

# Paraboloides hiperbólicos en España. Las aplicaciones industriales

Rafael García García

Los ejemplos que aquí se tratan corresponden fundamentalmente a construcciones de paraboloides no singulares, es decir aquellas en las que se buscó una optimización y economía basadas generalmente en la repetición, y que corresponden a aplicaciones en edificaciones industriales. Para éstas, la década de los años 60 fue un periodo en que los paraboloides de hormigón se mostraron competitivos con otras soluciones, iniciando un cierto despegue en su aplicación en España. No se considerarán aquí por tanto las realizaciones más expresivas o artísticas con paraboloides hiperbólicos surgidas fuera del ámbito utilitario o industrial y a las que se les ha prestado habitualmente más atención en diferentes publicaciones.<sup>1</sup>

Anticipando el contenido a desarrollar, las soluciones más habituales serán los paraguas de hormigón, tanto horizontales como inclinados. No obstante, como veremos, también en algunos casos las soluciones industriales alcanzaron cierta excepcionalidad apartándose de las más repetidas o estándar. Ésta últimas encontrarán su lugar y su tratamiento particularizado en la parte final de este trabajo.

Nuestro estudio solo toma en consideración las soluciones encontradas o publicadas, siempre casos contruidos, ya que el objetivo es el análisis de lo efectivamente realizado en este campo. Se contrapone en cierto sentido y es complementario por tanto a las exposiciones teóricas o especulativas acerca de lo factible con paraboloides hiperbólicos, normalmente con gran énfasis en sus posibilidades de combinatoria geométrica.

## LA REALIZACIÓN PRÁCTICA

Como se ha adelantado, en España la solución más habitual y difundida para cubrición de espacios extensos y diáfanos con paraboloides fue el característico paraguas de hormigón, conformado por cuatro paraboloides de bordes rectos formando un cuadrado con un único soporte en su centro. Cada paraboloide cuadrante tiene dos bordes horizontales y otros dos inclinados convergentes en el soporte (figura 1). La configuración así constituida es fácil de repetirse por yuxtaposición, dando lugar a cubiertas con posibilidad de extenderse en las dos direcciones y su forma desde el interior, lisa, suavemente alabeada y descendente hacia el centro, conforma su rasgo más típicamente diferenciador a la vez que de interés estético.<sup>2</sup>

Una idea general de sus características y ventajas nos la ofrecen los arquitectos José Enrique Ruiz-Castillo y Ricardo Urgoiti fundadores de Construcciones Laminares S.L., empresa de referencia en España dedicada a este tipo de estructuras y con la que se realizó un importante conjunto de obras por todo el país.<sup>3</sup> Ambos arquitectos la fundaron tras un periodo de estudio en México con Félix Candela, especializándose en ellas a su regreso.

Siendo estudiantes nos llamaron especialmente la atención las espectaculares obras de Félix Candela. Al terminar nuestros estudios la Fundación Juan March nos concedió una beca para trasladarnos a México y familiarizarnos allí con los problemas de cálculo y ejecución de estas nuevas formas estructurales.

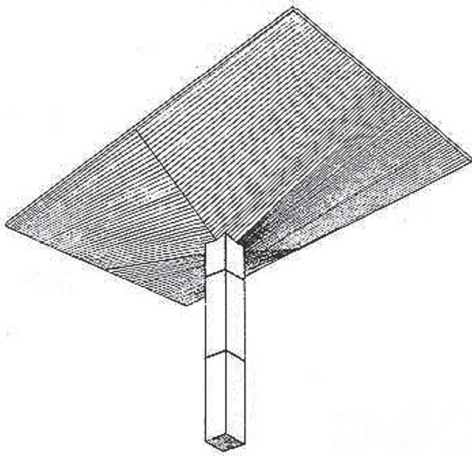


Figura 1  
Paraguas base formado por cuatro paraboloides (López Díaz 1977: 50)

Durante cuatro meses abusamos de la amabilidad y sentido pedagógico de Félix Candela, que puso a nuestra disposición todos los datos referentes a sus trabajos; nos orientó en el cálculo de nuevas estructuras y acompañó a sus obras. (Ruiz-Castillo y Urgoiti 1964: 32)

A través de dicha empresa actuaron en ocasiones como autores de los proyectos pero en otras solo como consultores o como contratistas. En dos artículos publicados en las revistas *Arquitectura* (Ruiz-Castillo y Urgoiti 1964) y *Hogar y arquitectura* (Ruiz-Castillo 1966) expusieron sus principales consideraciones sobre los paraguas formados con paraboloides.

Entre las ventajas por ellos señaladas estarían: economía por el poco peso debido al reducido espesor material de la lámina y, consiguientemente, sencillez y ligereza de la cimbra inferior; armados de una sola capa; notable rapidez de ejecución y desgüe óptimo por el centro sin necesidad de canales. Todo ello, no obstante, y siguiendo a los mismos autores, supeditado al afinado en el cálculo, al estudio de la organización de la obra y al correcto control de la ejecución, que serían esenciales para este tipo de obras. En su opinión, requerían no solo un importante nivel de especialización de sus técnicos, sino también una gran concentración del esfuerzo profes-



Figura 2  
Encofrado y cimbra rodante (Ruiz-Castillo 1966: 31)

sional: «La persona capaz de diseñar láminas, debe dedicarse de lleno a ello abandonando muchos otros trabajos que le distraen de esta especialidad». (Ruiz-Castillo 1966: 37)

Respecto a su rango de aplicación, recomiendan un tamaño máximo de 200 m<sup>2</sup> – superficies mayores conllevarían grandes volúmenes inútiles por su curvatura y obligarían a nervios en los bordes – haciendo la distinción entre obras pequeñas (superficie menor de 2500 m<sup>2</sup>) y grandes (mayor de 2.500 m<sup>2</sup>). Esto último tendría consecuencias en cuanto al número de cimbras desplazables a utilizar, fijadas en dos en las obras pequeñas y tres en las grandes. Cada cimbra móvil correspondería a un cuarto de paraguas soportándose en 8 ruedas de goma rodando sobre la solera acabada (figura 2). La superficie de encofrado se formaría con tablillas de 5 cm.<sup>4</sup> Mediante acelerantes de fraguado el desencofrado se realizaría a las 36 horas y a su vez, la doble curvatura sería un factor que facilitaría asimismo el desencofrado. En sus detalladas descripciones, y a modo de ejemplo, proporcionan un plan de obra con indicación de rendimientos y detalles de ejecución sobre la experiencia de obras realizadas (Ruiz Castillo y Urgoiti 1964: 33). En los comentarios de una obra concreta (Barajas) refieren un plazo de ejecución de un mes para la cubrición de 2.160 m<sup>2</sup> (18 paraguas de 12 × 10 m).

Pese a lo anterior indican también que este tipo de obras aceptan importantes tolerancias de ejecución, siendo mucho más importantes que el estricto control de espesores la buena concepción y la planificación de las operaciones. Por otra parte, como destacada variante describen la disposición de paraguas con dos

lados inclinados, conformando así naves en diente de sierra, de las cuales tendrían también amplia experiencia. En ellas además, «La iluminación que se consigue en el interior de la nave es de una intensidad y uniformidad excelentes» (Ruiz-Castillo y Urgoiti 1964: 34). Paraguas de bordes horizontales y en diente de sierra conforman por tanto los dos tipos estándar que trataremos a continuación.

#### NAVES CON PARAGUAS HORIZONTALES

En las observaciones realizadas a partir de ejemplos publicados o existentes con paraguas de esta clase en España hemos encontrado que el rango de superficies cubiertas por elemento osciló entre los excepcionales  $324 \text{ m}^2$  ( $18,5 \times 17,5 \text{ m}$ )<sup>5</sup> en del concesionario de automóviles en Miller Bajo, Las Palmas, obra del arquitecto Luis Fernando López Díaz y el más reducido de dimensiones aproximadas  $9,25 \times 8,75 \text{ m}$  y construido curiosamente en un ángulo de esa misma cubierta (López Díaz 1977) (figura 3).<sup>6</sup> Ordenados por superficies (aproximadas) los ejemplos analizados, obtenemos la siguiente relación:

superficie (m <sup>2</sup> )	dimensiones (m)	estructura
324	18,5 × 17,5	Miller Bajo
196	14 × 14	Kas
162	18,5 × 8,75	Miller Bajo
180	22,5 × 8	Oliva
150	15 × 10	Frigo
144	16 × 9	Fuentes de Oñoro
100	10 × 10	Madofa / Butano Villaverde
81	9,25 × 8,75	Miller Bajo

Es interesante también apreciar que las proporciones de los rectángulos cubiertos varían entre los valores 1:1 (cuadrado o casi en tres ejemplos) y 2,8: 1 en su caso más extremo. Éste último es el correspondiente a las naves de la fábrica de refrescos en Oliva, Valencia, de los arquitectos Pablo Pintado e Ignacio Faure, con módulos de  $8 \times 22,5 \text{ m}$ . En esta fábrica se cubrió una de las mayores superficies con paraboloides, con 26 unidades en dos naves ( $20 + 6$ ), todos ho-



Figura 3  
Concesionario en Miller Bajo, Las Palmas (López Díaz 1977: 45)

rizontales, y una superficie total de  $4.700 \text{ m}^2$ .<sup>7</sup> Puesto que las dimensiones de la planta cubierta por módulo coinciden con las de la trama de soportes, la anterior relación nos indica también el ámbito de luces cubierto. La recién descrita tuvo por tanto, la excepcionalidad de separar los soportes  $22,5 \text{ m}$ , creando crujeas paralelas singularmente anchas en este caso (figura 4).

Por otro lado debe indicarse que solo una parte de los paraguas construidos fueron rigurosamente laminares, apareciendo en muchos de ellos, normalmente en los más grandes, importantes nervaduras y refuerzos en su extradós. Estos fueron necesarios en función de las tensiones en bordes libres y valles originadas por el tamaño y la esbeltez. A partir de determinados límites dichas tensiones no se podían absorber dentro del espesor de la lámina y se requirieron los nervios de refuerzo, normalmente a tracción en los bordes y a compresión en los valles. En



Figura 4  
Fábrica de refrescos en Oliva (Pintado y Faure 1966: 17)

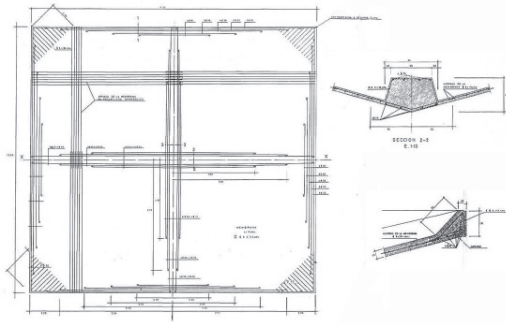


Figura 5  
Planta ejemplo elemento base con refuerzos de armado en bordes y valles, y detalles nervios resultantes (López Díaz 1977: 50)

sus ejemplos más extremos emergen ostensiblemente de la lámina, situándose conjuntamente en los bordes y en forma de cruz sobre la planta (figura 5). En estos casos se obligó además a un relleno en el centro para hacer posible el desagüe en un único punto centrado sobre el soporte. En todas se mantenía sin embargo, la lisura característica de su parte inferior. Evidentemente, aparte de saltarse el prurito de la estricta «laminaridad», esto tenía repercusiones en el coste frente a la sencillez de encofrado y ejecución de las soluciones sin nervios. No parecen apreciarse o apenas sobresalen estos refuerzos, por

ejemplo, en los realizados por la empresa Construcciones Laminares.

Otro aspecto de interés está en la esbeltez o peralte de los paraguas, es decir, la relación entre los lados y el canto (altura desde el centro a los bordes), característica ésta que marcaría en gran parte el grado de «atrevimiento» y la sensación de liviandad y delgadez de los mismos. Es evidente que el carácter más o menos alargado de la planta influye en la esbeltez aumentándola en una dirección y disminuyendo en otra.<sup>8</sup> No obstante, es llamativo que son algunos de los primeros ejemplos construidos de que tenemos referencia los de mayor esbeltez, en un aparente deseo de situarse ya casi desde el principio al límite de las posibilidades constructivas. Es el caso por ejemplo del paraguas único construido en la gasolinera del puesto de aduanas de Fuentes de Oñoro, Salamanca firmada por el arquitecto Julián Navarro Gutiérrez, con planta de  $16 \times 9$  m ( $144 \text{ m}^2$ ) y canto de 1,1 m (Navarro 1961). Esta cubierta, por su fecha de publicación una de las primeras de este tipo construida en España, da una esbeltez de 14,5 y 8,2 respectivamente en las dos direcciones, bastante por encima de los aproximadamente 6 que se verán después como media en las soluciones más estándar. A ello hay que sumar la extrema sensación de ligereza derivada del reducido espesor de 4 cm, aumentado a 5 en el borde para alojar armaduras de refuerzo, todo ello sin nervaduras en el extradós (figura 6).<sup>9</sup>

También notables por su esbeltez y ejecución relativamente temprana, son los paraguas de la antigua

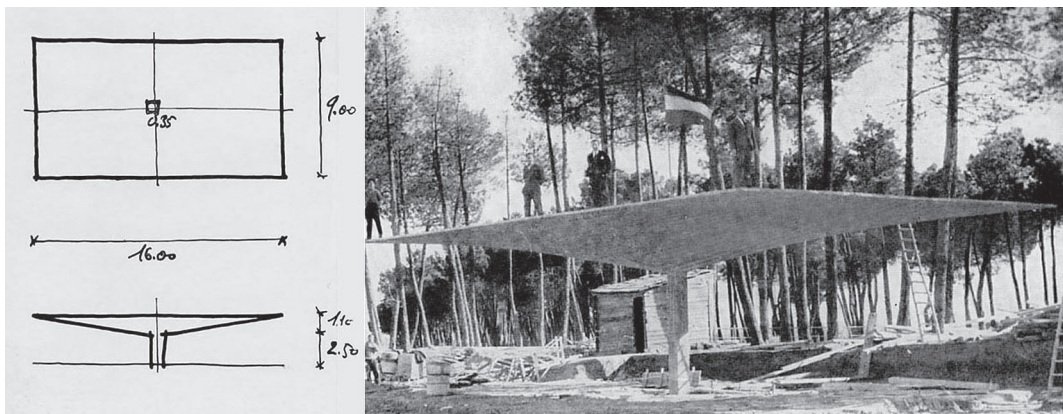


Figura 6  
Fuentes de Oñoro, dimensiones y evidencia de su resistencia tras el desencofrado (Haro 1963)



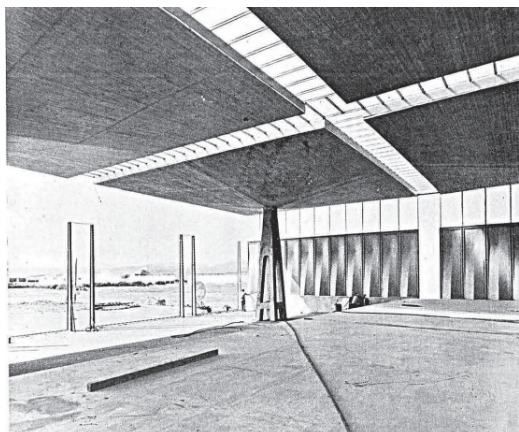


Figura 7  
Refrescos Knörr Elorza (Kas). Montaje cerramiento y modularidad (Fargas y Tous 1964: 25)

fábrica de refrescos Kas en Vitoria (hoy convertida en tanatorio) de los arquitectos J.M. Fargas Falp y E. Tous Carbó (Fargas y Tous 1964; Fargas y Tous 1965). Con 20 unidades de  $14 \times 14$  m ( $196 \text{ m}^2$ ) se cubría una planta en L de  $3.600 \text{ m}^2$  con la particularidad de que cada elemento estaba separado del resto dejando cesuras acristaladas en el techo para iluminación. El módulo base de todo el proyecto era de aproximadamente 1,27 m, justo el ancho de la indicada separación, correspondiendo 11 módulos al lado de cada paraguas (figura 7). Con un canto deducido a partir de planos de 1,15 m la esbeltez es de 12, muy notable para una planta cuadrada.<sup>10</sup> Sin embargo, la inspección de su extradós delata nervios en cruz que en realidad pueden considerarse prácticamente tirantes al mantener la horizontalidad en su parte superior.<sup>11</sup> Con dicha esbeltez (aunque conseguida quizás de forma no ortodoxamente laminar) el resultado interior es espectacular, a lo cual colabora también el efecto estético de las bandas de luz en el techo y los especiales soportes cuatripartitos inclinados reunidos en el punto de apoyo. En el que es quizás el ejemplo más logrado de expresividad de paraguas sencillos con paraboloides encontrado en España, ha de resaltarse además la clara percepción de independencia de los paraguas respecto a los cerramientos, ya que lógicamente son auto-estables y no cargan sobre ellos. En este caso dicho carácter de independencia queda subrayado por las grandes ban-

das acristaladas horizontales continuas con que se remata el cerramiento y que enfatizan aún más el efecto «aéreo» de la solución desde el interior.<sup>12</sup> Debido a la presencia de un entresuelo en parte de la planta, las posibilidades de visión interior de los paraguas son además singularmente variadas, al poder contemplarse desde diferentes alturas.

A modo de comparación, una solución que frente a la anterior puede considerarse más típica –y por tanto de más reducidas dimensiones–, podría ser la de los 10 paraguas horizontales del centro de distribución de gas Butsir en las cercanías de Villaverde Bajo, Madrid, con elementos de  $10 \times 10$  m y realizada por Construcciones Laminares (Azpiazu y Carazo 1968). Con proyecto del arquitecto José Ramón Azpiazu y del ingeniero Bernabé Carazo, la esbeltez estimada a partir de los planos de su publicación, es tan solo de 6,5. Esas mismas dimensiones de elemento ( $10 \times 10$  m) son las de la fábrica Madofa S.A. en Vilafranca del Penedés, Barcelona, con 30 unidades cubriendo una planta de  $60 \times 50$  m y esbeltez y espesores similares: 6,1 y 6 cm de espesor medio, respectivamente (Cosp 1965). No obstante, ésta presenta la singularidad de que dos bandas paralelas de 4 unidades cada una en su interior están elevadas sobre el resto a fin de proporcionar iluminación natural. La solución pese a su sencillez ofrece una combinación única no repetida en ningún otro ejemplo de paraboloides horizontales que hayamos encontrado (figura 8). Además vuelve a aparecer la banda superior continua de acristalamiento en fachada que además de realzar la auto-estabilidad de los paraboloides, posibilita, al igual que en la fábrica Kas, su visión por transparencia desde el exterior, especialmente de noche y con iluminación artificial.<sup>13</sup>

Respecto al efecto de «vuelo libre» tan característico de estas soluciones, lógicamente éste es especialmente apreciable en los ejemplos de paraguas exentos sin cerramiento como ocurre en los citados de Fuentes de Oñoro o en la planta de llenado de gas Butsir. No obstante también es muy notable en ejemplos en que los grandes paraguas rebasan la superficie encerrada, quedando los paraboloides en gran parte al aire y volando literalmente sobre las fachadas. Este efecto puede apreciarse muy nítidamente por ejemplo en el caso del concesionario de automóviles en Miller Bajo, más arriba mencionado (figura 3), y también en la fábrica de helados Frigo que estudiaremos más adelante (figura 14), ambos del mismo arquitecto.

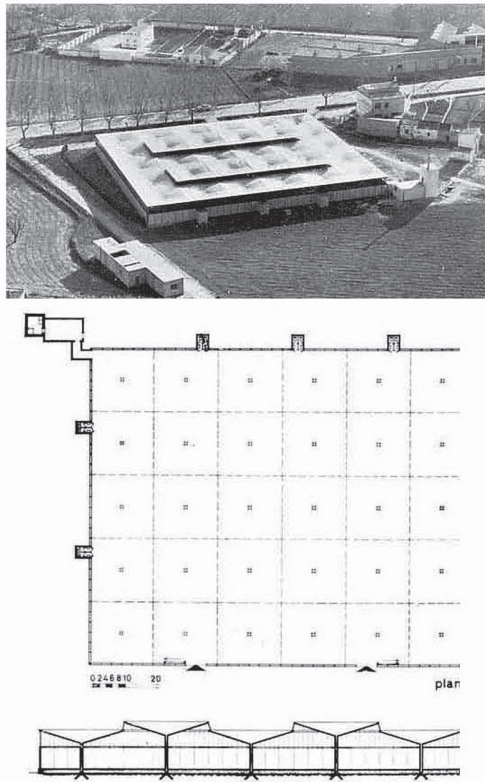


Figura 8  
Madofa. Vista aérea y planta incompleta (Cosp 1965: 24).

### SHEDS LAMINARES

La solución de paraguas inclinados a efectos de conformar naves en diente de sierra tiene, en la mayoría de sus ejemplos encontrados, la firma de Construcciones Laminares. De hecho, un ejemplo tipo a modo de propuesta comparativa con otras soluciones es presentado en uno de los artículos mencionados de Ruiz-Castillo (1966). Se trata de un caso de dimensiones relativamente reducidas –8 m de lado– y muy poca esbeltez – $8 \text{ m} / 2,125 \text{ m} = 3,76$ – y por ello sugerido presuntamente como solución económica, aunque con un acusado desnivel de 1,75 m entre bordes opuestos. Este desnivel es por tanto la altura libre para el lucernario vertical entre paraboloides. Se señala igual que para los casos horizontales un espesor de losa de 4 cm, aunque el dibujo muestra en sección

una variación continua de espesor desde el centro hacia el borde, más afilado. También es de destacar que la cimentación propuesta es resuelta de forma laminar con paraguas invertidos, pero ahora con un espesor indicado de 15 cm. La práctica de este sistema de cimentación es visible también en los planos de la fábrica Madofa, antes mencionada.<sup>14</sup>

Ejemplos con paraguas-shed, todos ellos con intervención de Construcciones Laminares, son: la nave-taller de la escuela de formación profesional de los PP. Salesianos en la calle Hermanos García Noblejas, Madrid; una nave en el polígono industrial de Barajas, Madrid, esquina calles Diciembre y Agosto y otra en Alcobendas, Madrid, calle Sepúlveda c/v calle Electrónica.<sup>15</sup> También con paraguas inclinados está la fábrica Tecosa en La Carolina, Jaén, avenida de Barcelona, aunque en este caso realizada por Agromán y Construcciones y Cubiertas, S.A.

De todas las anteriores, la de paraguas más pequeños es la escuela de Salesianos del arquitecto Miguel Oriol (Ruiz-Castillo y Urgoiti 1964). La nave comienza con un grupo de 6 unidades horizontales ( $3 \times 2$ ) de  $11,40 \times 7,50 \text{ m}$  y se continúa con 18 unidades inclinadas ( $3 \times 6$ ) de  $11,40 \times 10 \text{ m}$  situadas a un nivel más bajo que las anteriores y formando la verdadera shed (figura 9). El final, tal como fue publicado, lo forman otras 3 unidades inclinadas, de nuevo más altas para albergar un altillo interior, aunque se aprecia la adición posterior de otras cuatro unidades de  $11,40 \times 7,50 \text{ m}$ , no reflejadas en el artículo.<sup>16</sup> Estas son aún más elevadas, conformando dos volúmenes inclinados contrapuestos en el extremo norte. Para las unidades mayoritarias, cuyo punto de apoyo se sitúa a 4 m de altura, el espesor es de 4 cm, apreciándose no obstante en el dibujo, un afilado de la sección similar al indicado en la propuesta tipo antes comentada. El lado inclinado es el menor (10 m) y la esbeltez 5,9. El desnivel entre lados es 1,40 m correspondiente como ya se indicó, a la altura de lucernarios. Aunque el cerramiento es de paños de ladrillo, también se pretendió dar a entender la naturaleza independiente de la cubierta respecto de la fachada. Por una parte se rasgaron huecos verticales que fragmentan el muro y lo hacen poco adecuado como elemento resistente, y por otra se han dejado en su coronación triángulos acristalados bajo el borde de la lámina que indican así mismo su independencia a la vez que mejoran la iluminación.

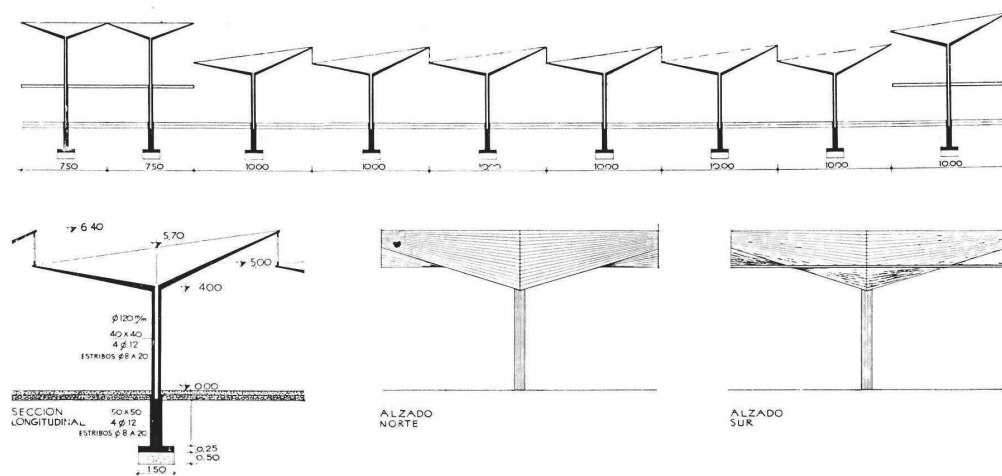


Figura 9  
Escuela de Salesianos, sección longitudinal y paraguas base (Ruiz Castillo y Urgoiti 1964: 34)

La nave de Barajas está formada por 18 elementos ( $3 \times 6$ ) de  $12 \times 10$  m también con el lado menor inclinado. Las fachadas laterales, hoy bastante alteradas, son también de ladrillo, pero aunque revisten todo el diente de sierra, ofrecen así mismo alguna indicación de la independencia de la cubierta: en la planta baja hay un ventanal horizontal continuo y en la primera una sucesión totalmente regular de ventanas horizontales pero sin concordancia con el ritmo de la cubierta. Algo mayores,  $12,5 \times 12,5$  m, los elementos de la nave de Alcobendas, firmada por el arquitecto Enrique Nuere, conforman un rectángulo de solo 8 unidades ( $2 \times 4$ ). En dicha nave vuelve a verse el acristalamiento continuo coronando las fachadas por encima de un cerramiento ciego. Finalmente, la nave de Tecosa en la Carolina, de los arquitectos Fernando Higuera y Antonio Miró, es la de elementos mayores ( $15 \times 10$  m) cubriendo una planta también rectangular de 20 unidades ( $5 \times 4$ ) (Higuera, Miró 1970). También aquí es el lado menor el inclinado, presentando una solución de fachadas laterales similar a la escuela Salesiana de Madrid. La excepción la ofrece la primera fila de elementos, algo más elevada que el resto y que actúa de cubierta del cuerpo delantero de dos pisos para administración y servicios, volando además ligeramente sobre su fachada principal.

#### VARIACIONES

Entre las soluciones singulares de paraboloides hiperbólicos de carácter industrial o utilitario encontramos que se apartan de las de tipo estándar o repetitivo de paraguas simples, un caso especial por su función representativa lo fue la marquesina de la hoy desaparecida (en 2007) factoría Gabilondo y Cía en Vitoria construida en 1963 por el arquitecto Ignacio Lasquibar. Su planta, levemente trapecial, estaba cubierta por dos paraguas ligeramente inclinados de aproximadamente  $14 \times 5$  m apoyados en soportes centrales redondos y tocando las láminas la fachada en sus dos bordes traseros, situados más bajos. Aunque puede verse como un nuevo caso de paraguas simples, lo resaltable y singular serían los sutiles matices indicados, como las inclinaciones o la forma en planta, que junto con el leve desplazamiento desde el centro hacia atrás de los soportes, reforzaban la expresividad y carácter de acogida de este porche laminar.

Con una solución totalmente distinta se resolvieron las cubiertas para una estación de servicio en Oliva, Valencia, del arquitecto Juan de Haro (Haro 1963). La singularidad estriba en que se trata de unidades de paraboloides de planta cuadrada pero apoyados exclusivamente en dos de sus vértices. Son por

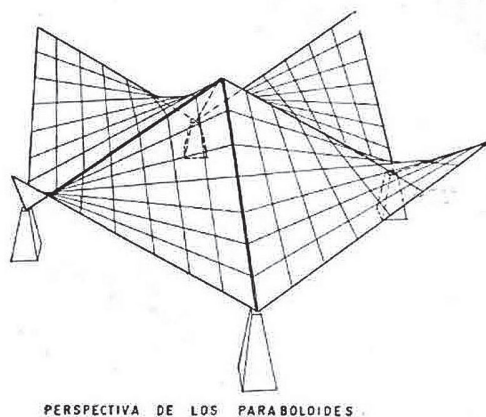


Figura 10  
Gasolinera en Oliva. Conjunto central de cuatro unidades  
(Haro 1963: 31)

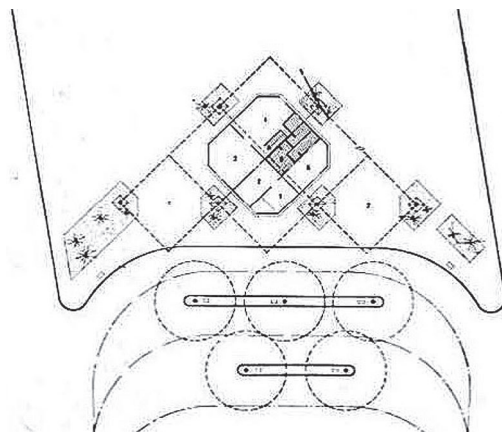


Figura 11  
Gasolinera en Oliva. Planta con las seis unidades (Haro 1963: 30)

tanto unidades delimitadas por bordes rectos conformando cada una un cuadrilátero alabeado equilátero. A su vez, cada paraboloides se une al contiguo por un lado reuniéndose en total cuatro en la parte central y con otros dos sobresaliendo simétricamente del cuadrado formado por los cuatro anteriores (figuras 10 y 11). Seis elementos en total que producen dentro de su sencillez un efecto de notable variedad. El lado estimado es de 7,5 m, con lo que se producen vuelos aproximados de 5,3 m (longitud de las semidiagonales) marcados por las formas puntiagudas y en elevación de los bordes libres. La altura de los vértices libres respecto a los de apoyo es también de 5,3 m. Estos paraboloides estaban apoyados en seis soportes en tronco de pirámide de altura algo inferior a 2 m, y servían de porches y cubrición de la parte cerrada de la gasolinera, dejando para la parte de vehículos una solución diferente y también singular formada por cinco «setas» autónomas, aunque sin conexión con lo laminar al ser concebidas como placas circulares horizontales.<sup>17</sup>

El cierre de este apartado lo proporciona la estructura correspondiente a la fábrica Frigo situada en Jinámar, Las Palmas de Gran Canaria, y que incluye paraguas convencionales junto con una nueva configuración original compuesta de doce paraboloides unidos entre sí en diferentes disposiciones. Con diseño del arquitecto Luis Fernando López Díaz (1970;

1974) y la intervención de Ramón Ramos Steffens en el cálculo de la estructura,<sup>18</sup> las unidades convencionales eran 12 separadas en dos partes (8 y 4) como cubrición de naves para cartonaje y materias primas respectivamente y con dimensiones por elemento de 15 × 10 m, todas ellas de tipo horizontal. Entre las mismas se situó la nave de producción, formada por una única cubierta cuadrada de 30 × 30 m soportada por cuatro únicos soportes remetidos, la cual conformaría la solución de paraboloides más singular de cuantas parecen haberse construido en el ámbito industrial en España (figura 12).

Dicha cubrición se constituye con una parte central formada por cuatro paraboloides «en pabellón», o sea formando dos líneas de coronación horizontales y cruzadas y con sus puntos más bajos en las esquinas coincidiendo con los apoyos, y otra en el perímetro con otros ocho en torno a los anteriores creando el vuelo de dicha estructura.<sup>19</sup> Estos últimos también se definen como cuadriláteros alabeados y su geometría permite evolucionar desde los bordes inclinados del pabellón central hacia un borde horizontal continuo en todo el perímetro. Hay un juego muy original en esta disposición que da lugar a que los soportes se sitúen en las «simas» de este «paisaje» de paraboloides y que además el número de cuadriláteros concurrentes sobre los soportes sea de solo tres. Esta cubierta, intermedia en planta entre las de



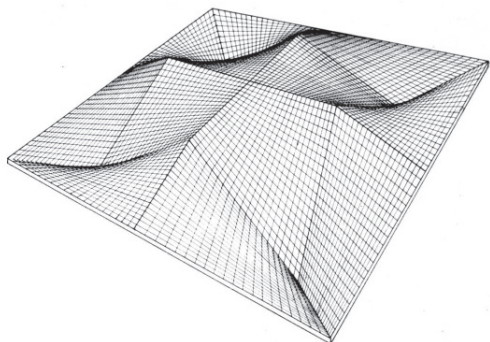


Figura 12  
Fábrica Frigo, Jinámar. Cubierta central con 12 paraboloides. Cortesía de L.F. López Díaz

paraboloides convencionales, se dispuso también a una altura intermedia entre ellas, ya que en su escalonamiento seguían la diferencia de cotas del suelo para aprovechar la fuerza de gravedad en el proceso de producción. Todos los paraboloides de la fábrica se construyeron con refuerzo en sus bordes y aristas con secciones de nervios que llegan a  $60 \times 60$  cm en algunas aristas y  $60 \times 30$  cm en bordes.

De esta solución son notables también los cuatro soportes, diseñados con sección variable que evoluciona desde un cuadrado en la parte inferior hacia un triángulo isósceles en su parte superior de apoyo de la lámina. La mencionada transición ocasiona tanto superficies triangulares planas como alabeadas dando un acusado protagonismo a este elemento destacable también por la altura (c.10,5 m) de dos de ellos (figura 13). Curiosamente, sin embargo, y frente al espectacular aspecto del interior de esta nave cuadrada central, la imagen expresiva al exterior la proporcionan exclusivamente los vuelos libres de los paraboloides convencionales, ya que los paraboloides de la central no se trasdosan ni son visibles desde fuera (figura 14).

Es evidente el interés dado a lo laminar en esta fábrica ya que no solo se usó en las cubiertas sino que también se aplicó a los cerramientos laterales de la nave central, concebidos «mediante una membrana de hormigón translúcido en forma de conoide, cuya base inferior se sitúa en una línea sinusoidal y la superior (encuentro con la cubierta) es una

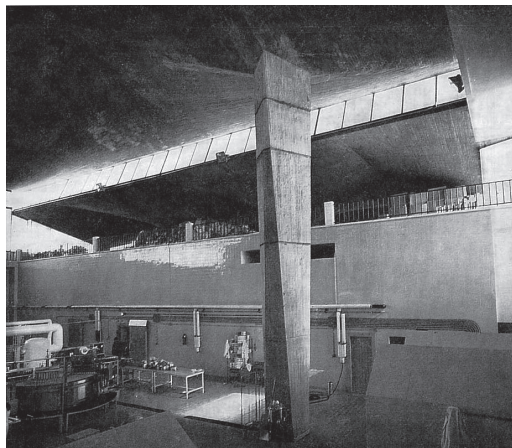


Figura 13  
Fábrica Frigo. Soporte de la nave central (López Díaz 1974: 69)

línea recta» (López, Sáez 1970). Así mismo se empleó una solución laminar en la cámara de vapor «que por razones de seguridad va aislada del edificio», dándosele «forma de hiperboloide de revolución, con una cubierta de cristal, a fin de que en caso de producirse alguna explosión saliese hacia arriba» (López, Pérez y Ramos 1974: 66). Este hiperboloide exento, hoy muy deteriorado, tenía un radio en su base de 6,55 m, una altura de aproximadamente 8 m y espesor medio de 7 cm y conformaba, con su imagen de torre de enfriamiento en miniatura, un contrapunto a la dominante «familia» de paraboloides de la cubierta (figura 14).

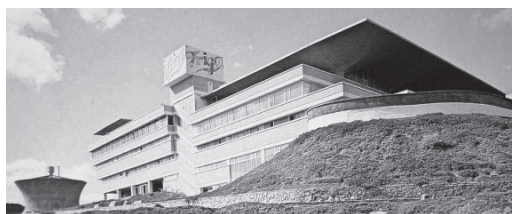


Figura 14  
Fábrica Frigo. Paraboloides en vuelo y cámara de vapor exterior en hiperboloide de revolución. Cortesía de L.F. López Díaz

## CONCLUSIONES

- Las cubiertas formadas por paraboloides de hormigón en usos industriales, aunque más extendidas que en otras aplicaciones, constituyen a pesar de todo un conjunto de obras relativamente limitado y singular que testimonia una técnica constructiva específica empleada en España en un periodo concreto que se reduce a la década de los años 60 del siglo XX y parte de los 70.
- Por lo anterior, debería considerarse su valor patrimonial industrial, único en muchos casos, como ejemplos irrepetibles de una técnica ya en desuso que generó espacios de gran calidad arquitectónica.
- El carácter diáfano y autónomo de su configuración en paraguas permite una gran flexibilidad de uso, originando espacios hipóstilos casi universales, que facilitan su fácil adaptación y reutilización para nuevos cometidos diferentes a los iniciales.
- Estos elementos laminares se construyeron con un amplio rango de dimensiones y esbelteces que en bastantes ocasiones se aproximan a las mejores realizaciones del ámbito internacional.
- Desde el punto de vista del análisis estructural, la variedad de lo construido constituye una base de experiencia real que puede ser utilizada para estudios o desarrollos ulteriores.
- El conocimiento de sus principales realizaciones ha permitido aproximarnos a su verdadera difusión en España y también a la autoría de gran parte de ellas, destacándose figuras que como Urigoiti, Ruiz-Castillo o López Díaz, tuvieron un protagonismo fundamental en nuestro país.
- Podría añadirse también que aunque restrictivos respecto a las posibilidades generales de los paraboloides hiperbólicos, los de bordes rectos empleados predominantemente en el ámbito industrial, presentan cualidades únicas de coordinación mutua aportando además un llamativo y sutil efecto abovedado fácilmente integrado en el orden ortogonal característico de los espacios industriales.

## NOTAS

1. Entre los referidos ejemplos singulares estarían de forma destacable las iglesias de Nuestra Señora de Guadalupe (comenzada en 1963) de Enrique de Mora y José Ramón Azpiazu, con colaboración de Félix Candela; la de Nuestra Señora del Valle en Becerril de la Sierra, Madrid (1964-67), de Francisco Coello de Portugal, con Urigoiti y Ruiz-Castillo, y la de San Paio de Navia, Vigo (1969) de Román Conde, también con Urigoiti y Ruiz-Castillo.
2. Félix Candela construyó en 1953 en México el que es considerado como primer paraguas con cuatro paraboloides hiperbólicos. Se trató de un prototipo de 33 × 33 pies (10 × 10 m), altura —entre el centro y los bordes— de 3 pies (0,9 m) y espesor 1,5 pulgadas (aprox. 4 cm). Una célebre fotografía muy divulgada con 25 obreros sobre un esbeltísimo paraguas recién construido corresponde a otro paraguas experimental en Las Aduanas, México, de 26 × 26 pies pero solo 2 pies de altura (Faber 1963: 62-63).
3. La prometedora trayectoria de la empresa quedó sin embargo truncada por la trágica muerte de Ricardo Urigoiti a manos de unos asaltantes en su propio estudio, causa que dio lugar a la desaparición de la empresa. Agradecemos a Enrique Nuere la amabilidad de transmitirnos este dato y sus recuerdos acerca de Ruiz-Castillo y Ricardo Urigoiti, compañeros de carrera y colaboradores suyos en la obra que se menciona en este trabajo.
4. Frente al sistema de tablillas se señala el uso habitual de tableros contrachapados en USA con capacidad de adaptarse a las curvaturas (Ruiz-Castillo 1966).
5. Los paraguas más grandes de los que disponemos información corresponden a la cubierta de la planta de potabilización de agua de Berenplaat, Países Bajos, 1959-65, del arquitecto W.G. Quist. Se trata de un conjunto de 20 unidades cercanas a los 22 × 22 m. cada una, aunque con una esbeltez bastante reducida, aproximadamente 4:1 (Wieschemann 1969). Los más grandes realizados con asesoramiento de Candela parecen ser los del mercado mayorista de Jamaica, con dos series separadas de 12 paraguas de 60 × 60 pies (18 × 18 m) cada una, realizados en 1956-57, y mucho más esbeltos que los anteriores (Faber 1963: 122-23) (ver nota 9).
6. Dicha cubierta, probablemente una de las más tardíamente construidas de este tipo, está formada por 6 módulos grandes (3 × 2) ampliados en dos lados por 5 paraguas alargados (3 + 2) de mitad de superficie y en la esquina el paraguas menor antes referido de una cuarta parte de superficie. En conjunto cubren una superficie rectangular horizontal de casi 3000 m<sup>2</sup>.
7. Con proporciones alargadas Candela construyó su ejemplo más importante en los almacenes Río en Colo-

- nia Vallejo, al norte de Méjico DF, en 1956-57, con unidades de  $26 \times 80$  pies ( $7,9 \times 24$  m), en este caso además, ligeramente inclinados sus lados menores (Faber 1963: 116-17).
8. En rigor, la esbeltez crítica de un paraguas no está en la relación «luz/canto (o altura)», sino en la «superficie cubierta en vuelo/canto» teniéndose así en cuenta la elongación de la planta (Faber 1963: 123).
  9. Otra cubierta de paraguas aislado se construyó en Sevilla, según se indica en una fotografía comentada en la revista *Temas de Arquitectura* 1963, n.47, p.34, aunque sin ninguna otra referencia.
  10. En los primeros paraguas experimentales con planta cuadrada (nota 2), Candela obtuvo esbelteces de 11 y 13 respectivamente, si bien con dimensiones no superiores a  $10 \times 10$  m. En su ejemplo de Jamaica (nota 5) la esbeltez fue de 6 para paraguas de  $18 \times 18$  m, aunque sin ningún nervio de refuerzo. Al apreciarse notables deformaciones en los bordes Candela confesó: «en este caso me temo que hemos sobrepasado los límites» (Faber 1963: 123).
  11. Según las secciones disponibles, la solución del desagüe parece resolverse en este caso mediante holgados escotes inferiores en los nervios en el punto de cruce.
  12. Es de interés también la solución de los paneles opacos de cerramiento, constituidos con láminas delgadas verticales formadas así mismo por paraboloides de hormigón, cuyo efecto de pliegue en la base los hace autoestables. Dichos paneles corresponderían al grupo de soluciones de paraboloides en paramentos verticales y de los que su ejemplo más destacado son los de la torre de oficinas de los desaparecidos laboratorios Jorba de Miguel Fisac.
  13. Sin referencias publicadas, otro ejemplo de paraboloides horizontales se encuentra en la calle Narciso Monturiol, Valdemoro, junto a la A4. Lo forman 8 unidades ( $4 \times 2$ ) de aproximadamente  $15,5 \times 10$  m.
  14. Candela desarrolló este sistema de cimentación en Méjico, siendo ventajoso en suelos de mala calidad (Faber 1963: 93).
  15. Ruiz-Castillo (1966: 34) da además referencia de otra nave-shed de su autoría como arquitecto junto con Urgoiti aunque sin más información que una foto del interior.
  16. En un ala perpendicular, a lo largo de la calle Braulio Gutiérrez, se construyó también posteriormente una larga cubierta con paraboloides en pabellón.
  17. Según el autor, la realización se produjo tras dos encargos fallidos previos con la misma solución de «setas», pero con diferentes clientes y localizaciones distintas. La solución de paraboloides surgió con la segunda de las empresas como idónea para resolver los problemas de evacuación de agua y nieve que habían tenido con otras soluciones (Haro 1963). Hoy se mantiene restaurada, en servicio y fiel a su estado original.

18. Según información personal de su autor, esta fue la primera estructura con paraboloides de Luis Fernando López Díaz a la que ha seguido una larga serie construida fundamentalmente en edificaciones turísticas. En ellas ha desarrollado métodos de cálculo específicos para disposiciones asimétricas logrando las mayores superficies construidas en láminas de este tipo.
19. El cuadrado central, coincidente con la separación de soportes, es de 20 m y el vuelo perimetral es de 5 m.

#### LISTA DE REFERENCIAS

- Azpiazu Ordóñez, José Ramón y B. Carazo Carazo. 1968. «Planta de llenado de butano en Madrid-España». *Informes de la Construcción*, 201: 55-61.
- Cosp Vilaró, Guillermo. 1965. «Fábrica Madofa. Vilafranca». *Cuadernos de Arquitectura*, 59: 24-25.
- Faber, Colin. 1963. *Candela the shell buider*. Reinhold Publishing Corporation, New York.
- Fargas, Tous. 1964. «Arquitectos Fargas y Tous. Knorr Elorza. S.A.». *Arquitectura*, 71: 24-25.
- Fargas Falp, J. M. y E. Tous Carbó. 1965. «Edificio industrial para Knörr Elorza S.A. de Bebidas Carbónicas». *Cuadernos de Arquitectura*, 59: 14-16.
- Haro, Juan de. 1963. «Estación de servicio en Oliva». *Arquitectura*, 50: 29-31.
- Higuera, Fernando y A. Miró. 1970. «Nave industrial en la Carolina». *Nueva Forma*, 49: 1.
- López Díaz, Luis; C. Pérez Díaz y R. Ramos Steffens. 1974. «Fábrica para Frigo-Canarias, S.A.». *Informes de la Construcción*, 261: 63-72.
- López Díaz, Luis y G. Sáez Aragonés. 1970. «Edificio industrial». *Cuadernos de Arquitectura*, 78: 112.
- López Díaz, Luis. 1977. «Talleres de automóviles en Miller Bajo. Las Palmas de Gran Canaria. España». *Informes de la construcción*, vol. 30, 290: 45-53.
- Navarro Gutiérrez, Julián. 1961. «Paraboloide, en Salamanca». *Informes de la Construcción*, 130.
- Pintado, Pablo e I. Faure. 1966. «Fábrica de Zumos en Oliva». *Arquitectura*, 96: 15-17.
- Registro DCOMOMO ibérico. 2005. *La arquitectura de la industria, 1925-65*. Barcelona.
- Ruiz-Castillo, José Enrique y R. Urgoiti. 1964. «Aplicación de las estructuras laminares en la construcción de naves industriales». *Arquitectura*, 70: 32-34.
- Ruiz-Castillo, José E. 1966. «Consideraciones sobre la ejecución de estructuras laminares de hormigón armado». *Hogar y arquitectura*, 64: 34-40.
- S.a. 1963. «Cubierta de paraboloide hiperbólico. Sevilla». *Temas de Arquitectura*, 47: 34.
- Wieschemann, Paul Gerhard y K. Gatz. 1969. *Edificios de hormigón*, Gustavo Gili, Barcelona.

