

## Usos sutiles de la construcción laminar. Ejemplos en los maestros de la arquitectura moderna

Rafael García García

Las construcciones laminares de hormigón armado abarcan un ciclo de formas estructurales que tuvo su comienzo en el periodo de entreguerras y se desarrolló, alcanzando su máximo auge en cuanto a la cantidad de realizaciones, en las primeras décadas que siguieron a la segunda guerra mundial. Conformaron la, en expresión de Pepa Cassinello, «aventura laminar» (Cassinello 2010), y su abandono progresivo desde comienzos de los años setenta del siglo XX permite percibirlos como algo prácticamente ya cerrado, pese a ciertos intentos recientes de revitalización (Schlaich 2010). Pero esto no es así, en cambio, en cuanto al interés que suscitan en la actualidad y en cuanto al número reciente de trabajos y estudios sobre ellas.

La historia de las formas laminares construidas tendría su origen principalmente en Alemania con las aportaciones de los constructores Zeiss-Dywidag, autores de un sistema de construcción laminar de referencia, y del ingeniero Franz Dischinger quien ya calculó y construyó notables ejemplos previos a la Segunda Guerra Mundial. En otros países, no obstante, figuras como Perret en Francia, Maillart en Suiza, Wiebenga en Holanda y muy destacadamente también Torroja en España, habían así mismo realizado destacadas cubriciones de tipo laminar. En este estadio de desarrollo previo a la guerra, las formas hasta entonces empleadas fueron casi exclusivamente las de tipo esférico y las cilíndricas, aunque Freyssinet ya hacia 1930, construyó soluciones con superficies de conoides. Las aplica-

ciones para estas láminas estuvieron en algunas cubiertas de edificios singulares (planetarios, iglesias, pabellones feriales, algunas tribunas y pabellones deportivos muy significados) pero sobre todo en edificaciones industriales y utilitarias (almacenes, fábricas, talleres, mercados).

El desarrollo posterior a la guerra, se iniciará con un primer impulso en las aplicaciones industriales, dadas sus ventajas competitivas derivadas del ahorro de material, del dominio más generalizado de su técnica y de su estandarización. También conllevó el empleo de algunos tipos de superficies laminares nuevas, como las láminas plegadas, las formas en membrana o los paraboloides hiperbólicos, surgidos todos ellos en un primer momento también como soluciones de uso eminentemente industrial. A ellas se sumaron también las formas colgantes conformando delgados toldos de hormigón, aunque de uso más esporádico. Desde un punto de vista eminentemente técnico dichas soluciones se perfeccionaron y ampliaron gracias a avances como la irrupción del pre y postensado y, así mismo, con las aportaciones de figuras singulares, especialmente desde el campo de la ingeniería. El mismo Torroja aún continuaría con aportaciones significativas, pero también deberían citarse, entre otros, a Heinz Isler (1926-2009) y sus formas derivadas de la membrana elástica o Heinz Hossdorf (1930-2004) y su inventiva estructural y perfeccionamiento de algunas soluciones típicas.

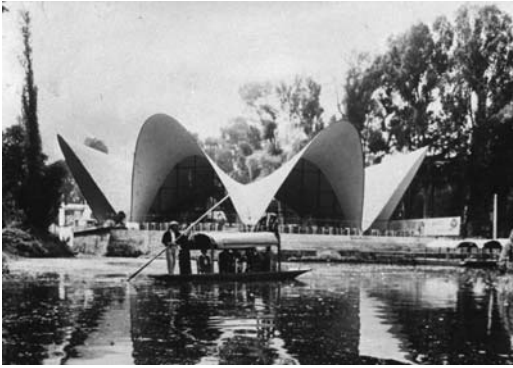


Figura 1  
Restaurante Los Manantiales, Xochimilco. Félix Candela, 1957. Google, foto de *Life*

No obstante, el repertorio de formas básicas encontró pronto también un uso expresivo, enriqueciéndose y adaptándose, principalmente como cubiertas, en edificaciones de gran singularidad. Con ello se amplió notablemente el lenguaje arquitectónico hasta entonces disponible. La figura de Félix Candela es clave en este contexto, en cuanto que supone un nexo entre las aportaciones meramente técnicas y el desarrollo expresivo de la arquitectura. Su dominio constructivo y estructural del paraboloide hiperbólico — aunque en realidad también de muchas otras formas laminares — le puso en condiciones de generar todo un vocabulario formal que finalmente derivó en reconocidas creaciones arquitectónicas. Así mismo, arquitectos como Eero Saarinen, Kenzo Tange y el amplio grupo de los Metabolistas, Marcel Breuer u Oscar Niemeyer realizaron una arquitectura en las que las formas laminares tuvieron también gran protagonismo. El mundo de las entonces llamadas formas libres en arquitectura, se nutrió en buena media de las realizaciones de dichos autores y una serie de obras emblemáticas en que, como el restaurante de Xochimilco de Candela, la terminal TWA en Nueva York y el aeropuerto Dulles de Washington, ambos de Saarinen, las superficies laminares centran todo el interés del espectador, han pasado a formar parte de los iconos de la arquitectura moderna. También se debería recordar aquí por ejemplo, aunque con un efectismo menor, la amplia serie de cúpulas esféricas rebajadas con muy diferentes tipos de apoyos y con-

dicionantes y realizadas según diseños de Tange, Saarinen o Niemeyer, entre otros.

#### CUESTIONES A PLANTEAR

Pero a la vista de lo anterior y dadas la amplia difusión que tuvieron las formas laminares en general y la fascinación concreta que ejercieron sus ejemplos más destacados, parece pertinente hacerse también las siguientes preguntas: ¿Hubo así mismo soluciones laminares en otros arquitectos notables, aunque quizás no de forma tan significativa y visible? Y si así fue, ¿qué grado de protagonismo llegaron a alcanzar en su arquitectura y cómo se incorporaron en ella? Dicha exploración no parece que se haya planteado de forma significativa hasta el momento y será, por tanto, la cuestión a plantear en el subsiguiente desarrollo de este trabajo. Dentro de ella y como casos de estudio, se tomará la obra de Le Corbusier, Alvar Aalto y Louis Kahn, autores que parecen, así mismo, singularmente oportunos para iniciar esta indagación. La integración y asimilación de estos elementos laminares en su obra puede representar un nuevo enfoque, quizás no muy espectacular, pero puede que aún interesante por complejo y sutil.

#### UNA REFERENCIA CONSTANTE

El examen panorámico de la obra de Le Corbusier muestra que prácticamente durante toda su carrera tuvo presente las posibilidades ofrecidas por las nuevas formas curvadas en la construcción. Así, por ejemplo, la idea de abovedados ligeros fue incorporada muy pronto encontrándose entre sus primeras propuestas. Su proyecto no construido de casas Molin de 1919 ya incluye una serie de bóvedas cilíndricas rebajadas con apoyos en soportes interiores (cuadrados) y exteriores (cilíndricos). Con algo de colaboración por parte de los muros testers parece viable y es notable que indicaciones de espacios abovedados también aparezcan en otros dibujos de la época, como en la perspectiva interior de un estudio de artista de hacia 1922. Lo notable es que este tipo de espacios abovedados fueron finalmente construidos, precisamente en su propia casa. Esto es lo que puede verse en el ático que reservó como vivienda y estudio propio en su inmueble de Porte Molitor en

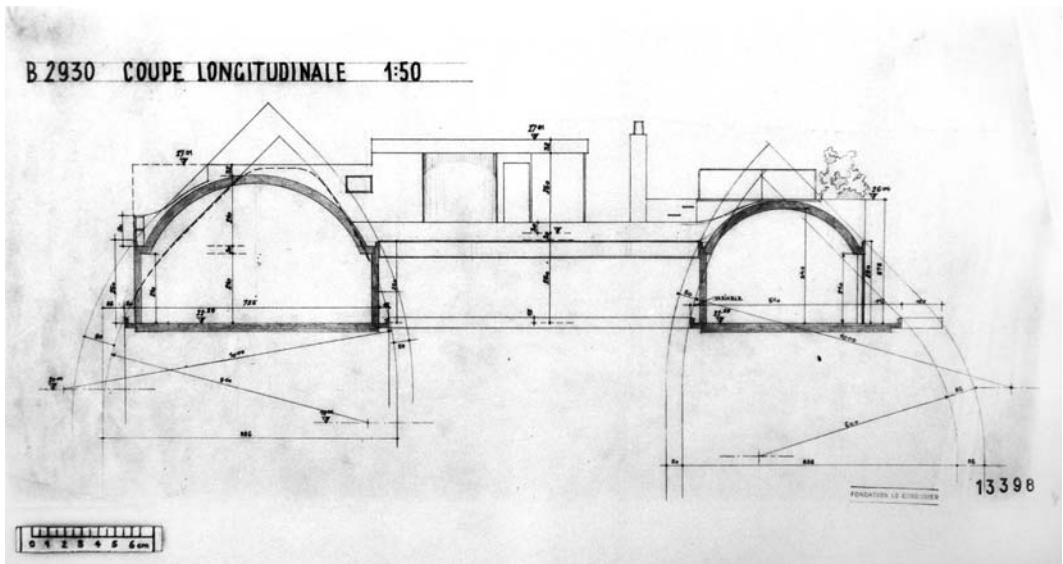


Figura 2  
Ático en Porte Molitor. Hoja 13.398 (Le Corbusier 1983 I, p. 45)

París de 1933. Como vivienda de remate del edificio supuso toda una excepción, en total contraste con el resto de pisos, de altura constante y techos horizontales. Es interesante observar que estos abovedados, finalmente con el perfil clásico de directriz circular rebajada, surgieron como una evolución de otros perfiles previos, más peraltados y asimétricos, resultado directo de la adaptación al gálibo de las ordenanzas de construcción para las cubiertas. De las dos bóvedas construidas, la mayor, correspondiente al estudio y sobre planta algo oblicua, salvaba una luz de 6,90 m con un peralte en torno a los 2,10 m. No es fácil deducir sus condiciones de apoyo pero parece sustentada en sendas vigas de apoyo horizontales paralelas a las fachadas, siendo llamativa la ausencia de tirantes. Dichas vigas están apoyadas en tres soportes intermedios, uno de ellos en forma de V con uno de sus brazos vertical.

La idea de cubriciones abovedadas se ha asociado en Le Corbusier con su admiración por la tradición mediterránea, explícita al parecer en el ático de Porte Molitor, «unos apoyos macizos en V sostienen bóvedas tipo Monol emparentadas con la arquitectura popular mediterránea» (Gans 1988, 50-1). No obstante,

quizás no debería olvidarse que August Perret —con quien Le Corbusier estuvo trabajando entre 1908 y 1909— había construido interesantes abovedados de hormigón de perfil muy rebajado en ejemplos como el taller de confección Esders de 1919 o la iglesia de Notre Dame de Raincy terminada en 1924. Así mismo, y extremadamente sugestiva, aunque más peraltada, es su notable bóveda de hormigón del atelier Olver-Métra de París de 1919-21. En todo caso, el empleo de abovedados sencillos de este tipo volverá a estar presente en el arquitecto suizo en sucesivas obras, como la casa de fin de semana a las afueras de París de 1935, la casa para Mrs. Manorama Sarabhai en Ahmedabad de 1955 y las casas Jaoul en Neuilly-sur-Seine de 1954-56.

El interés en formas abovedadas por parte de Le Corbusier, se manifiesta también en las soluciones de conoides de Freyssinet. Éste venía utilizándolos desde algo antes de 1930 en grandes naves industriales y no es por tanto casual que prácticamente de esa época daten una serie de croquis de Le Corbusier con número 33423 y siguientes, en que cuatro bóvedas de este tipo cubren un espacio supuestamente de trabajo. Fechados en 1929, uno de ellos está acompañado

del texto: «ma maison, s'il me venait l' idee de devenir propriétaire». Pero aún más significativo es que en uno de los croquis previos de tanteo de la bóvedas de Porte Molitor aparezcan precisamente dos superficies de conoide en sucesión. Vuelve a ser llamativo además, que con motivo de la presentación en el número de primavera de 1931 de la revista *L'architecture Vivante* de una de las más importantes naves construidas con conoides de Freyssinet, la página que sigue a continuación sea una ilustración de la Villa Saboye.

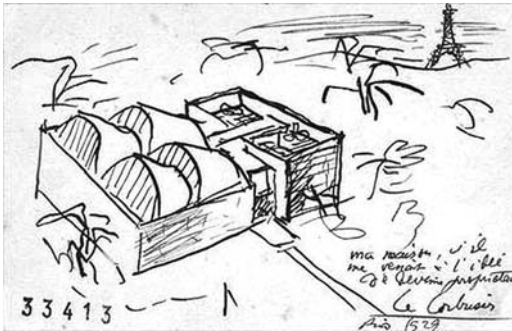


Figura 3  
Proyecto vivienda propia. Hoja 33413 (Google. Fundación Le Corbusier)

El paso hacia el periodo tras la Segunda Guerra nos lleva también hacia obras de gran singularidad cuyas formas curvadas invitan a una mirada más cercana. Ronchamp atrae nuestra atención sobre todo por su cubierta de hormigón aunque su examen detallado permite ver que no se trató en realidad de una solución propiamente laminar. La idea de una forma de apariencia blanda, casi a semejanza de un cojín transformado en algo rígido posado sobre la iglesia ya está presente desde los primeros croquis. Sin embargo la solución final tuvo un decidido rigor geométrico, sobre todo en su superficie externa superior en que se siguió, nuevamente, la forma de un conoide, en este caso asimétrico y en posición invertida. Con la adecuada elección de apoyos y directriz se permitió que la cubierta desaguara en un único punto, aunque también se previó otro desagüe en uno de sus vértices. Pero la solución no es laminar porque las

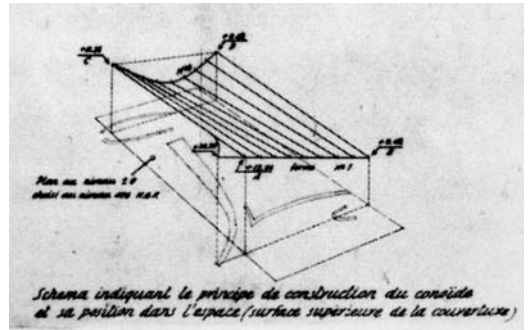


Figura 4  
Ronchamp. Superficie conoide en cubierta. Hoja 7120 (Le Corbusier 1983 II, p. 12)

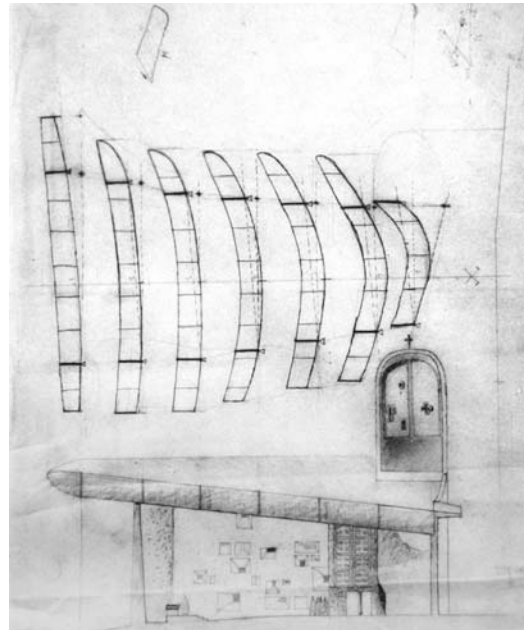


Figura 5  
Ronchamp. Esquema de costillas estructurales. Hoja 7390 (Le Corbusier 1983 II, p. 115)

dos capas externas, superior e inferior que constituyen la cubierta, están sustentadas en una serie de siete costillas transversales que actúan a modo de vigas soportadas en pilares incluidos en los muros perime-

trales. Estos además se cruzan con otras costillas delgadas longitudinales que traban un rígido emparrillado. La parte superior se benefició de su condición reglada, resolviéndose con viguetas rectas apoyadas en las costillas, mientras que para la inferior se tuvo que encofrar una superficie delgada que en realidad trabajará colgada del emparrillado de vigas-costilla longitudinales y transversales.

El sistema recién descrito para la superficie inferior merece resaltarse ya que parece que encontró gran aplicación en muchas de las soluciones en que un intradós o cielo raso de hormigón debía adoptar formas más o menos libremente abovedadas. Una prueba está en el mismo Le Corbusier en el porche del edificio de la Asamblea de Chandigarh (1961). La superficie o bóveda invertida inferior, vagamente evocadora de un toldo, está separada en tramos de aproximadamente 13 m correspondientes a la separación de los pilares pantalla, los cuales además la traspasan y se prolongan hacia arriba. Dado que al sobresalir por encima se transforman en costillas con la forma curva del abovedado, su función es también la de atado y rigidización de la superficie laminar. Los bóveda continua está, por tanto, dividida en siete tramos en los que a su vez, y en forma semejante a Ronchamp, se subdividen los grandes vanos mediante dos vigas de gran canto que discurren longitudinalmente por arriba apoyándose en los soportes. Todo ello es además complementado con el refuerzo, también por la cara superior, de algunos nervios menores, tanto en sentido longitudinal (rectos) como transversal (curvilíneos).

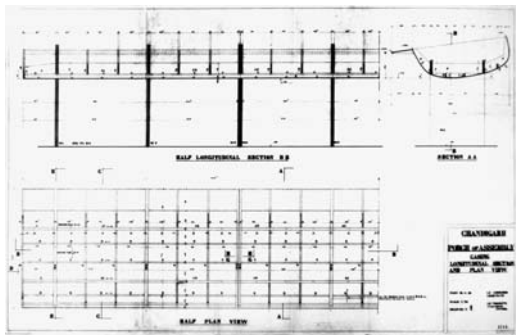


Figura 6 Chandigarh. Estructura del pórtico. Hoja 3245 (Le Corbusier 1983 III, p. 282)

En este mismo edificio de la Asamblea se sitúa la superficie laminar de mayores dimensiones realizada por Le Corbusier. Es la forma de hiperboloide de revolución que envuelve la cámara de representantes parlamentarios. Está tomada directamente de las torres de refrigeración de hormigón con la misma forma empleadas en grandes instalaciones industriales y cuyo origen parece datarse en torno a 1917-18 en instalaciones mineras en los Países Bajos (Emmen 1962, 98). Aunque Le Corbusier la diseñó cerrada por abajo, se conserva un dibujo suyo previo con el típico calado inferior de las de origen industrial. La solución de torre en hiperboloide había resultado ser una disposición resistente de gran economía, que permitía espesores extremadamente delgados y un fácil encofrado gracias a tratarse de una superficie reglada, además de no presentar excesivas dificultades de cálculo. La construida en Chandigarh tiene un espesor de pared de 15 cm, algo más grueso en los apoyos, radio de 19,10 m en la base, radio menor de 9,10 m y conos asintóticos de 31° de inclinación, según las indicaciones del croquis acotado 3117 de la Fundación Le Corbusier.

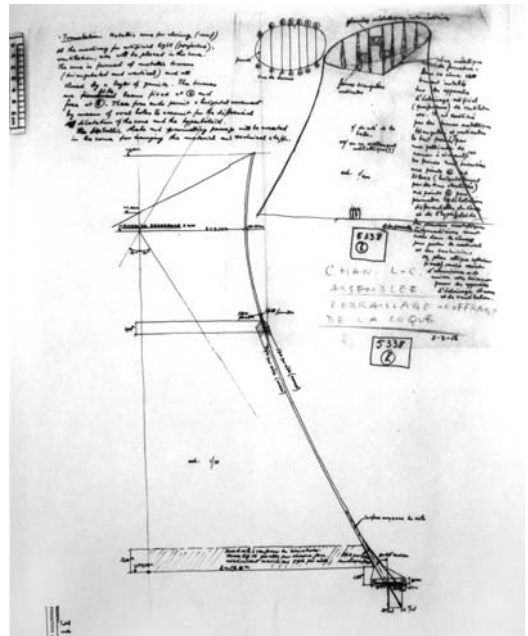


Figura 7 Chandigarh. Edificio de la Asamblea. Hiperboloide de revolución. Hoja 3117 (Le Corbusier 1983 III, p. 225)

La trayectoria de Le Corbusier incluyó en su etapa final otras dos obras de gran protagonismo de las formas laminares y alabeadas, el pabellón Phillips de Bruselas de 1958 y el pabellón del Hombre en Zurich de 1965. Sin embargo, y puesto que son dos obras en que los elementos estructurales y de cubrición son sus partes más relevantes y no de carácter complementario, no los trataremos aquí, dado además el reducido espacio disponible en este trabajo. La muy original solución constructiva del pabellón Phillips ha sido objeto además de estudios monográficos (Cappanna 2000, Treib 1996) y el de Zurich no se trata en realidad de construcción en hormigón, sino de grandes planchas de acero.

### TECHOS MOLDEADOS

En la arquitectura de Alvar Aalto encontramos un gran número de cielos rasos curvados o inclinados según disposiciones muy diversas y constituyentes de buena parte de su idiosincrasia particular en la concepción de espacios y captación de la luz. Sin embargo, no siempre es fácil deducir si se trata de elementos propiamente estructurales o de si son simplemente falsos techos. Se puede tener la certeza de lo segundo, cuando no son continuos y están formados por listones de madera como fue el caso, por ejemplo, en la biblioteca de Vipurii (1927-35) o en la casa Louis Carré (1956-59). Del análisis de las secciones constructivas y cuando dicho cielo raso es inequívocamente de hormigón, parece extraerse una idea relativamente semejante a la de Le Corbusier antes comentada: que dichas losas o láminas cuelgan de la parte inferior de jácenas de gran canto apoyadas en soportes o en otras jácenas maestras. Un uso de lo laminar ciertamente modesto en la mayoría de los casos, pero que no falta a la verdad y que a partir de determinadas dimensiones podría acercarse a comportamientos de membrana. Esto ya es claramente observable en un ejemplo bastante temprano en la sección de su proyecto de sala del Instituto de Educación Física de Vierumäki de 1930, por lo que parece que es en Aalto en donde la idea se encuentra con mayor anticipación. Dicha sección es también indicativa de la disociación del cielo raso inferior respecto a la verdadera cubierta, lo cual ocurrirá posteriormente con mucha frecuencia, por ejemplo en la mayoría de sus bibliotecas.

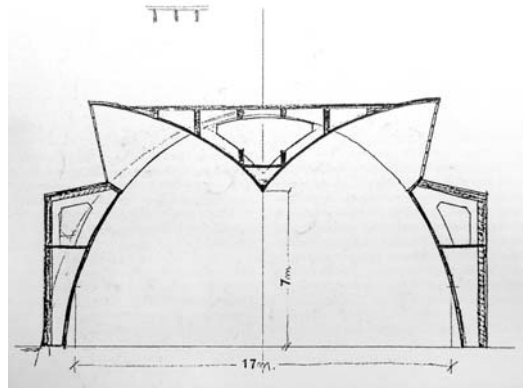


Figura 8  
Instituto de Educación Física de Vierumäki, 1930 (Schildt 1996)

La cubierta será pues, comúnmente un plano inclinado que se situará muchas veces muy por encima de los cielos rasos dejando una gran cámara intermedia.

La lista de edificios y situaciones diferentes en que lo anterior se produce es realmente grande, aunque sólo un estudio más detallado permitiría ver los detalles de cada caso particular. En esta categoría parecen estar los abovedados de iglesias como Imatra (1956-59) o Seinäjoki (1952-60), en los que quizás no se esté tan lejos de la tradición centroeuropea de iglesias y salones barrocos con bóvedas rebajadas de piedra —a menudo atirantadas por arriba (Thunnissen 1950, 202-10)— pero sustituyendo la piedra de baja densidad de aquellas por finas losas o láminas curvadas de hormigón armado. También es esto lo que sugieren algunas de las secciones de sus más importantes auditorios, como el de la Casa de Cultura de Helsinki (1955-58), aunque sería preciso un examen más riguroso. Como claro contraejemplo, no existen superficies laminares en el de la Universidad politécnica de Otaniemi (1955-64), cuyas formas curvas de lucernarios son en realidad grandes vigas huecas de sección aproximadamente triangular. Por contraste, si parecen auténticamente laminares y dejadas vistas, las formas curvas y lucernarios de bibliotecas clásicas de planta en abanico como Seinäjoki (1963-66) o Rovaniemi (1963-68), pu-

diéndose observar en la primera de ellas incluso las huellas de encofrado. Este caso permite ver además una forma de sustentación sobre finos soportes y distinta a la suspensión desde vigas tal como era habitual.



Figura 9  
Rovaniemi, biblioteca, interior, 1968 (Schlitt 1996)

Láminas de mayores dimensiones son más difíciles de encontrar en la obra de Aalto, aunque en Sunila (1935-39) se construyó un almacén con una única cubierta cilíndrica en Shed bastante notable, si bien no sabemos si puede considerarse de su autoría o de los ingenieros de la fábrica. Pero es curioso que este mismo tipo de superficie reaparezca muchos años después en la cubierta de una de sus últimas obras, la iglesia de Riola en Italia (1966-68). Aalto proyectó en ella una serie de cuatro sheds de hormigón decrecientes en tamaño y convergentes en su longitud, que son directamente obtenidas como transformación de esta solución laminar tan típica en naves y talleres industriales de la época. En cuanto a dimensiones, el evidente apoyo de las láminas en los grandes pórticos redondeados acorta notablemente las luces a salvar, con lo que los vanos parecen quedar claramente por debajo de los 12 x 20 m alcanzados ya unos años antes en la más grande de estas soluciones (García, Valcarce 2009).

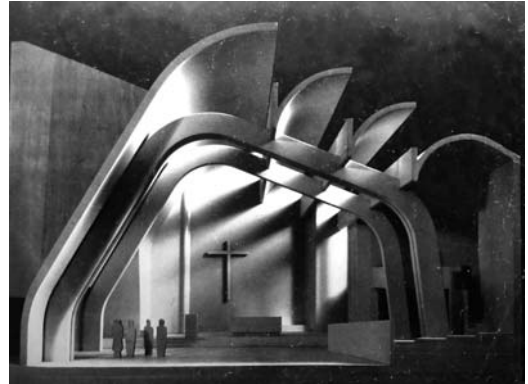


Figura 10  
Iglesia en Riola, maqueta. 1968 (Freig 1999)

#### FORMA, DISEÑO Y ORDEN

La mirada a la obra de Louis Kahn nos revela también la existencia de al menos tres casos significativos de solución laminar. Acordes con el sentido general de su arquitectura, los tres reflejan un sentido de orden geométrico y exactitud, casi diríamos que precisión, que los diferencia de los ejemplos anteriores. Cronológicamente estaría en primer lugar la iglesia Unitaria en Rochester (1959-67) cuya sala de reunión fue cubierta con una simple pero ingeniosa solución de lámina plegada invertida y de planta cruciforme. La misma configuración pero dada la vuelta sería una lámina de cubierta en pabellón semejante a las que por ejemplo el ingeniero Milo Ketchum ilustra como típicamente construidas en EEUU (Ketchum 1990). Dicha inversión hace que se intensifique la sensación del espacio, comprimiéndolo en su centro y dejándolo escapar hacia las esquinas donde se sitúan los cuatro lucernarios. Así mismo es original la forma de sustentación, con tres soportes en cada uno de los brazos, unidos entre sí por un tirante y con un ligero vuelo de las láminas hasta el plano de la fachada exterior. Una variante anterior contemplaba un único soporte en el centro de cada lado, estando dichos soportes unidos por dos vigas cruzadas que actuaban como apoyo de las limahoyas de la lámina. A la solución final se llegó tras muchas otras ideas, entre las que, para una planta poligonal y no cuadrada como es la definitiva, se había pensado una cubierta constituida por una corona de facetas triangulares.



Figura 11  
Iglesia Unitaria, interior, 1967 (Ronner 1987)

Esta idea de facetas estuvo presente en cambio, ya en forma construida, en su solución de techo modular para la fábrica Olivetti-Underwood en Harrisburg (1966-70). Todo el edificio fue constituido con un mismo módulo octogonal con un único soporte en su centro y que se repetía aditivamente, dejando lucernarios cuadrados en las esquinas. El diseño del módulo se parecía por tanto, a un gran paraguas vuelto, pero en el que su característica forma curva era sustituida por una base o capitel cuadrado del que surgían planos inclinados rectangulares en los lados y triangulares en las esquinas. Se trataba en definitiva

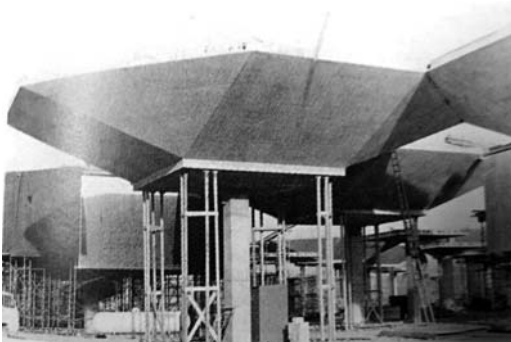


Figura 12  
Olivetti-Underwood, Harrisburg, 1970 (Ronner 1987).

de una forma poliédrica con cuya estricta geometría se resolvía la totalidad del edificio y cuya construcción entraría dentro de la categoría de láminas plegadas semiprismáticas establecida por Angerer (1972, 49).

Pero el ejemplo sin duda más contundente, al menos desde el punto de vista perceptivo y con el que terminamos nuestro análisis son las repetitivas láminas cilíndricas que, sin apenas variación, cubren el afamado Kimbell Museum de Bellas Artes en Fort Worth (1967-72). Salvo por sus innegables refinamientos, se trata de una solución de cubierta claramente de uso industrial, como las muchas que hasta ese momento habían servido para naves y, especialmente, almacenes. No obstante son dichos sutiles matices, como por ejemplo la disposición y separación de sus naves, las que hacen que el edificio pase a tener reminiscencias clásicas y un sentido rítmico y de orden casi monumental. Especialmente refinada es también la curva cicloide elegida para la directriz de las láminas, nunca usada hasta entonces y justificada por sus propiedades de difusión de la luz. Todas las láminas son de tipo cilíndrico alargado y apoyan en un arco de rigidización en sus extremos dejando claro además, que éste está separado de los muros testeros por una rendija de luz. Otra característica es que sus bordes libres se continúan hacia abajo por delgadas vigas de borde en toda su longitud que aumentan así el canto estructural. Dichas vigas se unen con placas horizontales a las contiguas, creando un impedimento a las deformaciones horizontales en los vanos interiores.

Una atenta mirada final nos revela que en realidad sólo dos de las láminas —las correspondientes a porches— son realmente cilíndricas completas ya que el resto están divididas en dos por un lucernario a todo lo largo de su coronación. Son, por tanto, más bien asimilables a las frecuentemente denominadas soluciones con sección en ala de gaviota, formadas por vigas canalón o inferiores y paños curvos a modo de alas. Con sus luces longitudinales de más de 30 m, su espesor ligeramente mayor de 11 cm y su ancho de vano de 6,1 m, sin llegar a batir récords, se situaron, sin embargo, en un lugar no menor entre las realizaciones de su género.



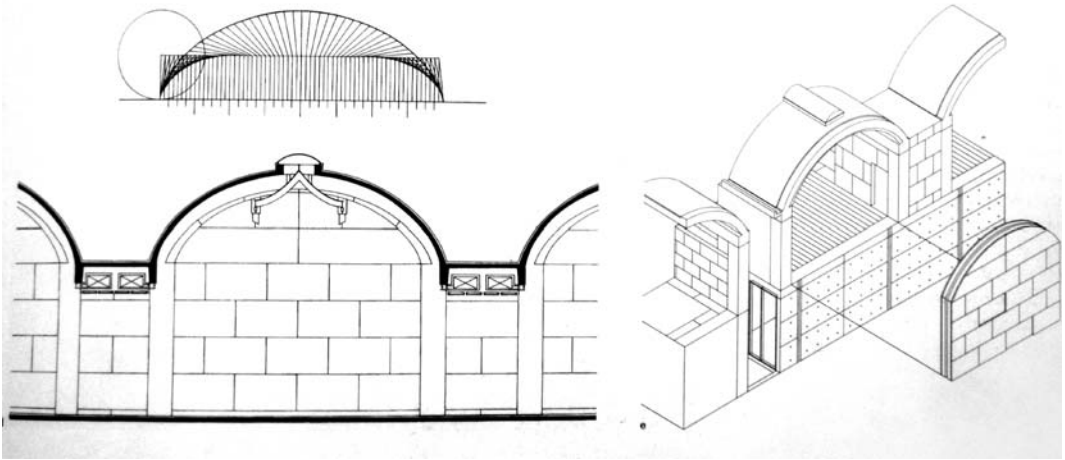


Figura 13  
Kimbell Art Museum, sección de láminas y montaje (Freig 1999)

#### LISTA DE REFERENCIAS

- Angerer, Fred. 1972. *Construcción laminar. Elementos y estructuración*. p. 51, Gustavo Gili, Barcelona. (*Bauten mit tragenden flächen konstruktion und gestaltung*, 1960)
- Bellinelli, Luca. 1999. Louis I. Kahn. *The Construction of the Kimbell Art Museum*. Skira, Milano
- Capanna, Alessandra. 2000. *Le Corbusier: Padiglione Philips, Bruxelles*. Testo & Immagine.
- Cassinello, Pepa. 2010. «Félix Candela en el contexto internacional de la Aventura Laminar», *Félix Candela Centenario*, Editorial Lampreave, Madrid.
- Emmen, J. 1964. «De eerse als dunwandige gewapend-betonschaal gebouwde Koeltorens», *Cement*, pp. 98-9.
- Gans, Deborah. 1988. *Le Corbusier*. Gustavo Gili, Barcelona. Ed. original en ingles 1987.
- Schlaich, Mike. 2010. «Thin concrete shells and other lightweight double-curved structures», *Félix Candela Centenario*, Editorial Lampreave, Madrid.
- García, Rafael; Valcarce, María Teresa. 2009. «Cylindrical Shed Construction: The shell roof on the Jamin factory at Oosterhout, Netherlands», *Proceedings of the Second International Congress of History of the Construction*, vol. 2, Cottbus (Germany).
- Ketchum, Milo. *Memoirs 4. Folded Plates*, (c. 1990), [www.ketchum.org/shellpix.html](http://www.ketchum.org/shellpix.html) (visitado 30 dic. 2009).
- L'Architecture Vivante*. 1931. Printemps. Fotos y planos estructuras de Freyssinet sin comentarios, pp. 20-4.
- Ronner, Heinz. 1987. *Louis I. Kahn: complete work 1935-1974*. Birkhauser, Basel.
- Schildt, Goran. 1996. *Alvar Aalto. Obra completa: Arquitectura, arte y diseño*. Gustavo Gili, Barcelona (1994).
- Thunnissen, Henri. 1950. *Gewelven*. Ahrend & Zoon, Amsterdam.
- Treib, Marc. 1996. *Space Calculated in Seconds: The Philips Pavilion, Le Corbusier, Edgard Varèse*. Princeton Architectural Press, Princeton.

