

The end of a typology?
Expectations of laminar
structures in the current
panorama

PALABRAS CLAVE • ESTRUCTURAS LAMINARES · HISTORIA DE LA CONSTRUCCIÓN · OBSOLESCENCIA DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS · CONDICIONAMIENTO TÉCNICO

KEYWORDS • SHELL STRUCTURES · HISTORY OF CONSTRUCTION · OBSOLESCENCE OF THE BUILDING SYSTEMS · TECHNICAL CONDITIONING

RESUMEN

Las estructuras laminares, como las realizadas por Eduardo Torroja y Félix Candela, han supuesto un salto cualitativo en la concepción espacial de la arquitectura del siglo xx. El que hoy esta tipología se encuentre en desuso es un hecho interesante, ajeno a las consideraciones meramente resistentes. La aparición y desaparición de sistemas estructurales, siempre va ligado a cambios históricos, que nos permiten entender los razonamientos que rigen la actividad humana, enfrentando el futuro con el peso de la consciencia técnica e histórica. Desde la tesis de la que forma parte este estudio, se busca comprender estos factores y la incidencia de las capacidades materiales, técnicas y de cálculo, en la concepción proyectual y en especial en las arquitecturas de grandes luces, como ámbito extremo de referencia.

ABSTRACT

Shell structures, such as the works by Eduardo Torroja and Félix Candela, have been a qualitative leap in the spatial conception of the architecture of the 20th century. The fact that today this typology is in disuse, is an interesting issue in itself, alien to merely resistant considerations. The appearance and disappearance of structural systems is always linked to historical changes that allow us to understand the reasonings that govern human activity, and allow us to face the future with the weight of technical and historical awareness. This study is part of a doctoral thesis that seeks to understand the incidence of material, technical and structural capabilities in project conception, especially in architectures of large spans, as an extreme reference field.

¿El fin de una tipología?

Expectativas de las estructuras laminares en el panorama actual

ALBERTO HUMANES CISNAL* · Universidad Politécnica de Madrid, España · ahcarquitectura@gmail.com

Fecha de recepción: 19 febrero 2017 · Fecha de aceptación: 17 abril 2017

INTRODUCCIÓN.

RELEVANCIA DE LAS CONDICIONES DE ENTORNO PARA LA EVOLUCIÓN DE LAS TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS

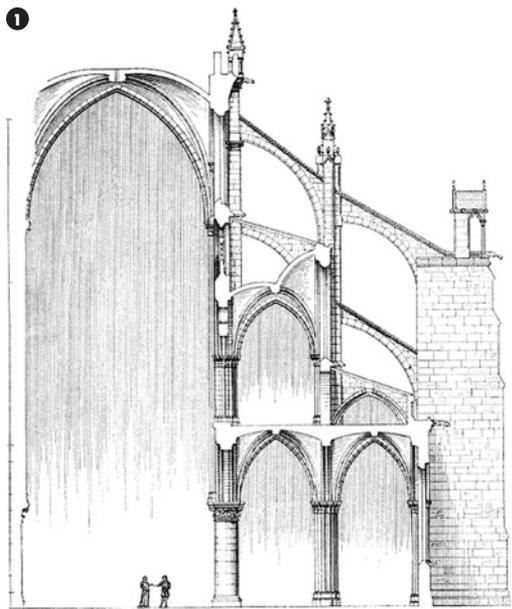
El hombre a lo largo de la historia, ha actuado condicionado a lo que la técnica le ha permitido. Precisamente por ello es imprescindible tener presente las capacidades del marco técnico en cada momento, como configuradoras del ámbito proyectual y condicionantes básicos que permiten el entendimiento de la obra. Solo desde la consciencia del conocimiento adquirido en los distintos ámbitos que condicionan la labor reflexiva de la proyectación, se puede lograr una comprensión de las leyes que recaen bajo las decisiones adoptadas. El conocimiento no puede ser desaprendido y por eso mismo, modifica irreversiblemente nuestra visión del mundo y nuestra forma de concebirlo y proyectarlo. El mundo cambia según la visión de cada generación que la observa y esta visión a su vez, está condicionada por factores sociológicos, tecnológicos, ideológicos... que definen los

márgenes en los que discurre la actividad humana. Solo el estudio de estas variables puede acercarnos a la comprensión del mundo, tal y como se presenta hoy ante nuestros ojos.

El siglo xx ha sido un período convulso, marcado, tanto por los conflictos militares, como económicos. Precisamente estas rupturas de la continuidad heredada del siglo xix, fueron el impulso que necesitaba un nuevo material, el hormigón armado, para encontrar su justo lugar en el panorama arquitectónico. En concreto la carestía de hierro a causa de los conflictos bélicos y el aumento del precio de este material tras el fin de estos, dio la oportunidad a las estructuras de hormigón armado de establecerse como sustituto a las estructuras metálicas, con un menor coste e infinidad de posibilidades. Precisamente estos acontecimientos, son los que justifican que la arquitectura del siglo xx fuera principalmente confeccionada en hormigón armado en Europa, acometiendo con este material la reconstrucción, mientras que en los EE. UU., que no vio cómo las guerras devastaban directamente sus territorios, las

* Arquitecto y Máster en Proyectos Arquitectónicos Avanzados, con las especializaciones en "Estructuras" y en "Organización y Gestión", por la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (ETSAM) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), España, realizando a su vez labores de investigación ligadas al departamento de estructuras en viviendas de adobe sismorresistentes. Profesionalmente, ha desarrollado múltiples colaboraciones centradas, tanto en el ámbito de la rehabilitación y proyectación, como en la docencia e investigación, participando en exposiciones de arquitectura de amplia difusión como DOMUSAE y con ponencias en congresos internacionales como COINVEDI III. Actualmente realiza su tesis doctoral en ETSAM-UPM, investigando sobre las arquitecturas de grandes luces.

1. Transmisión de los empujes horizontales hasta el terreno, en una sección gótica. Imagen del banco documental apuntes.santanderlasalle.es



estructuras metálicas continuaron de forma natural. Un hecho como este supuso una brecha entre la concepción proyectual europea y estadounidense, en base al material, solo comprensible desde esta perspectiva.

Los orígenes conceptuales del hormigón armado se encuentran enraizados en el siglo anterior, con patentes como las de Joseph Monier y François Hennebique, en un intento, tanto de difundir las construcciones de este material, como de establecer unas pautas y garantías para su empleo en condiciones de seguridad. A comienzos del siglo xx los herederos de estos conocimientos, versados de las limitaciones espaciales que los elementos horizontales tienen, recurrieron al factor de forma. Claramente los arcos, bóvedas y cúpulas son esquemas estructurales nacidos de la necesidad de encontrar sistemas compresivos, en los que no aparezcan tracciones, que puedan conducir al colapso de la estructura. Durante siglos los avances en el mundo de la construcción se centraron en el afinamiento de los elementos estructurales, desde los gruesos arcos romanos, que eran capaces de resistir multitud de combinaciones de cargas, hasta las estructuras góticas, que basadas en la

experiencia empírica, encontraron las formas más eficientes para la combinatoria de cargas previsible para cada construcción, afinándose los elementos estructurales, de tal forma que se encuentran diseñados para el paso por su interior de un antifunicular de cargas concreto (FIGURA 1). Precisamente este punto es por el que actualmente encontramos más puentes romanos que góticos, al asumir los primeros mejor los cambios de usos a los que han sido sometidos con el paso de los siglos. La importancia del marco temporal, es vital para el entendimiento de las limitaciones acompañadas a la producción arquitectónica, justificando un proceder constructivo, como expresa claramente Antonio José Mas-Guindal Lafarga cuando dice: “Hoy no se puede hacer el gótico de entonces. Ni las condiciones laborales son repetibles, ni existe hoy la sabiduría de los magister operis de entonces”. Frente a la optimización formal de las estructuras compresivas, justificada por el empleo de un material como la piedra, incapaz de resistir tracciones, el hormigón armado puede soportar, tanto compresiones, como tracciones, lo que modifica sustancialmente las reglas básicas a tener en cuenta para el diseño.

LAS LÁMINAS DE HORMIGÓN ARMADO COMO MEDIO ILUSTRATIVO DE LA OBSOLESCENCIA DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

El presente texto forma parte de un estudio más amplio, destinado a la determinación del papel de las soluciones estructurales de grandes luces en el panorama actual. Para ello, resulta imprescindible acometer de forma previa un análisis de los factores históricos que han permitido forjar el presente, tal y como lo conocemos. En este marco teórico, las estructuras laminares son un referente vital en el siglo xx. Este análisis requiere una visión de conjunto, tanto desde la obra construida, como desde los avances en materiales, técnicas y medios de cálculo, que sustancian el marco condicionante de las decisiones proyectuales. Como parte del proceso analítico se ha recopilado un considerable número de

obras centradas en el ámbito de las grandes luces, reflejando el panorama técnico en cada momento y la evolución de las distintas técnicas. Así surge la pregunta: ¿por qué hoy prácticamente no se emplean las estructuras laminares? Si bien el concepto resistente y sus virtudes son una realidad atemporal, existen una serie de condicionantes que es necesario analizar para dar respuesta a esa pregunta. Pero ante todo, el estudio ha evidenciado la trascendencia de las capacidades resolutorias en la concepción arquitectónica y la relevancia de materiales, técnicas y medios de cálculo, como principales factores determinantes de la forma arquitectónica y el marco de libertades en el que se desarrolla la actividad creativa.

La importancia del ámbito técnico en la concepción arquitectónica y la estrecha relación entre arquitectos e ingenieros en aquellas obras que aspiran a superar los cánones de la cotidianidad, se ejemplifica en la relación que mantenían Louis Isadore Kahn y el ingeniero August Eduard Komendant y las palabras de Kahn al decir: “La ingeniería no es una cosa y el diseño otra. Ambas deben ser una sola cosa... Un edificio debe mostrar cómo ha sido hecho. Si se ensalza la ingeniería, se empiezan a destacar también los demás aspectos de la arquitectura”. La arquitectura y más fervientemente en el caso de las obras de grandes luces, necesita del ámbito técnico en su concepción y materialización. Por eso mismo las consideraciones ligadas a la capacidad resolutoria condicionan de manera patente la producción arquitectónica. De igual forma, otros factores como los socioeconómicos son vitales para el entendimiento del abanico resolutorio empleado en cada marco espacio-temporal.

Desde el punto de vista resistente, las estructuras laminares están sometidas, tanto a compresiones, como a atracciones, trabajando como una membrana, que transmite superficialmente sus esfuerzos hasta los apoyos, frente a las bóvedas ideadas únicamente para resistir compresiones, una restricción originada en el material. Este hecho abre un nuevo

2. Edificio de embotellado de la Fábrica Bacardí, Tultitlán (México), 1958-1960 (primera etapa) 1971 (segunda etapa). Fotografía de archivo de Diseño y Arquitectura.



3. Iglesia de Santa Mónica, Ciudad de México (México), 1960, obra de Fernando López Carmona y Félix Candela. Fotografía de archivo del estado original publicada por ArtChist.



mundo al diseño de las cubiertas de grandes luces, pudiendo aumentar el repertorio de formas a las que poder recurrir: bóveda de arco parabólico, bóveda de cañón de arco rebajado, cascarón de generatriz elíptica, bóveda formada por la unión reglada de una recta y un arco parabólico, lámina reglada con directriz catenaria y paraboloides hiperbólico. Estas son las principales formas en las que se basan las estructuras laminares, como las realizadas por Félix Candela, quien se vio obligado al exilio de España tras la Guerra Civil española en 1939, surgiendo de esta combinatoria una nueva estética arquitectónica.

Ya en este punto, los medios de cálculo permitan conocer, con cierta precisión, las solicitaciones internas de la estructura, determinando los esfuerzos máximos para los que ha de estar dimensionada. Precisamente la capacidad de cálculo es uno de los principales factores que determinan las formas realizables, limitándose el diseño a aquellas cuya función conocida permite su cálculo, lo que impedía una libertad real para el diseño de la forma de las láminas. Este hecho se hace evidente en los diseños de las famosas cubiertas

realizadas por Félix Candela (FIGURA 2) a lo largo de su amplia trayectoria, en los que logró proyectos sorprendentes, empleando las bases geométricas comentadas, cubriendo grandes espacios con finas láminas, llegando a ser incluso de 15 milímetros en su parte más fina. Sus estructuras marcaron una época en el panorama arquitectónico mexicano, al que prácticamente se vio limitada su obra, entre otras razones porque en esta época las finas láminas que empleaba en sus proyectos, no cumplían los márgenes normativos establecidos en otros países, que pese tanto a los datos numéricos, como experimentales de este tipo de estructuras, las definían erróneamente como inseguras. Así, tanto los medios de cálculo, como los medios normativos surgidos en base a ellos, condicionan la producción arquitectónica, tanto desde la capacidad para determinar la viabilidad constructiva, como así mismo para considerar esta dentro de unos márgenes conservadoramente seguros. En el caso de las láminas, el primero de estos factores limita formalmente las soluciones aplicables, mientras que el segundo incide mayormente en los márgenes dimensionales de los elementos constructivos. Las estructuras

laminares se centran en la optimización resistente, como medio resolutivo y expresivo, materializando innumerables alardes en un ámbito arquitectónico, que en parte por su breve recorrido, experimentó incesablemente con la forma constructiva, logrando virtuosismos sorprendentes (FIGURA 3).

La limitación de diseño, debida tanto a los medios técnicos de construcción, como de cálculo, solo desaparecería en las últimas décadas, cuando los medios digitales de cálculo y representación, posibilitan la realización de superficies libres. El método de cálculo matricial surge mucho antes de que fuera aplicable más allá de ejemplos académicos, por lo que la aparición de un recurso como los ordenadores, capaces de resolver matrices de sorprendentes dimensiones, es un hecho trascendental en la evolución del marco de libertades del panorama constructivo. Así mismo se hace posible la representación, no solo mediante plantas, alzados y secciones, como clásicamente se ha producido, sino además con los modelos 3D. Dichos medios pueden emplearse, para el moldeado previo de las complejas formas

4. Crematorio de Kakamigahara, en Kakamigahara, Gifu (Japón), 2004-2006, obra de Toyo Ito & Associates. Fotografía de Toyo Ito & Associates.
5. Encofrado de madera del Crematorio de Kakamigahara, en Kakamigahara, Gifu (Japón), 2004-2006, obra de Toyo Ito & Associates. Fotografía de Toyo Ito & Associates.
6. Hangares gemelos del Aeropuerto de Orly (Francia), 1921-1923, obra de Eugène Freyssinet. Fotografía de archivo, publicada por Arquiscopio.



opciones disponibles para la configuración del encofrado, se ha optado por una subestructura de madera (FIGURA 5) compleja y costosa, pese a que en ningún momento, la textura que este tipo de soluciones confiere ha sido el objetivo. El resultado final, es una superficie tersa y liviana, como una tela que se prendiera de los escasos soportes e intentara flotar, una bella metáfora espacial del paso a la otra vida, que logra un diálogo emocional con el usuario. A estas alturas, los encofrados no se ven limitados a su conformación mediante elementos rectilíneos de madera, empleados para la formación de las superficies regladas de paraboloides hiperbólicos..., que han caracterizado las estructuras laminares, por lo que estos se conforman como una solución más a optar en el proceso de diseño, desde las intenciones proyectuales y los márgenes económicos con que se cuenta.

de los encofrados, mediante la traslación de las superficies diseñadas en el ordenador a las máquinas industriales, que se encargan de su reproducción precisa. Un ejemplo actual de estructura laminar, concebida en el marco de las nuevas libertades de diseño que la técnica permite, es el Crematorio de Kakamigahara (FIGURA 4), que cubre un espacio de 2.264,57 m². En esta obra, pese a las

Un punto interesante a tener en consideración a la hora de estudiar el panorama constructivo a lo largo del siglo xx y las capacidades para la conformación de espacios de grandes luces, es la aparición del pretensado. Este recurso estructural permite manipular las tensiones internas del material a conveniencia del diseñador, posibilitando un mayor control sobre las deformaciones y una ampliación de los márgenes dimensionales y opciones constructivas. Así mismo, Eugène Freyssinet, el

padre del pretensado, previo al desarrollo de dicha técnica, realiza los Hangares gemelos del Aeropuerto de Orly (1921-1923) (FIGURA 6), unas láminas plegadas de hormigón armado, que son un paradigma de las capacidades espaciales de este tipo resolutivo. Como dice José Antonio Fernández Ordóñez, estos hangares:

“Representan en 1921 un salto cualitativo en las cubiertas de fábrica, no solo por sus enormes dimensiones, que son récord indiscutible, sino por los mínimos metros cúbicos de hormigón empleados por volumen útil de la construcción: nadie ha superado a Freyssinet en el principio de hacer ‘más con menos’. Las bóvedas de Orly son las primeras plegadas del mundo y su concepto se ha utilizado hasta la saciedad aplicado a todo tipo de estructuras. La relación espesor/luz es menor de 1/1.000, diez veces menor que en un huevo de gallina, que es 1/100”.

Así, las láminas de hormigón armado son una respuesta a la incapacidad del material para configurar elementos horizontales de grandes dimensiones, sin que se produzcan fisuraciones. Esto obligaba a que más allá de los 15 metros se tuviera que optar por otro tipo de soluciones, poniéndose a la cabeza las cubiertas laminares. El descubrimiento del hormigón

7. Estación de Autobuses del Casar de Cáceres (España) (1998-2004), obra de Justo García Rubio. Fotografía realizada para 4escultura en la Facultad de Bellas Artes de Salamanca.

pretensado, tal y como lo desarrolla Eugène Freyssinet, revoluciona el uso de las estructuras de hormigón, ya que permite el control de las tensiones internas del material, limitando los esfuerzos tructores sobre el hormigón en la fase de servicio.

La incorporación de las soluciones pretensadas, permite tanto la confección de elementos horizontales de hormigón de grandes dimensiones, así como otro tipo de resoluciones formales y técnicas, que haciendo uso de este recurso amplían los márgenes constructivos de aplicación. Más allá de sus orígenes en el siglo XX, el pretensado se ha constituido como uno de los recursos básicos del siglo XXI.

Como se ve, las estructuras laminares y sus variantes son una solución sumamente práctica y ajustada a la problemática puramente resistente, recurriendo al empleo de superficies de doble curvatura, que condicionan sobremanera el proyecto, obteniendo soluciones claramente supeditadas al sistema constructivo.

En las últimas décadas, como se ha comentado, nos encontramos ante un panorama desde el punto de vista de la capacidad resolutoria sin precedentes, en el que casi cualquier solución es materializable, pero pese a ello, el número de proyectos que emplean este tipo de soluciones se ha reducido drásticamente. Hoy este tipo resolutorio, dentro del panorama constructivo, ha pasado a considerarse algo prácticamente anecdótico y en aquellas situaciones en las que se aplica, es considerado un alarde y una ostentación, algo completamente ajeno al espíritu que originalmente llevaron asociadas este tipo de construcciones como medio económico de cubrir grandes espacios. Así que hemos de preguntarnos, ¿Qué ha pasado concretamente en las últimas décadas para que una tipología estructural tan relevante como las láminas de hormigón armado queden en desuso? No es algo que podamos achacar a un único hecho, sino a un conjunto de circunstancias que han mermado su competitividad frente a otras opciones estructurales.



FACTORES QUE HAN CONDUCIDO A LA OBSOLESCENCIA DE LAS CUBIERTAS LAMINARES COMO OPCIÓN CONSTRUCTIVA

Tanto en el origen, como en el fin de una tipología estructural, encontramos múltiples circunstancias específicas que justifican tal acontecimiento y le dan sentido en el panorama global de la construcción. Los comienzos de las láminas de hormigón, los encontramos en un momento de la historia en el cual los sueldos eran considerablemente bajos, frente al coste de los materiales, por lo que una reducción de la cantidad de material, bien merecía un ligero aumento de la mano de obra. Eso condujo a construcciones cada vez más optimizadas, cubriendo con espesores nimios grandes salas, con una cantidad de material mínima, reduciendo asimismo el coste que supondrían un mayor número de soportes, de una opción estructural que no empleara grandes luces.

La optimización no es un hecho ni mucho menos gratuito, ya que para ello era necesaria la construcción de un encofrado continuo que

reflejara la forma definitiva de la estructura. Esto requería mucha mano de obra especializada, capaz de realizar esa estructura previa correctamente, para disponer posteriormente el armado con el trazado y densidad, precisos. Durante las últimas décadas nos encontramos ante un panorama sumamente distinto, en las que el aumento de los sueldos, en relación con el coste de los materiales, ha ascendido hasta el punto de prevalecer la reducción de la mano de obra frente al consumo de materiales. Pero si bien durante los últimos tiempos esto resulta más evidente, ya en 1964 a partir del decreto que marcaba un salario mínimo para los albañiles mexicanos, las estructuras laminares dejaron de ser la opción más económica de cubrir grandes luces en ese país. Así con el paso del tiempo, este sistema constructivo nacido de un condicionamiento material, como forma económica de cubrir grandes espacios, perdió dicha competitividad dentro del mercado.

En la actualidad, en países como España, la tendencia constructiva es la reducción de la mano de obra necesaria y la especialización de esta, en términos generales mediante la

introducción de elementos prefabricados en el proceso constructivo o la adopción de un sistema constructivo prefabricado. Si bien esta última es la tendencia, aún la construcción *in situ* es mayoritaria, pero da las claves para entender cuáles son las líneas hacia las que tiende el panorama constructivo. Este tipo de reflexión, permite interpretar la adopción de soluciones como las cubiertas laminares de hormigón en la actualidad, como un alarde y una referencia estética y simbólica, alejada de las respuestas más pragmáticas.

La evolución de la relación del coste de materiales y mano de obra, es claramente la justificación del paso generalizado a sistemas, que aunque menos óptimos, no requieren encofrados tan complejos y tanta mano de obra para su construcción. Así el empleo de este recurso, ha pasado a ser un alarde resolutivo, como en el caso de la Estación de Autobuses del Casar de Cáceres (1998-2004), obra de Justo García Rubio (FIGURA 7). En esta obra se utiliza el material con la tosquedad y rotundidad que otorgan los encofrados de madera, en la conformación de la suntuosa lámina de hormigón armado blanco, que conforma la cubierta para los autobuses y la cafetería. El grácil gesto de la lámina, representa un claro intento de convertir el edificio en una figura icónica, estableciéndose como referente dentro del entorno urbano, pese a la pequeña escala de la actuación. Así el sistema constructivo sobre cualquier otra consideración, se emplea desde el punto de vista expresivo, tanto ensalzando las características del material, como la gracilidad de la forma resistente. Las referencias constructivas son evidentes, pero los gestos, como el contacto extremo de la lámina con el terreno o la continuidad del plano de cubierta resolviendo toda la construcción con un solo gesto, permiten entender esta obra como una reinterpretación contemporánea y una muestra del salto capacitivo acontecido en las últimas décadas. Puede que el tiempo de las cubiertas laminares haya pasado, pero aquellas obras que las adoptan, pueden lejos de repetir modelos existentes, dar rienda suelta a la expresión arquitectónica.

En España y México, durante los años de esplendor de esta técnica, se encuentran este tipo de estructuras, aplicadas en edificios de bajos costes de producción, tales como: fábricas, galerías comerciales, centros religiosos... Hoy únicamente se encuentran como parte de su historia arquitectónica, solo concebibles en un caldo de cultivo muy concreto, perteneciente a la franja central del pasado siglo. Este cambio de concepción social de una tipología estructural, convierte a las obras que actualmente acometen el reto de emular los espacios logrados en aquellos años, en un gesto de ostentación expresiva, claramente enfatizada dentro del proyecto.

Otro gran factor que sentenció este tipo de estructuras, es la adecuación climática. A lo largo de toda la historia de la arquitectura, el hombre ha adecuado las edificaciones en busca de un mayor confort. Ejemplo de ello serían las casas típicas andaluzas, que con su color blanco reflejan la luz solar, reduciendo el calentamiento de los paramentos, recurriendo a angostas calles y pequeños patios, en los que las edificaciones se dan sombra las unas a las otras, moderando la temperatura del aire que circula por las viviendas, regulando finalmente la humedad mediante plantas y fuentes, para configurar un entorno agradable en el que habitar. Esta optimización climática surge de la experiencia y un largo proceso evolutivo, algo que se enfrenta diametralmente con el punto de partida original de las construcciones con estructuras laminares, que ajenas a consideraciones climatológicas, buscaban un medio barato de cubrir grandes espacios, delegando la regulación térmica, de ser necesario, a medios auxiliares.

Si comparamos por un momento las estructuras laminares, con aquellas edificaciones que históricamente han logrado una mejor adecuación climática en países como España, la diferencia más significativa es la inercia térmica de los paramentos y el aislamiento, obteniéndose este último en las cubiertas inclinadas tradicionales con un espacio bajo-cubierta ventilado, que proporciona un colchón térmico, que permite estabilizar la temperatura

interior frente a los cambios externos. Las estructuras laminares, surgidas en el intento de llevar al límite las capacidades del material para conformar espacios sorprendentes, prescindieron *a priori* de estas consideraciones, surgiendo la problemática precisamente de su virtud estructural, ya que el escaso espesor de la lámina proporciona un reducido aislamiento. Así en verano la cubierta proporciona un confortable espacio en sombra, que de no estar generosamente ventilado, sufrirá las consecuencias de la radiación térmica del elemento estructural, calentado durante las horas diurnas. Por su parte durante el invierno, el escaso aislamiento requerirá de un considerable gasto en medios de climatización, para aumentar la temperatura dentro de los márgenes aceptables. Por consiguiente, se hace patente una limitación geográfica en función de la zona climática. Al pensar en realizar una de estas construcciones, primeramente se deben tener presentes las condiciones particulares del entorno, conociendo las limitaciones de la solución estructural para generar espacios habitables. Las estructuras laminares únicamente son apropiadas para climas templados, en los que las temperaturas mínimas y máximas no resulten extremas.

Por su parte México, el país donde más ampliamente se encontró extendido el uso de las cubiertas laminares de hormigón armado, resulta en general apropiado para la implantación de estas edificaciones con un confort climático adecuado, optando por medios sencillos y económicos. Así en México no podemos argumentar que este factor haya sido relevante a la hora de prescindir del uso de las estructuras laminares, como así ha sido en el caso de España.

Por último, la durabilidad es un factor clave a considerar, dada la directa relación con el espesor del recubrimiento del hormigón, que sirve de capa protectora para las barras de acero del armado, susceptible de sufrir corrosiones que conduzcan a desperfectos puntuales o incluso al colapso. Por esta razón, en la mayor parte de los casos son objeto de tratamientos superficiales,

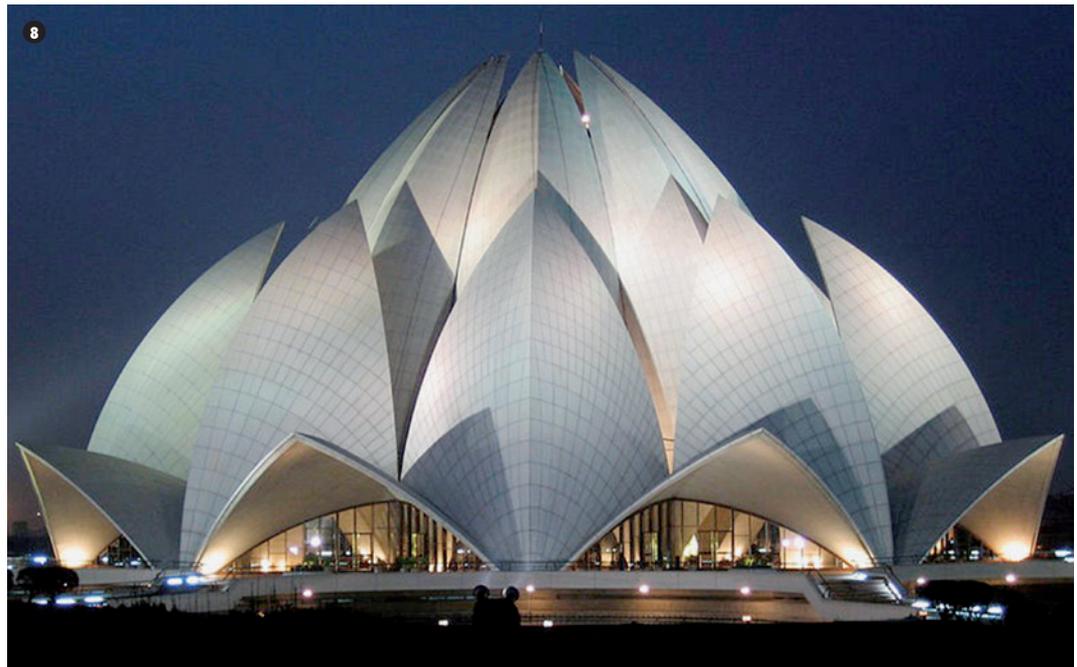
8. Templo del Loto (1986), en Delhi (India), obra de Fariborz Sahba y los ingenieros Flint & Neill. Fotografía realizada por Vandelizer.

que en la medida de lo posible garanticen la impermeabilidad, lo que conlleva un mantenimiento más intenso que otras soluciones de cubrición de grandes espacios.

LECTURA CONDICIONADA A LOS TIEMPOS

El papel y lectura que adquieren los materiales y técnicas, no son una constante a lo largo de la historia. Pero al mismo tiempo aquellas arquitecturas y referencias pasadas, conforman un compendio simbólico que condiciona la interpretación que se hace de las obras. Así las estructuras de hierro, sin referentes previos, se asociaron al ámbito fabril, porque inicialmente este tipo de obras, junto con los puentes, fueron los que las adoptaron por su pragmatismo, en el que excepto en contadas ocasiones, la lectura expresiva de la obra resulta irrelevante. En el caso de las láminas de hormigón pasa algo bien distinto, el material se relaciona visualmente con la piedra, pero las formas van más allá de la tradición, por lo que su acogida fue más fácil, mostrando una nueva estética resistente que pronto marcó una buena parte de la arquitectura del siglo xx, en obras de multitud de tipologías, desde fábricas a templos religiosos.

Los conceptos de este tipo de arquitectura son atemporales, pero superados hoy por las capacidades técnicas del momento, han pasado a ser íconos de su propia esencia resistente. El factor socioeconómico y técnico, que justificó su implantación, dista de las exigencias actuales y el tiempo ha delimitado su ámbito de aplicación, por lo que su uso hoy es en sí mismo una excepción que adquiere valor como reinterpretación actual de esta técnica. Hoy conscientes de los comentados factores, que la han conducido a su práctica desaparición, la obras que la emplean buscan una correcta adaptación climática y el cumplimiento de las exigencias de durabilidad, que permiten que estas obras, más allá del alarde expresivo y re-interpretativo, sean obras plenamente contemporáneas. Este sería el caso de la citada Estación de Autobuses del Casar de Cáceres (1998-2004).



CONCLUSIONES

Las estructuras laminares exigen unas condiciones socioeconómicas y climáticas muy concretas, que a día de hoy se dan en escasas zonas, que tengan los medios materiales para su ejecución. En países como España, el uso de este tipo de estructuras se conceptúa como un alarde estructural y expresivo, que lleva asociado un sobre coste frente a otras soluciones estructurales y la complejidad de encontrar encofradores con la maestría suficiente para su correcta realización, en un mercado desacostumbrado al uso de estas soluciones. Así el cambio de la situación socioeconómica que la dio lugar, ha hecho que a día de hoy, pierda su sentido más allá de la expresión pura de la belleza estructural. Aún hoy en México, pese a la mejora de las condiciones salariales, es una técnica factible, dado que los sueldos en este país aún son bajos, pero la falta de competitividad económica, ha hecho que otras ocupen su lugar en las cubriciones de grandes luces.

Desde el punto de vista del confort ha sido una tipología imperfecta, centrada únicamente

en la problemática resistente, ajena a las implicaciones ambientales que lleva asociadas, lo cual ha limitado su uso apropiado, a las franjas climáticas en las que ha sufrido mayor difusión, como el caso de México, donde primordialmente se requiere una cubrición que ofrezca cobijo de las inclemencias meteorológicas y una sombra que ofrezca un ambiente fresco y bien ventilado.

Así mismo, de este estudio se deduce que hay países en los que, pese a la limitada implantación de este tipo de soluciones, este sistema estructural puede tener una cuota de mercado elevada, como son: República Dominicana, India (FIGURA 8), Filipinas, Pakistán... en los que los sueldos aún son considerablemente reducidos (FIGURA 9) frente al coste de los materiales, gozando de unas condiciones climáticas propicias para la implantación de este tipo de estructuras. Así sería factible el empleo de esta tipología proyectual, valiéndose nuevamente de una confluencia de factores muy particular, que tiene el potencial de darle cabida nuevamente durante un período limitado.

No podemos concebir un futuro mejor, si antes no somos conscientes de nuestro pasado y el punto del camino en el que nos encontramos, pues el hombre siempre se halla supeditado a las condiciones del tiempo en el que desarrolla su actividad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arnheim, R. (2001). *La forma visual de la arquitectura*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Cardellach, F. (1970). *Filosofía de las estructuras*. Barcelona: Editores Técnicos Asociados S.A.
- Faber, C. (1963). *Las estructuras de Candela*. México: Compañía Editorial Continental, S. A.
- Fernández Ordóñez, J. A. (1978). *Eugène Freyssinet*. Barcelona: 2C Ediciones.
- García, D. (2014). *Arquitectura digital*. AXXIS.
- Mas-Guindal Lafarga, A. J. (2011). *Mecánica de las estructuras antiguas o cuando las estructuras no se calculaban*. España: Munilla-Lería.
- Nervi, P. L. (1961). *Relations entre architectes, ingénieurs et constructeurs*. L'architecture d'aujourd'hui.
- Rui-Wamba, J. & Fernández Alba, A. (2003). *Eugène Freyssinet un ingeniero revolucionario*. España: Fundación Esteyco.
- Rui-Wamba, J. (2007). *El pretensado como instrumento de diálogo entre la ingeniería y la arquitectura*. España: Hormigón y Acero.
- Strike, J. (2004). *De la construcción a los proyectos: la influencia de las nuevas técnicas en el diseño arquitectónico, 1700-2000*. España: Editorial Reverté.
- St. John Wilson, C. (1995). "Building ideas". *The Architect's Journal*, 195(9).
- Torroja Miret, E. (1957). *Razón y ser de los tipos estructurales*. Madrid: Instituto Técnico de la Construcción y el Cemento.
- Zevi, B. (1951). *Saber ver la arquitectura*. Buenos Aires: Poseidón.

9. Gráfico realizado por la OCDE comparando los salarios mínimos de varios países (US\$ por hora). Datos publicados en *Business Insider*.

