de soportes intermedios, se convirtieron también en circunstancias decisivas que llevaron, gracias a la labor de sus autores, a la construcción de uno de los espacios más impresionantes de la historia de la arquitectura (Figura 5).

long and 115 wide, without any intermediate vertical support. This was a very complex program to fulfil.⁴

A second, more pragmatic reason existed: the land where the building had to be built had a rather poor composition and geotechnical capacity. It therefore seemed appropriate to reduce the number of structural supports to minimise the problems related to the foundation and differential movements.⁵

Regarding the section, it is safe to say that the height of the central nave did not meet any functional requirement: the machinery exhibition under no circumstances required 43 m of clear height. It probably did not respond to a pre-conceived idea of the authors either. Rather, it seems to be a consequence of the structural typology chosen to cover the space without supports. However, it must be highlighted that this large height allowed the building to be viewed as the backdrop of the exhibition in Champ de Mars (Figure 4).

It may be considered that the 1889 Palais des Machines is often presented like a milestone in the history of structures, and, certainly it was: far exceeding the spans of the preceding buildings. However, it should not be forgotten that to achieve this, it used a technological development that was already tested in the field of civil engineering. This fact forces us to make the achievement relative in purely structural terms. Moreover, the poor geological properties of the terrain, the dimensions of the urban location, and the will of the exhibition organisers to build a space free of any intermediate support also became decisive circumstances that led, thanks to the designers, to the construction of one of the most impressive spaces in the history of architecture (Figure 5).

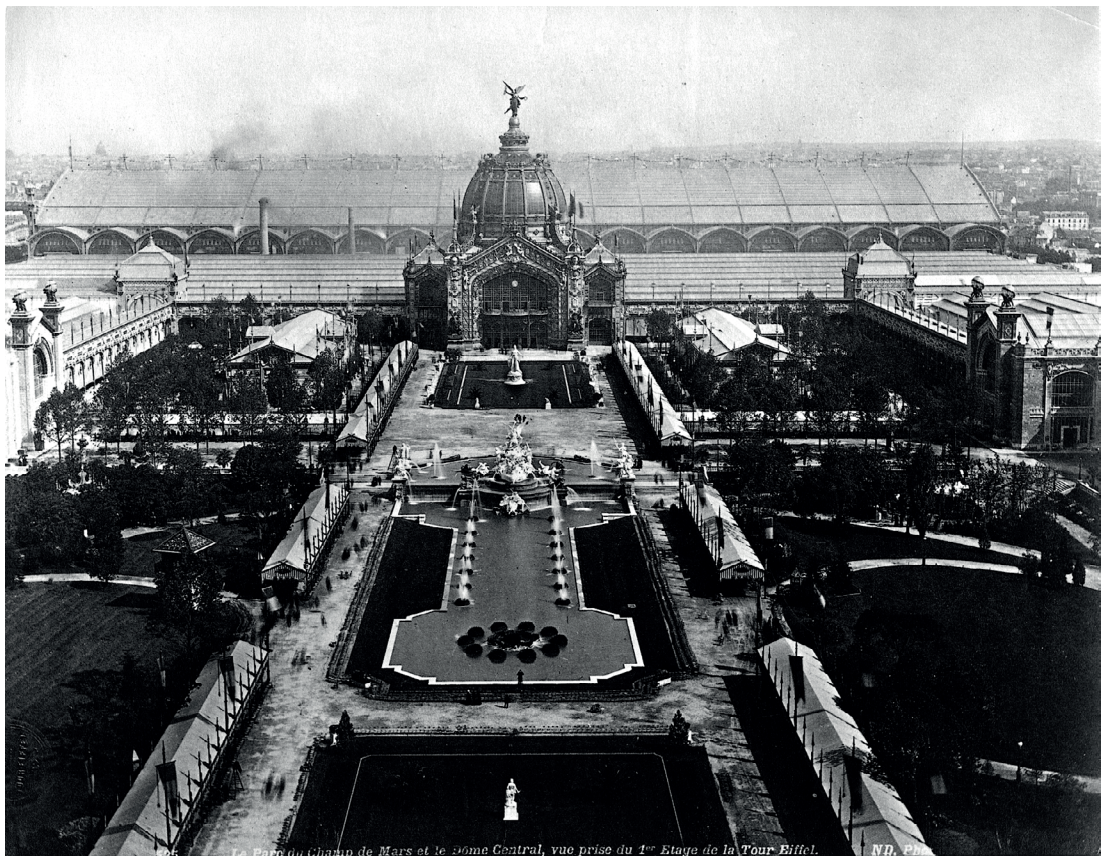


Figura 4. Vista frontal del conjunto expositivo desde la Torre Eiffel. A la izquierda se encuentra el Palais des Beaux-Arts y a la derecha el Palais des Arts Libéraux. Al fondo en primer plano la Dôme Centrale, detrás el Palais des Industries Diverses y, al fondo, el gran Palais des Machines.

Figure 4. Frontal view of the exhibition complex from the Eiffel Tower. On the left, the Palais des Beaux-Arts and on the right, the Palais des Arts Libéraux. In the near background, the Dôme Centrale, behind, the Palais des Industries Diverses and in the far background, the great Palais des Machines.

SOBRE LA TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL

Otro de los rasgos más celebrados del Palais des Machines de 1889 es la resolución de la luz de su nave central mediante un arco triarticulado, una tipología estructural altamente expresiva desde un punto de vista estético. Buena parte de los autores

ABOUT THE STRUCTURAL TYPOLOGY

Another most celebrated feature of the Palais des Machines in 1889 is the resolution of the central nave's span through a three-hinged arch, a highly expressive structural typology from an aesthetic point of view. Many authors who have written about



Figura 5. Gran espacio interior de la nave central del Palais des Machines de París de 1889.

Figure 5. Large interior space of the central nave of the Palais des Machines of Paris of 1889.

que han escrito sobre este edificio consideran el uso de esta tipología estructural como un rasgo distintivo del proyecto, resultado del atrevimiento y la originalidad de sus autores.

this building consider the use of this structural typology a distinctive feature of the project, a result of the daring and originality of its authors.

La planta rectangular del solar induce a concebir una estructura unidireccional, una tipología caracterizada por encauzar los esfuerzos en dos direcciones claramente diferenciadas: una principal

The rectangular plan of the plot induces to conceive a uni-directional structure, a typology which is characterised by channelling the efforts in two very differentiated directions: a main and secondary

y otra secundaria. La decisión de salvar la anchura total de la nave central sin la ayuda de soportes intermedios obliga a cubrir el espacio mediante potentes pórticos estructurales lógicamente dispuestos en sentido transversal, el lado de menor luz. La profundidad total del espacio queda determinada por la repetición de veinte de estos pórticos, que guardan entre sí una separación de 21,50 m de eje a eje, distancia que aumenta hasta los 25,20 m en las crujeas laterales y los 26,40 m en la crujea central. En sentido longitudinal el espacio se cubre con un total de doce vigas metálicas que recorren toda la dimensión de la nave, conectando los veinte grandes pórticos por el plano de cubierta. La necesaria rigidización longitudinal de los pórticos transversales se confía a los forjados de la planta piso de las naves laterales. Esta jerarquización bidireccional de los esfuerzos longitudinales y transversales permite simplificar e independizar el cálculo de cada uno de los elementos que conforman la estructura, una cuestión fundamental para los ingenieros de la época.

Para cubrir transversalmente la nave central, Dutert propuso la misma solución que se empleó en la *St Pancras Station* de Londres: un arco rígido elíptico encajado en sus extremos. Contamin no consideró esta opción la más óptima desde un punto de vista estructural y rechazó la propuesta del arquitecto. En su lugar propuso un arco triarticulado, una tipología estructural formada por dos semi-arcos rígidos descansados en el suelo sobre uno de sus extremos y recíprocamente apoyados en la otra extremidad. Lo que caracteriza a esta tipología estructural es que estos tres puntos de contacto, dos en la base y uno en la cúspide, se resuelven mediante rótulas.

La elección del ingeniero por esta tipología estructural se debió a que presenta notables ventajas frente al arco rígido: en tanto que estructura

one. The decision was made to span the total width of the central nave without the help of any intermediate supports. Therefore, strong structural portal frames were used and arranged cross directionally in its shorter side. The total depth of the space is determined by the repetition of twenty of these frames, which are separated 21.50 m from axis to axis. This distance increases up to 25.20 m on the lateral bay and to 26.40 m on the central one. In the longitudinal direction, the space is covered with a total of 12 metallic beams, that span the whole dimension of the nave, connecting the twenty large portal frames through the roof plane. The necessary longitudinal stiffening of the transversal frames is achieved by the floor of the lateral nave's storey. This bidirectional hierarchy of longitudinal and transverse forces allows for independent analysis, thus simplifying calculation of each element making up the structure, a fundamental issue for the engineers of the time.

To transversally cover the central nave, Dutert proposed the same solution that had been used in St Pancras Station in London: a rigid elliptical arch embedded at each end. Contamin did not consider this option to be the most optimal from a structural point of view, and rejected the architect's proposal. Instead, he proposed a three-hinged arch, a structural typology made up of two rigid semi-arches resting on the floor on one end and supporting each other reciprocally on the other. What characterises this structural typology is the fact that these three contact points, two on the base and one on the apex, are hinges.

The choice of the engineer for this structural typology was due to its remarkable advantages over the rigid frame arch: as an isostatic structure, the

isostática, el cálculo del arco triarticulado deviene mucho más sencillo que el de un arco rígido, una estructura hiperestática de cálculo mucho más complejo; además, a diferencia de los arcos rígidos, este tipo de arcos permiten que se produzcan movimientos provocados por cambios de temperatura o por asentamientos diferenciales en la cimentación sin que ello suponga la aparición de tensiones complementarias para la estructura, una cuestión importante si se atiende a las dimensiones del edificio y a las pobres condiciones del terreno; y, por último, al poseer articulaciones en su base, los arcos triarticulados transmiten a la cimentación empujes laterales menores que los arcos rígidos, simplificándola enormemente. Se descubre, entonces, que la elección de esta tipología estructural no vino motivada por una decisión estética del arquitecto –quien propuso otra solución estructural- sino por la conjunción de una serie de necesidades estáticas que el ingeniero no supo resolver de otro modo⁶ (Figura 6).

Conviene apuntar, también, que la elección del arco triarticulado por parte de Contamin no puede considerarse una elección arriesgada. Esta tipología estructural había sido inventada por los ingenieros alemanes C. Köpke y J. W. Schwedler en 1861, casi tres décadas antes de la construcción del *Palais des Machines* de 1889. Antes de ser empleado en el edificio de Dutert y Contamin, había sido ya utilizado con éxito en varios puentes y estaciones ferroviarias de luz moderada construidos en Alemania y Austria. Además, en 1887 (dos años antes de la construcción del *Palais*) Paul Bodin diseñó un puente triarticulado sobre el río Viaur cuyo arco central cubría una luz de 220 m y que se terminó construyendo entre 1896 y 1902.⁷ Además, como Ingeniero en Jefe de las Construcciones Metálicas de la Exposición Universal de París de 1889, Contamin prescribió y calculó arcos triarticulados para otras estructuras de la misma exposición, como el *Palais*

calculation of the three-hinged arch becomes much simpler than the one of a rigid frame, a statically indeterminate structure of much more complex calculation. Moreover, unlike rigid frame arches, these kinds of arches allow for movements caused by temperature changes or differential settlements in the foundation, without causing additional forces on the structure. This is an important issue, considering the building's dimensions and poor land conditions. Finally, because of the hinges on the base, these arches transmit fewer bending moments on the foundations than the rigid ones, making the structure enormously simpler. One therefore discovers that choosing this structural typology was not motivated by an aesthetic decision of the architect (who proposed another structural solution) but rather to overcome the combination of static requirements that the engineer did not know how to resolve otherwise⁶ (Figure 6).

It is also worth noting that the choice of the three-hinged arch by Contamin cannot be considered a risky decision. This structural typology had been invented by German engineers C. Köpke and J. W. Schwedler in 1861, nearly three decades before the construction of the Palais des Machines in 1889. Before being applied to Dutert and Contamin's building, it had been successfully used in several bridges and railway stations of moderate spans built in Germany and Austria. Furthermore, in 1887 (two years before the construction of the Palais) Paul Bodin designed a three-hinged bridge over the Viaur River. The central arch covered a 220 m span and was ultimately built between 1896 and 1902.⁷ Additionally, as the chief engineer of the Metallic Constructions in the Universal Expositions of Paris in 1889, Contamin prescribed and calculated three-hinged arches for other structures of the same exhibition, such as the Palais des Beaux-Arts

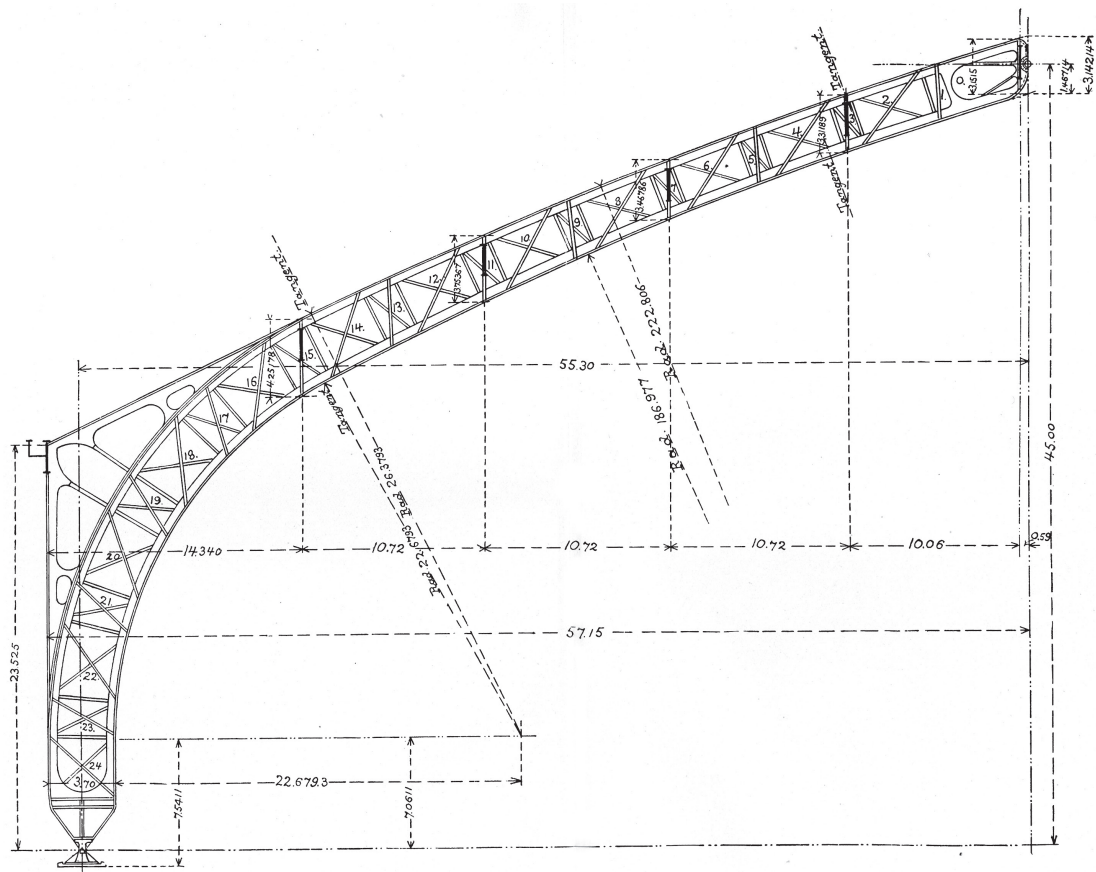


Figura 6. Mitad izquierda del pórtico principal, acotado.

Figure 6. Left half of the main portal frame, with dimensions.

des Beaux-Arts et des Arts Libéraux. Teniendo en cuenta estos datos no puede considerarse, en absoluto, que el uso del arco triarticulado en el Palais des Machines de 1889 resultase un hecho único o excepcional.

No obstante, sí que hay que reconocer que, probablemente, el del Palais des Machines de 1889 fue el arco triarticulado de mayor potencia tectónica

et des Arts-Libéraux. Taking this into account, the use of the three-hinged arch for the Palais des Machines in 1889 was not a unique or exceptional event.

It should however be acknowledged that the three-hinged arch of the Palais des Machines of 1889 was probably the strongest one ever built in an

jamás construido en una obra de arquitectura. A esta circunstancia contribuye de manera decisiva el contraste que se produce entre las grandes dimensiones de la estructura y la desnudez de sus apoyos.

Cada medio arco descansa únicamente sobre la articulación de su base, concentrando todo el peso en un punto. Las excepcionales propiedades mecánicas del acero con que se conforma el perno de esta articulación permiten utilizar en este punto una cantidad de materia realmente reducida si se compara con las grandes dimensiones del pórtico. Esta condición inmaterial del apoyo queda enfatizada, además, por el progresivo ahusamiento del soporte desde una altura de dos metros y medio hasta alcanzar la cota del pavimento. De esta forma se libera de materia a la base del apoyo, la misma zona en la que el fuste clásico descansa sobre una potente basa (Figura 7).

La ponderación visual de la pesantez de cualquier cubrición estructural se establece, más o menos inconscientemente, en relación a la robustez del soporte, presuponiendo su sección proporcional a la carga y considerando la masividad de su parte inferior como una garantía de estabilidad. En este sentido, el peso real de la enorme cubierta del *Palais des Machines* se ve visualmente minorado por la delicadeza del apoyo sobre el que descansa, prácticamente reducido a un contacto puntual que, aun siendo verdadero, parece inverosímil. Este efecto, capaz de provocar en el espectador la máxima impresión, provocó cierto nerviosismo en los organizadores de la exposición. A fin de apaciguar su incomodidad, Dutert tuvo que presentar una propuesta alternativa donde las articulaciones de las bases quedaban ocultas por decorativas peanas de piedra.⁸ Afortunadamente, esta propuesta no prosperó y las articulaciones de la base quedaron finalmente expuestas (Figura 8).

architectural project. This circumstance is undoubtedly helped by the contrast between the large dimensions of the structure and the exposed nature of its supports.

Every half arch rests only on the hinge of its base, concentrating all its weight on one point. The steel of the bolt's hinge has exceptional mechanical properties, allowing for minimal usage of material here, compared to the large dimension of the portal frame. This immaterial condition of the support is also emphasised by progressive tapering, from a height of two and a half meters, until reaching the pavement level. This frees the support's base from matter, the same area where the classic shaft rests on a rugged base (Figure 7).

The visual consideration of the heaviness of any structural cover is usually established unconsciously, referring to the sturdiness of the support, presuming its section is proportional to its load and considering the massiveness of its inferior part a guarantee of stability. Accordingly, the true weight of the large roof of the Palais des Machines is visually reduced by the delicacy of the support on which it rests, practically reduced to a punctual contact that, even though it is true, seems unfeasible. This effect made a great impression on the spectator, making the organizers of the exhibition nervous. To put their mind at ease, Dutert had to present an alternative proposal where the base joints were hidden by decorative stone sills.⁸ Luckily, though, this proposal was unsuccessful and the base joints were finally left exposed (Figure 8).



Figura 7. Imagen del apoyo del pórtico sobre la articulación inferior.

Figure 7. Picture of the frame's support on the inferior hinge.

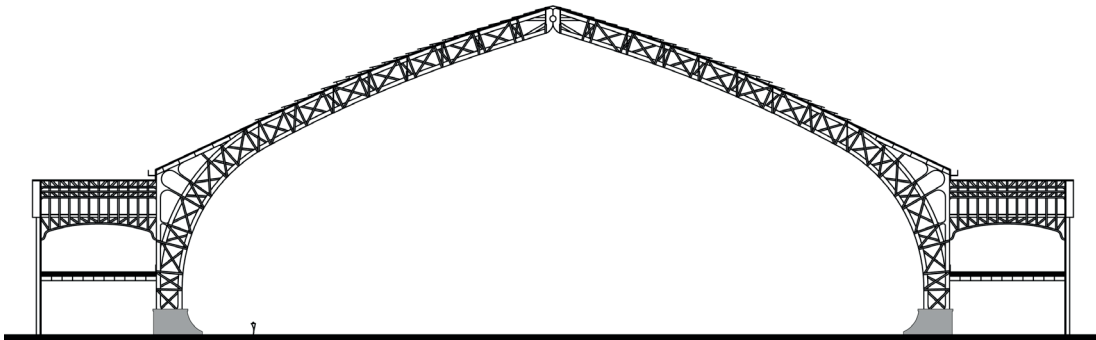
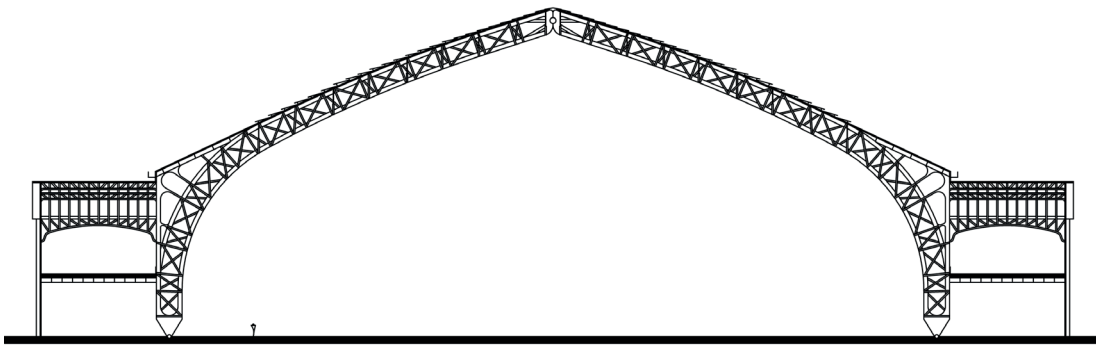
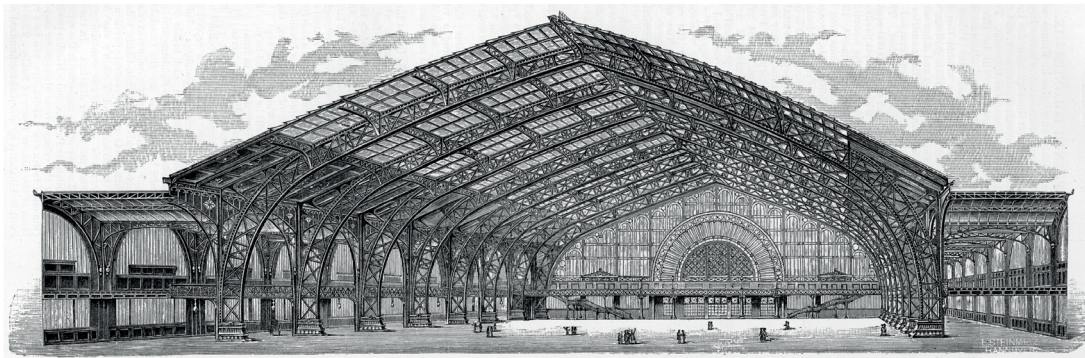


Figura 8. Dibujo de la época de las articulaciones de la base del pórtico ocultas por peanas de madera. Comparativa del pórtico con y sin peana.

Figure 8. Drawing of the time of the joints of the frame's base hidden by wooden stands. Comparison of the frame with and without the stands.

Puede concluirse, pues, que la cubrición del espacio central mediante el uso del arco triarticulado no fue el resultado de la voluntad del arquitecto si no, más bien, la única solución que encontró el ingeniero para resolver el reto estático que se le presentaba. Su empleo tampoco puede considerarse ningún tipo de adelanto tecnológico, en tanto que esta tipología estructural había sido inventada treinta años antes y ejecutada con éxito en obras anteriores. Lo que sí que hay que reconocer a los autores del *Palais des Machines* de 1889 es su empeño por dejar vistas las articulaciones de los apoyos. Durante todo el siglo XIX fue habitual que las estructuras metálicas se cubrieran total o parcialmente, especialmente en su base, dando como resultado complicados encuentros constructivos, nada satisfactorios a ojos de un arquitecto moderno.⁹ La determinación de Dutert y Contamin de dejar desnudos los apoyos puntuales de los grandes pórticos fue una aportación importantísima en el desarrollo de la cultura tectónica, entendida como expresión mecánica de la estructura, para la arquitectura del siglo XX.

SOBRE EL USO DEL ORNAMENTO

Los apuntes del apartado anterior sobre la desnudez de los apoyos de los pórticos de la nave central permiten introducir otra cuestión ampliamente celebrada sobre el *Palais des Machines* de 1889: la descarnada expresión de los pórticos de la nave central ha sido interpretada por algunos autores como el resultado de la voluntad de Dutert de huir de los estilismos de la época y apostar, de paso, por una tectónica propia y apropiada para el hierro. Pero esta idea requiere algún matiz importante.

Efectivamente, la ausencia de decoración en los pórticos y la desnudez de los apoyos articulados contrasta con los recursos que se solían utilizar por

It therefore can be concluded that the covering of the central space through three-hinged arches was not a result of the architect's will, but rather the only solution the engineer found to solve the static challenge he was presented with. Nor can its use be considered any kind of technological advance either since this structural typology had been invented thirty years earlier and successfully implemented in previous works. What does have to be acknowledged to the authors of Palais des Machines of 1889 is their commitment to leaving the support's hinges uncovered. Throughout the 19th century, it was very common for metallic structures to be partially or totally covered, especially on their base, to solve complicated structural junctures, highly undesirable to a modern architect.⁹ The determination of Dutert and Contamin to leave the large frame's supports bare was a substantial contribution to the development of tectonics culture, which was understood as a mechanical expression of the structure for the 20th century architecture.

THE USE OF ORNAMENT

The notes of the previous section about the bareness of the central nave's frame's supports enable the introduction of another highly celebrated issue about the Palais des Machines of 1889: the straightforward expression of the central nave's frames has been interpreted by some authors as the result of Dutert's will to escape the styles of the time and pursue an individual and suitable tectonics for iron. But this assertion requires an important nuance.

Indeed, the lack of decoration on the frames and the bareness of the pinned supports contrast with the resources that were used at that time. It was

aquella época: era habitual la ocultación total o parcial de las estructuras metálicas detrás de muros de piedra falsamente sólidos; se utilizaban también un sinfín de estucos, revestimientos cerámicos o paramentos vítreos profusamente coloreados con motivos geométricos o figurativos a modo de ornamentación; y el empleo de esculturas y figuraciones para embellecer la arquitectura estaba también profusamente extendido. Así pues, la ausencia de decoración en la estructura principal de la nave central es cuanto menos reseñable.

Pero la idea de que Dutert rechazó de manera consciente y decidida el ornamento en el *Palais des Machines* no se puede apoyar sólo en la ausencia de peanas falsas en las articulaciones de las bases o en la desnudez de los propios pórticos. Debería constatarse que esta actitud afecta al conjunto del edificio.

En planta, las dos fachadas cortas del edificio parecen equivalentes: sólo la diferente disposición de las escaleras interiores que conducen al primer nivel anuncian una notable diferencia en la resolución ornamental de las dos fachadas. La fachada de la *Avenue de la Bourdonnais* se encontraba profusamente decorada: estaba flanqueada por dos pequeñas torres que le dotaban de una mayor importancia institucional; sus cristales, profusamente coloreados, contaban con un despiece ricamente elaborado que llegaba a conformar una suerte de arco que marcaba de manera inequívoca el acceso principal al edificio (Figura 9). Sin embargo, la fachada opuesta, la de la *Avenue de Suffren*, contaba con un diseño mucho más austero: concebida como un acceso trasero, probablemente de servicio, no contaba con ningún tipo de decoración ni elemento añadido, resolviéndose únicamente a través de una retícula de líneas rectas, necesaria para el correcto despiece del cerramiento de vidrio (Figura 10).

common to totally or partially conceal the metallic structures behind false solid stone walls. A wide range of stuccos were also used, as well as ceramic coatings or vitreous facing, lavishly colourful with geometric or figurative motifs as ornamentation. Sculptures and figurative art were also widely used in order to beautify architecture. Therefore, the lack of decoration on the central nave's main structure is noteworthy, to say the least.

However, the idea that Dutert consciously and decisively rejected ornament in the Palais des Machines cannot be underpinned only by the absence of fake sills on the base joints or the bareness of the frames. It should be stressed that this approach affects the whole building.

In the plan, the two short façades of the building look equal. Only the different layout of the interior staircases leading to the first floor announces a significant difference regarding the resolution of the ornament in the two façades. The façade in the Avenue de la Bourdonnais was lavishly decorated: it was flanked by two small towers which seemed to increase its institutional importance; its brightly coloured glass had a rich piece that formed a type of arch that distinctly indicated the main access to the building (Figure 9). However, the opposite façade on Avenue de Suffren had a much more austere design: conceived as a rear access, probably a service door, it did not have any type of decoration or added element. Instead it was solely resolved by a grid of straight lines, needed for the correct breakup of the glass wall (Figure 10).



Figura 9. Fotografía de la fachada de la Avenue de la Bourdonnais, representativa y, por tanto, profusamente decorada.

Figure 9. Photograph of the façade of Avenue de la Bourdonnais, representative and, therefore, lavishly decorated.

Se puede hallar una explicación muy sencilla a esta enorme diferencia en el tratamiento ornamental de ambas fachadas si se atiende a la circulación urbana del visitante de la exposición. Dada la gran cantidad de expositores, los organizadores de la exposición se ven obligados a organizar el conjunto de las exhibiciones de modo un tanto disperso. El gran grueso de la exposición se ubica en el *Champ de Mars*, mientras que la parte correspondiente a la industria armamentística francesa se ubica en la *Eplanade des Invalides*. Ambos recintos de exposición quedan vinculados por una franja expositiva

An easy explanation can be found regarding this huge difference of the ornamental treatment of the two façades if the circulation of the exhibition visitors is considered. Given the large number of exhibitors, the organisers were forced to create a dispersed exhibit area. The majority of the exhibition is located in the *Champ de Mars*, whereas the part related to the French arms industry is placed in the *Eplanade des Invalides*. Both exhibition sites are connected by an exhibition area dedicated to agriculture, arranged along the south bank of the *Sena*, on the *Quai d'Orsay*. The *Champ de Mars* is



Figura 10. Fotografía de la fachada de la Avenue de Suffren, secundaria y, por tanto, austera.

Figure 10. Photograph of the façade of Avenue de Suffren, secondary and, therefore, austere.

dedicada a la agricultura dispuesta a lo largo de la orilla sur del Sena, sobre la *Quai d'Orsay*. El *Champ de Mars* se organiza axialmente sobre un eje que se dispone en dirección noroeste-sureste y que une, a través el *Pont d'Iéna*, el *Palais du Trocadero* con la *École Militaire*. Sobre el eje y a modo de gran punto focal, se erige la gran *Torre Eiffel* que, con sus algo más de trescientos metros de altura, marca el punto de acceso al recinto de exposición. El paseo

organised around an axis, in northeast to south-east direction, connecting through the Pont d'Iéna, the Palais des Trocadero with the École Militaire. On the axis, and as an outstanding focal point, the great Tour Eiffel stands up over three hundred meters high, marking the entry point of the exhibition. The promenade towards the great Dôme Centrale is located on the axis. Used as the main entrance to the exhibition areas, it is flanked on both sides by

de aproximación hacia la gran *Dôme Centrale* que, situada sobre el eje, sirve de acceso principal a las zonas expositivas, queda flanqueado por el *Palais des Beaux-Arts* y el *Palais des Arts Libéraux*. Ambos edificios quedan finalmente unidos por las galerías de exposición del *Palais des Industries Diverses*, dispuestas transversalmente en forma de "U". Estas crujías transversales son atravesadas por la *Galerie de 30 Mètres*, que une axialmente la *Dôme Centrale* con el *Grand Vestibule*. Éste articula la masa edificada de la parte anterior del conjunto con el enorme *Palais des Machines*, que se erige en telón de fondo de todo el recinto expositivo.

Se descubre entonces que al *Palais des Machines* se podía acceder desde el conjunto expositivo del *Champ de Mars*, principalmente, a través del *Grand Vestibule*. Este espacio, diseñado también por el propio Dutert, se conforma como una pieza que articula el gran volumen del *Palais des Machines* con el resto del conjunto expositivo. De planta sensiblemente cuadrada y cubierto por una estructura metálica de forma similar a una cúpula, se observa que este vestíbulo se encontraba profusamente ornamentado (Figura 11). Por otra parte, desde el conjunto expositivo de la *Esplanade des Invalides* se accede al *Palais des Machines* a través de la *Avenue de la Motte-Picquet*; esta avenida lleva directamente a la fachada la *Avenue de la Bourdonnais*, también profusamente ornamentada, tal y como se ha expuesto en el párrafo anterior. Se descubre, entonces, que estas dos partes del edificio -el *Grand Vestibule* y la fachada de la *Avenue de la Bourdonnais*- son al mismo tiempo las más públicas y las más ornamentadas (Figura 12).

Teniendo en cuenta esta observación, parece difícil defender la idea de que Dutert renunció voluntariamente al estilismo de la época en favor de una consciente y decidida desnudez estructural. Alternativamente, se podría aventurar que, ante

the Palais des Beaux-Arts and the Palais des Arts Libéraux. Both buildings are finally connected by the exhibition galleries of the Palais des Industries Diverses, arranged transversally in a U shape. These transversal bays are crossed by the Galerie de 30 Mètres, which axially connects the Dôme Centrale with the Grand Vestibule. This articulates the buildings in the rear section part of the complex with the enormous Palais des Machines, standing as a background of the whole exhibition site.

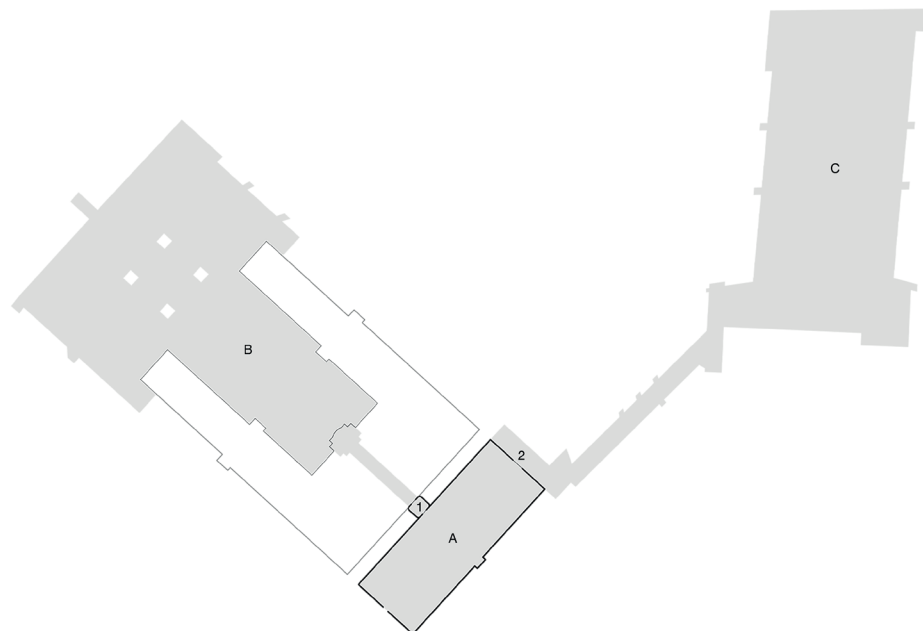
It is thus discovered that the access to the Palais des Machines could be from the exhibition area of Champ de Mars, mainly through the Grand Vestibule. This space, also designed by the very same Dutert, was composed as a piece that articulated the Palais des Machines with the rest of the exhibition. With a fairly square plan and covered with a metallic structure similar to the shape of a dome, it is observed that this hall was extremely ornamented. (Figure 11). On the contrary, the access to the Palais des Machines from the exhibition in the Esplanade des Invalides is through the Avenue de la Motte-Picquet; this avenue leads directly to the façade of Avenue de la Bourdonnais, also very ornamented as mentioned above. One discovers, then, that these two parts of the building -the Grand Vestibule and the façade of Avenue de la Bourdonnais - are both the most public and most ornamented at the same time (Figure 12).

Considering this observation it seems difficult to defend the idea that Dutert voluntarily renounced the styling of the time towards a conscious and determined bareness of the structure. Alternatively, it is plausible to venture that, facing a project of



Figura 11. Sección del *Grand Vestibule*, el espacio ampliamente decorado que conectaba el conjunto expositivo del *Champ de Mars* (izquierda) con el *Palais des Machines* (derecha).

Figure 11. Section of the *Grand Vestibule*, the space extensively decorated that connected the exhibition complex of *Champ de Mars* (left) with the *Palais des Machines* (right).



- A) *Palais des Machines*
 B) Conjunto expositivo *Champ de Mars*
 C) Conjunto expositivo *Esplanade des Invalides*

1. Grand Vestibule
 2. Fachada de la *Avenue de la Bourdonnais*

Figura 12. Esquema urbano de accesos al *Palais des Machines* desde el *Champ de Mars* y la *Esplanade des Invalides*.

Figure 12. Urban layout of the entrances to the *Palais des Machines* from the *Champ de Mars* and the *Esplanade des Invalides*.

un proyecto de tales dimensiones y dedicado, no lo olvidemos, a exponer el contenido menos "noble" del conjunto expositivo del *Champ de Mars* -maquinaria industrial-, el arquitecto optó por concentrar el ornamento en aquellas partes del edificio en las que consideró que era más necesario por ser más públicas y visibles, obviando cualquier tipo de decoración allí donde no le pareció que fuera imprescindible, la estructura de la cubierta. Probablemente, el corto plazo de construcción del

such dimensions, dedicated (lest we forget) to exhibit the less "noble" aspects of the *Champ de Mars* exhibition -the industrial machinery- the architect opted to focus ornamentation on those parts of the building that he considered to be more public and visible, ignoring any kind of decoration on the parts he considered to be inessential, such as the roof structure. The short construction period of the building and the budgetary restraints probably contributed decisively to the architect renouncing

edificio y la necesaria contención presupuestaria contribuyeran de manera decisiva a que el arquitecto renunciara a este tipo de recursos decorativos en buena parte de edificio.

De aceptar esta explicación, quedaría desacreditada la idea de que el *Palais des Machines* y su autor, Dutert, puedan ser considerados como estandartes de la ausencia de estilo que defendió la arquitectura moderna del siglo XX. Esta interpretación sólo podría sustentarse en una interpretación parcial o voluntariamente sesgada del edificio.

En cualquier caso, con independencia de la posición de Dutert con respecto al ornamento, es cierto que el edificio se mantuvo en pie durante veinte años y que durante todo este tiempo su estructura principal se mostró totalmente desnuda. Las fotografías de la época permitieron dejar constancia de esa desnudez y los arquitectos y críticos del siglo XX pudieron encontrar, ahí, inspiración para las bases de una nueva arquitectura.

CONCLUSIONES

El presente artículo ha analizado los que, probablemente, sean los aspectos más celebrados del *Palais des Machines*: el volumen construido por la nave central, la tipología estructural empleada y la desnudez de la estructura. Lo ha hecho con la intención de desvelar los motivos que condujeron a concebir el proyecto tal y como finalmente fue construido. No se ha tratado de ahondar en la historiografía o la crítica que envuelven al edificio; esa labor se deja a historiadores y críticos. Como arquitecto, el autor simplemente ha intentado indagar en las razones que llevaron a caracterizar de un modo, y no de otro, algunos de los aspectos más importantes del proyecto. Se descubre, entonces, que algunas de las cuestiones más celebradas del proyecto se

these decorative attributes on a large part of the building.

If this explanation is accepted, the idea that the Palais des Machines and its author, Dutert, can be considered the flagship of the absence of style that the 20th century modern architecture is based on would be discredited. This interpretation could only be underpinned on a partial or voluntarily skewed interpretation of the building.

In any case, regardless of Dutert's position towards ornament, it is true that the building remained standing for twenty years, with its bare structure displayed during all this time. The photographs of those days are witness to this bareness, and the architects and critics of the 20th century could perhaps find inspiration from them for the new bases of a new architecture.

CONCLUSIONS

The present article has analysed what are probably the most celebrated features of the Palais des Machines: the volume built as the central nave, the structural typology used, and the bareness of the structure. Its aim was to uncover the motives that led this project to be conceived and built as it finally was. The objective was not to delve into the historiography or critical tradition that surround the building, this is for historians and critics to take care of. As an architect, the author has simply tried to examine the reasons that led to characterize in one way, and not another, some of the most important features of the project. It is therefore discovered that some of the most celebrated features of the project were rather due to situation-related

deben más bien a ciertas cuestiones coyunturales que a la voluntad proyectual de sus autores. Se descubre, también, que hubo discrepancias entre el arquitecto y el ingeniero, y que algunas decisiones, posteriormente tan celebradas, en su momento resultaron casi inevitables. Se reconocen, también, aquellas decisiones de los autores que contribuyeron a convertir al edificio en un hito de la historia de la arquitectura. Se advierten, por último, contradicciones internas en algunas decisiones de proyecto, tan habituales en la concepción y resolución de un proyecto de tales magnitudes.

El *Palais des Machines* de 1889 no necesita ningún tipo de sobre-interpretación de sus cualidades arquitectónicas: nadie puede arrebatarse ya su lugar en la historia de la arquitectura, su inestimable contribución, sus indudables logros, todos ellos merecidos. No necesita de ninguna veladura crítica que lo ensalce de manera artificial. Mediante el presente artículo se ha intentado, simplemente, describir aquellas circunstancias que convirtieron al *Palais des Machines* de 1889 en lo que finalmente fue, sin necesidad de sobreactuaciones interpretativas. Con ello no se ha intentado, en absoluto, minusvalorar sus cualidades arquitectónicas, ni tampoco restar mérito a la labor proyectual de sus autores. Más bien al contrario, se ha querido dejar constancia de cómo la conjunción entre ciertas cuestiones coyunturales y la voluntad/habilidad de sus autores, hizo posible la construcción de una de las obras más importantes de la arquitectura decimonónica. Porque, para el arquitecto, proyectar supone casi siempre hacer converger su idea de arquitectura con todas aquellas cuestiones sobre las que no puede actuar. Como hemos visto, el *Palais des Machines* de la Exposición de París de 1889 es un buen ejemplo de ello.

reasons, more than the will of its designers. It is also discovered that there was some disagreement between the architect and engineer, and that some decisions -that have later been so celebrated- were inevitable at the time. Also identifiable are the decisions of the designers that contributed to make the building a major milestone for the history of architecture. Finally, some internal contradictions are detected regarding some decisions of the project, which are very common in the conception and resolution of a building of such magnitude.

The Palais des Machines of 1889 does not need any overinterpretation of its architectural qualities: nobody can take away its place in history, its invaluable contribution, its unquestionable achievements, all of them well deserved. It does not need any euphemism to praise them artificially. The present article has simply tried to describe those circumstances that turned the Palais des Machines into what it finally was, without the need for overbearing interpretations. There has not been an attempt to underestimate its architectonic qualities, nor belittle the task achieved by its authors. On the contrary, it has put on record how the conjunction between different circumstantial issues and the will/skill of its authors, made possible the construction of one of the most important works of architecture of the nineteenth-century. Because, for the architect, designing almost always involves making his idea of architecture converge with all the issues on which he cannot act. As we have seen, the Palais des Machines of the Exhibition in Paris of 1889 is a good example of this.

Notas y Referencias

- ¹ "El arquitecto de la *Galerie des Machines*, Ferdinand Dutert (1845-1906) se graduó en la École des Beaux-Arts y ganó el Premio de Roma en 1869. Él concibió la idea del edificio, preparó los planos y supervisó los detalles decorativos durante la construcción. El ingeniero fue Victor Contamin (1840-1893) un profesor de la École Centrale des Arts et Manufactures. El prescribió las dimensiones, hizo los cálculos estructurales y supervisó la erección de la estructura". John W. Stamper, "The *Galerie des Machines* of the 1889 Paris world's fair," en *Structural iron and steel, 1850-1900*, ed. Robert Thorne (Aldershot: Ashgate 2000), 265-266.
- ² "Los más importantes de estos edificios son inconcebibles sin la experiencia lograda en otros tipos de construcción, -invernaderos para el *Crystal Palace* de Paxton, puentes ferroviarios para la *Galerie des Machines* o la Torre Eiffel-. Hubieran sido impensables sin el soporte de la industria ferroviaria, cuya expansión aseguró que la investigación se llevara a cabo en cada campo de la tecnología del metal. A la inversa, ellos también proporcionaban la oportunidad de ser los "primeros", que era lo que más publicidad daba. Los más prestigiosos de aquellos edificios tenían esas cualidades espaciales novedosas que cambiaron la sensibilidad arquitectónica de manera drástica. El área cubierta crecía considerablemente de una exposición a otra, -la de la exposición de Londres de 1851 fue doblada en la de Viena de 1873 y triplicada en la de Philadelphia de 1876-. (...) Se redoblaron esfuerzos para lograr la espectacular y culminante *Galerie des Machines* (destruida en 1910) de Charles Dutert (1845-1906). Ésta tenía arcos que cubrían una luz de 115 metros, mientras que la mayor luz de los pabellones de 1867 sólo tenía 35 metros. Esta inútil ansia de superar los records de dimensión fue evidentemente obvia en la Exposición Universal de Chicago de 1899, donde se decidió que los arcos del *Manufactures and Liberal Arts Building* serían un poco más largos para superar el récord mundial logrado por la *Galerie des Machines*". Claude Mignot, *Architecture of the 19th century* (Fribourg: Evergreen, 1983), 194-199.
- ³ "Este récord pertenecía a los 486 metros del Brooklyn Bridge [1883], pero fue rápidamente superado por los 521 metros del Firth of Forth [1883-1890]. El puente de Garabit de Eiffel de 1884 cerca de Clermont-Ferrand, el Douro Bridge de Théophile Seyrig de 1877 en Portugal y el Puente del Mississippi de James Eads de 1874 en St Louis fueron todos ellos mayores que la *Galerie des Machines*". Tom F. Peters, *Building the nineteenth century* (London: The MIT Press, 1996), 432, n. 118.
- ⁴ Charles Vigreux, *Revue technique de l'Exposition Universelle de 1889. Première Partie: l'Architecture* (Paris: E. Bernard et Cie, 1893).
- ⁵ "Este proyecto, presentado al *Conseil des Travaux* y a la *Commission de Contrôle*, dio lugar a discusiones bastante largas y finalmente fue adoptado. De hecho, había muchas razones a favor: el efecto artístico prometía ser el más nuevo y el más interesante; la impresión producida sobre los visitantes por la gigantesca nave (...); la reducción en el número de puntos de apoyo fue impuesta por el suelo del *Champ de Mars* (...); por último, la ejecución de tales obras ofrece un magnífico campo de experimentación de la industria metalúrgica francesa, mostrando las maravillas que es capaz de producir". Adolphe Alphand, Georges Berger, y Alfred Picard, *Exposition Universelle Internationale de 1889 a Paris. Monographie. Palais, Jardins, Constructions Diverses, et Installations Générales* Vol. I (Paris: J. Rothschild, 1892-1895), 396-397.
- ⁶ "Se sabe que el diseño inicial de Dutert para cubrir el espacio proponía una gran cantidad de pequeñas luces, parecido a las salas de máquinas de las exposiciones anteriores del *Champ de Mars*. Luego propuso una cubierta de forma elíptica con apoyos encastados que resultó muy difícil de calcular a Contamin. Finalmente, la determinación estática de la configuración del arco articulado propició su elección; ello permitió a Contamin dimensionar los elementos estructurales utilizando una serie de cálculos que tuvieron en cuenta las fuerzas verticales y horizontales y los momentos que actuaban sobre el edificio". John W. Stamper, "The *Galerie des Machines* of the 1889 Paris world's fair," en *Structural iron and steel, 1850-1900*, ed. Robert Thorne (Aldershot: Ashgate 2000), 266.

Notes and References

- ¹ "The architect of the *Galerie des Machines*, Ferdinand Dutert (1845-1906) graduated from the École des Beaux-Arts and won the Prix de Rome in 1869. He conceived the idea for the building, prepared the plans and supervised decorative details during the construction. The engineer was Victor Contamin (1840-1893), a teacher in École Centrale des Arts et Manufactures. He prescribed the dimensions, determined the structural calculations and supervised the erection of the structure" John W. Stamper, "The *Galerie des Machines* of the 1889 Paris world's fair," in *Structural iron and steel, 1850-1900*, ed. Robert Thorne (Aldershot: Ashgate 2000), 265-266.
- ² "The most important of these buildings are inconceivable without the past experience in other types of construction, -greenhouses for the *Crystal Palace* by Paxton, railway bridges for the *Galerie des Machines* or the *Eiffel Tower*-. If it had not been for the railway industry, these would have been unthinkable since the industry ensured research to be carried out in the metal technology field. Conversely, they also provided the opportunity to be the first ones, which helped gain exposure. The most prestigious of those buildings had innovative spatial qualities that drastically changed the architectural sensibility. The covered area considerably increased from one exhibition to the other - The one in London in 1851 doubled in Vienna in 1873 and tripled in Philadelphia in 1876-. (...) Enhanced efforts were made to archive the spectacular and culminating *Galerie des Machines* (destroyed in 1910) by Charles Dutert (1845-1906). It had trusses that covered a span of 115m, whereas the 1867 pavilions only spanned to 35 meters. This futile yearning to surpass the record of dimensions was obvious in the Chicago Universal Exhibition of 1899, where it was decided that the trusses of the *Manufactures and Liberal Arts Building* would be slightly longer, to beat the world record, achieved by the *Galerie des Machines*". Claude Mignot, *Architecture of the 19th century* (Fribourg: Evergreen, 1983), 194-199.
- ³ "This record belonged to the 486 meters of Brooklyn Bridge [1883], but it was quickly overcome by the 521 meters of the Firth of Forth [1883-1890]. The Garabit Bridge, by Eiffel in 1884, near Clermont-Ferrand, the Douro Bridge by Théophile Seyrig in Portugal in 1877, and the Mississippi Bridge in St Louis by James Eads in 1874 were all larger than the *Galerie des Machines*". Tom F. Peters, *Building the nineteenth century* (London: The MIT Press, 1996), 432, n. 118.
- ⁴ Charles Vigreux, *Revue technique de l'Exposition Universelle de 1889. Première Partie: l'Architecture* (Paris: E. Bernard et Cie, 1893).
- ⁵ "This project, presented to the *Conseil des Travaux* and to the *Commission de Contrôle*, resulted in lengthy discussions prior to being adopted. As a matter of fact, there were a lot of reasons in favour: the artistic effect promised to be the newest and most interesting, the impression produced on the visitors by the gigantic nave (...); the reduction in number of supports was imposed by the land in *Champ de Mars* (...); finally, the execution of such works offers a magnificent field of experimentation in the French metallurgical industry, showing the wonders it is capable of producing." Adolphe Alphand, Georges Berger, and Alfred Picard, *Exposition Universelle Internationale de 1889 a Paris. Monographie. Palais, Jardins, Constructions Diverses, et Installations Générales* Vol. I (Paris: J. Rothschild, 1892-1895), 396-397.
- ⁶ "It is common knowledge that Dutert's initial design to cover the space proposed a large quantity of short spans, similar to the machine rooms of the previous exhibitions in *Champ de Mars*. He then proposed an elliptic roof with embedded supports that was very difficult to calculate for Contamin. The static determination of the configuration of the three-hinged arch led to the final choice. It allowed Contamin to calculate the structural elements using a series of calculations that considered the vertical and horizontal forces and the moment that affected the building." John W. Stamper, "The *Galerie des Machines* of the 1889 Paris world's fair," in *Structural iron and steel, 1850-1900*, ed. Robert Thorne (Aldershot: Ashgate 2000), 266.

- ⁷ Para una información más detallada sobre los precedentes del arco triarticulado ver: John W. Stamper, "The *Galerie des Machines* of the 1889 Paris world's fair," en *Structural iron and steel, 1850-1900*, ed. Robert Thorne (Aldershot: Ashgate 2000), 270-272; Tom F. Peters, *Building the nineteenth century* (London: The MIT Press, 1996), 432 n. 119; Stuart Durant, *Palais des Machines: Ferdinand Dutert* (London: Phaidon, 1994), 21; Claude Mignot, *Architecture of the 19th century* (Fribourg: Evergreen, 1983), 198-199; Javier Estévez Cimadevila, e Isaac López César, "The *Palais des Machines* of 1889. Historical-structural reflections," *VLC arquitectura* Vol. 2 issue 2 (2015): 1-30.
- ⁸ "En un determinado momento del proceso de diseño, Dutert preparó un dibujo alternativo donde las bases de los arcos estaban revestidas en piedra. Esto se hizo para apaciguar a los organizadores de la exposición que no se encontraban cómodos con el radical ahusamiento de la base de los pórticos y su articulación. Finalmente, sin embargo, Dutert y Contamin consiguieron que se aprobase su expresiva estructura". John W. Stamper, "The *Galerie des Machines* of the 1889 Paris world's fair," en *Structural iron and steel, 1850-1900*, ed. Robert Thorne (Aldershot: Ashgate 2000), 266.
- ⁹ La *St Pancras Station* de Londres o la Estación de Atocha de Madrid, por citar sólo dos ejemplos conocidos, siguen este mismo esquema y tienen, en mayor o menor medida, ocultos sus apoyos.
- ⁷ For a more detailed information on the precedents of the three-hinged arch, see: John W. Stamper, "The *Galerie des Machines* of the 1889 Paris world's fair," in *Structural iron and steel, 1850-1900*, ed. Robert Thorne (Aldershot: Ashgate 2000), 270-272; Tom F. Peters, *Building the nineteenth century* (London: The MIT Press, 1996), 432 n. 119; Stuart Durant, *Palais des Machines: Ferdinand Dutert* (London: Phaidon, 1994), 21; Claude Mignot, *Architecture of the 19th century* (Fribourg: Evergreen, 1983), 198-199; Javier Estévez Cimadevila, e Isaac López César, "The *Palais des Machines* of 1889. Historical-structural reflections," *VLC arquitectura* Vol. 2 issue 2 (2015): 1-30.
- ⁸ "At a certain point of the design process, Dutert prepared an alternative drawing where the bases of the arches were covered with stone. This was to ease the organizers of the exhibition, who did not feel comfortable with the radical tapering of the base of the frame and its hinge. However, the expressive structure designed by Dutert and Contamin was finally approved". John W. Stamper, "The *Galerie des Machines* of the 1889 Paris world's fair," in *Structural iron and steel, 1850-1900*, ed. Robert Thorne (Aldershot: Ashgate 2000), 266.
- ⁹ *St Pancras Station in London or the Atocha Station in Madrid, to name just two examples that follow the same scheme and have their supports (to a greater or lesser extent) hidden.*

BIBLIOGRAPHY

- Alphand, Adolphe, Georges Berger and Alfred Picard. *Exposition Universelle Internationale de 1889 a Paris. Monographie. Palais, Jardins, Constructions Diverses et Installations Générales*. Paris: J. Rothschild, 1892-1895.
- Antigüedad, María Dolores and Sagrario Aznar. *El siglo XIX: el cauce de la memoria*. Madrid: Istmo, 1998.
- Araujo Armero, Ramón. "Construir en acero: forma y estructura en el espacio continuo." *TECTÓNICA: monografías de arquitectura, tecnología y construcción. Rehabilitación: la arquitectura moderna*, nº 33 (Junio 2010). Madrid: ATC Ediciones.
- Charlton, Thomas Malcolm. *A History of theory of structures in the nineteenth century*. Cambridge: Cambridge University Press, 1982. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511524677>
- Durant, Stuart. *Palais des Machines: Ferdinand Dutert*. London: Phaidon, 1994.
- Estévez Cimadevila, Javier, and Isaac López César. "The *Palais des Machines* of 1889. Historical-structural reflections." *VLC arquitectura*, Vol. 2 issue 2 (2015): 1-30.
- Giedion, Sigfried, and Sokratis Georgiadis. *Building in France, building in iron, building in ferro-concrete*. Santa Monica: Getty Center for the History of Art and the Humanities, 1995.
- McKean, John et al. *Lost masterpieces*. London: Phaidon, 1999.
- Middleton, Robin. *Architecture of the nineteenth century*. Milano: Electa, 2003.
- Mignot, Claude. *Architecture of the 19th century*. Fribourg: Evergreen, 1983.
- North, John. *Mid-nineteenth-century scientists*. Oxford: Pergamon Press, 1969.
- Peters, Tom F. *Building the nineteenth century*. London: The MIT Press, 1996.
- Stamper, John W. "The *Galerie des Machines* of the 1889 Paris world's fair." In *Structural iron and steel, 1850-1900*, edited by Robert Thorne. Aldershot: Ashgate, 2000.
- Vigreux, Charles. *Revue technique de l'Exposition Universelle de 1889. Première Partie: l'Architecture*. Paris: E. Bernard et Cie (ed), 1893.

IMAGES SOURCES

1, 2, 3, 12. Drawing by the author. **4.** www.nga.gov. **5.** Giedion, Sigfried; Georgiadis, Sokratis: *Building in France, building in iron, building in ferro-concrete*. Santa Monica: Getty Center for the History of Art and the Humanities, 1995, p. 140. **6.** www.flickr.com/photos/ya3hs3. **7.** Stamper, John, W. "The Galerie des Machines of the 1889 Paris world's fair". In Thorne, Robert (ed): *Structural Iron and steel, 1850-1900*. Aldershot: Ashgate, 2000, p. 263. **8.** Durant, Stuart: *Palais des Machines: Ferdinand Dutert*. London: Phaidon, 1994, p.17. / Drawing by the author. **9.** Durant, Stuart: *Palais des Machines: Ferdinand Dutert*. London: Phaidon, 1994, p. 20. **10.** Mignot, Claude. *Architecture of the 19th century*. Fribourg: Evergreen, 1983, p. 202. **11.** Durant, Stuart: *Palais des Machines: Ferdinand Dutert*. London: Phaidon, 1994, p. 32.