FELIX CANDELA

Félix Candela es sin ninguna duda uno de los arquitectos que mejor ejemplifica el uso del paraboloide hiperbólico en la arquitectura. Según este arquitecto, “De todas las formas posibles que se le pueden dar a un cascarón, la más fácil y práctica de construir es el paraboloide hiperbólico”.

Aunque Candela nació y vivió varios años de su juventud en España, la Guerra Civil lo obligó a dejar el país y marchar en el exilio a México, donde desarrollaría sus obras más admiradas. Muchas de ellas todavía existen, la mayoría superando el medio siglo de antigüedad.

Es de destacar en Candela su filosofía constructiva de la eficiencia y la economía, al igual que su motivación estética, lo que ha hecho que se lo haya reconocido como “artista estructural”.

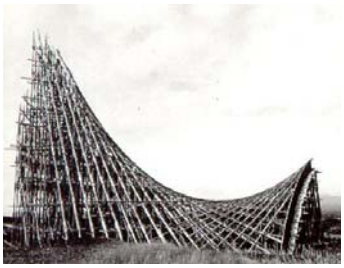
Obras más representativas

- Laboratorio de Rayos Cósmicos (1951)
- Iglesia de la Medalla de la Virgen Milagrosa (1953)
- Bolsa de Valores de la Ciudad de México (1953)
- Club Nocturno La Jacaranda (1954)
- Capilla de Nuestra Señora de la Soledad del Altillo (1955)
- Capilla de Lomas de Cuernavaca (1957)
- Restaurante Los Manantiales (1957)
- Plaza de los Abanicos (1957)
- Planta Embotelladora de Bacardí (1958)

Félix Candela y los paraboloides hiperbólicos

Aunque en la mayoría de las obras de Candela el paraboloide hiperbólico es el protagonista, se ha utilizado de maneras muy diversas a lo largo de su trayectoria.
Por ejemplo, mientras que para los paraguas se emplearon cuatro paraboloides de bordes rectos, posteriormente, la cubierta de la Capilla de Nuestra Señora de la Soledad del Altillo se diseño utilizando uno solo de estos paraboloides.
El uso de los paraboloides de bordes curvos sigue un camino similar, pasando de los cuatro paraboloides en el Restaurante Los Manantiales al exagerado hypar de Lomas de Cuernavaca.

Funcionamiento estructural de los cascarones hypar de Félix Candela



Candela reconocía dos tipos de cascarones de hormigón: los adecuados, que evitan las deformaciones tales como la flexión y son superficies de doble curvatura; y los inadecuados, que soportan las cargas sufriendo deformaciones por flexión. En una estructura de cascarón, el

espesor es considerablemente menor que el ancho y el largo, por lo que los esfuerzos de flexión pueden causar rupturas.

La forma de las estructuras de cascarón debe ser tal que su peso se distribuya uniformemente a lo largo de las mismas. Una geometría inadecuada puede producir ciertos esfuerzos en algunas partes de la lámina, pudiendo conducir al colapso de la estructura. En puntos donde es inevitable que haya altas concentraciones de esfuerzos, tales como las fijaciones al suelo, el espesor del cascarón debe ser mayor.

Como es sabido, el hormigón trabaja muy bien a compresión, pero no a tracción. Por ello, en los cascarones de este material se busca una forma en la que la mayoría de los esfuerzos soportados por la estructura sea de compresión. En los paraboloides hiperbólicos de Félix Candela, los esfuerzos de tensión son muy pequeños y por ello pueden ser soportados por el hormigón, sin la necesidad de armarlo.

Por otro lado, según Candela, “el paraboloide hiperbólico es la única superficie alabeada cuya ecuación es tan simple como para permitir el cálculo de esfuerzos mediante unas matemáticas elementales”.

Laboratorio de Rayos Cósmicos (1951)

En 1951, Félix Candela concluyó uno de sus primeros proyectos importantes con Cubiertas Ala, el Laboratorio de Rayos Cósmicos de la UNAM. Se trata de una de las estructuras más delgadas jamás construidas, con un grosor mínimo de solamente 1,5 cm., permitiendo el paso de la radiación cósmica para su medición. Por otro lado, este proyecto supuso la primera expresión del interés de Candela por los paraboloides hiperbólicos, que más adelante protagonizarían muchas de sus obras más prestigiosas.

Construido en colaboración con los arquitectos González Reyna y Arozarena, el Laboratorio de Rayos Cósmicos fue diseñado para albergar dos pequeños laboratorios para el estudio de la radiación cósmica.
El diseño inicial, propuesto por González Reyna, consistía en una bóveda parabólica, que posteriormente Candela cambiaría por dos paraboloides hiperbólicos acoplados a una parábola principal, argumentando que, además de aportar un mayor atractivo visual, la doble curvatura de estas superficies aportaría una rigidez extra, fundamental debido a la extrema delgadez de la estructura.
No obstante, cálculos posteriores al proyecto demostraron que una superficie de curvatura simple habría funcionado tan bien estructuralmente como la solución que se adoptó.

Los paraboloides hiperbólicos empleados en el Laboratorio de Rayos Cósmicos se caracterizan por que sus generatrices y directrices forman un ángulo de 60º. La cubierta consta de

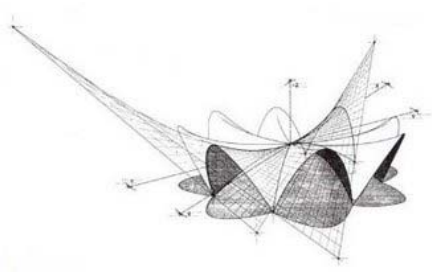
dos cascarones que se apoyan en tres arcos rigidizadores con luces de 5m y un grosor de 31 cm. El espesor de los cascarones aumenta en los bordes inferiores, hasta alcanzar los 5 cm. Las fachadas laterales consisten en dos superficies onduladas de hormigón algo retranqueadas.

Sin embargo, tres años después de la finalización del proyecto, en una conferencia del MIT, Candela admitió que se arrepentía de haber colocado los tres arcos rigidizadores bajo la cubierta, ya que se había demostrado que la rigidez de los paraboloides era suficiente para mantener la estructura bajo unos niveles de seguridad satisfactorios.

El proceso de construcción del Laboratorio de Rayos Cósmicos constó básicamente de tres partes: la plataforma, los arcos y la cubierta. La construcción de ésta última fue relativamente sencilla debido a que la forma del paraboloide posibilita el replanteo mediante elementos rectos. Aunque no era necesario, se incorporaron en los paraboloides armaduras de hormigón muy delgadas para evitar las grietas u otros inconvenientes a causa de la temperatura. La construcción de la cubierta se completó en tan solo ocho horas, a pesar de la delicadeza del procedimiento a causa de la extrema delgadez de los cascarones.

El edificio todavía sigue firmemente en pie en la universidad, aunque ya no se usa como laboratorio, sino como sede del club de ajedrez. En el interior, las particiones que dividían el espacio interior se han eliminado y en el exterior, la cubierta se ha impermeabilizado y pintado de rojo.
Aunque se observan algunos parches en la misma debido a que se ha tenido que reparar en algunas ocasiones, el edificio de Candela ha sobrevivido a varios terremotos, como muchos otros trabajos de este arquitecto en México, manifestando su sabia construcción y forma.

Restaurante los Manantiales (1958)



Este edificio, situado en una zona de canales en Xochimilco, es una de las más famosas y reconocidas obras de Félix Candela.
La estructura consiste en una bóveda de arista formada por cuatro paraboloides hiperbólicos iguales, en los que las curvas de los bordes exteriores son hipérbolas.
Cabe señalar que estos bordes se encuentran libres de cualquier elemento rigidizador, lo que supuso uno de los grandes avances técnicos de Candela. Este hecho permite que se pueda apreciar directamente el grosor de las láminas de hormigón, de tan sólo 4 cm.

La idea de este proyecto surge cuando Joaquín y Fernando Álvarez Ordoñez, quienes ya habían trabajado con Candela anteriormente, proponen al arquitecto diseñar un restaurante para el Centro Asturiano de Calzada de Tlalpan. Una vez que Candela había diseñado la forma que iba a tener el proyecto, los requerimientos del Centro Asturiano

cambiaron, y el restaurante fue eliminado de los planes. No obstante, el proyecto siguió adelante al encontrarse otro cliente cuyo restaurante en Xochimilco había sufrido un incendio.

Se trata de una estructura de 42,4 m de diámetro, con 32,4 m de luz entre soportes. El grosor de la lámina de hormigón es de 4 cm, el habitual en sus cascarones.

Para rigidizar las juntas, se colocaron vigas cuya sección era una V, de tal modo que no eran visibles ni por el interior ni por el exterior. En los extremos, estas vigas se encuentran ancladas al suelo mediante zapatas con forma de paraguas invertidos. La ventaja de este tipo de cimentaciones, diseñadas por el propio Félix Candela, es que contienen la tierra de manera que no se hunden en el suelo. Por otro lado, las zapatas fueron unidas entre sí mediante barras de acero, con el fin de soportar los esfuerzos laterales.

En cuanto al proceso de construcción de Los Manantiales, el encofrado se realizó de modo que las tablas siguieran las generatrices de los paraboloides. A pesar de que se trataba de una forma repetitiva, formada por ocho elementos idénticos, Candela prefirió no usar el mismo encofrado para todas las piezas, para poder construirlas todas al mismo tiempo. Esto se debe a que los elementos de la estructura no estaban diseñados para funcionar por separado, sino como conjunto.
Una vez completada la construcción del encofrado, se colocaron las armaduras y se procedió al hormigonado.

En la actualidad, aunque el edificio se conserva casi sin ningún cambio, el entorno romántico de canales y jardines flotantes que lo rodeaba se ha transformado considerablemente, invadido por otras construcciones.
50 años más tarde, el hormigón de la estructura se encuentra en buenas condiciones, y es probable que dure otros 50 más.

Con Los Manantiales, Candela alcanzó el éxito al crear no solo una obra de gran belleza y atractivo visual, sino una sofisticada estructura que demuestra el innegable dominio técnico de este arquitecto.

Victoria Daglio, estudiante de la ETS de Arquitectura de la UPM.