*Departamento de Composición Arquitectónica
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid
Universidad Politécnica de Madrid*

La arquitectura no construida de Félix Candela

*Evolución de la arquitectura de Félix Candela a partir de sus proyectos no
construidos, 1939 – 1997*

Tesis doctoral

Federico Luis del Blanco García. Arquitecto

Directores:

Ismael García Ríos. Doctor arquitecto

José Luis García Grinda. Doctor arquitecto

2016

*Departamento de Composición Arquitectónica
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid
Universidad Politécnica de Madrid*

La arquitectura no construida de Félix Candela

*Evolución de la arquitectura de Félix Candela a partir de sus proyectos no
construidos, 1939 – 1997*

Tesis doctoral

Federico Luis del Blanco García. Arquitecto

Directores:

Ismael García Ríos. Doctor arquitecto

José Luis García Grinda. Doctor arquitecto

2016

Tribunal nombrado por el Mgfco. Y Excmo. Sr. Rector de la Universidad Politécnica de Madrid,

el día _____

Presidente D. _____

Vocal D. _____

Vocal D. _____

Vocal D. _____

Secretario D. _____

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis: *La arquitectura no construida de Félix Candela. Evolución de la arquitectura de Félix Candela a partir de sus proyectos no construidos, 1939 – 1997*

el día _____

en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.

Calificación: _____

EL PRESIDENTE

LOS VOCALES

EL SECRETARIO

Primer dibujo realizado para la tesis

La arquitectura no construida de Félix Candela.

Evolución de la arquitectura de Félix Candela a partir de sus proyectos no
construidos, 1939-1997

Autor: Federico del Blanco García

Directores: José Luis García Grinda

Ismael García Ríos

Último dibujo realizado para la tesis

Terminal para el aeropuerto de Murcia, 1982. Federico Luis del Blanco García

ÍNDICE

	<i>Páginas</i>
0. RESUMEN	19
Capítulo primero	
ASPECTOS GENERALES	
1.1. INTRODUCCIÓN	30
1.2. OBJETIVO	34
1.3. ESTRUCTURA	35
1.4. METODOLOGÍA	37
1.5. ESTADO DE LA CUESTIÓN	39
1.5.1. Publicaciones referentes a los proyectos comprendidos entre 1939 y 1941-1951. Los inicios de Félix Candela	42
1.5.2. Publicaciones referentes a los proyectos comprendidos desde 1949-1951 hasta 1964-1968. Estructuras laminares.....	43
1.5.3. Publicaciones referentes a los proyectos comprendidos desde 1965 - 1968 hasta 1972. Grandes cúpulas	46

1.5.4. Publicaciones referentes a los proyectos comprendidos desde 1972 hasta 1997. Los últimos proyectos de Félix Candela.....	51
---	----

Capítulo segundo

CONTEXTO. ANÁLISIS SINCRÓNICO Y DIACRÓNICO

2.1. CONTEXTO	57
2.1.1. Circunstancias personales, la lucha por la supervivencia	58
2.1.2. México como país donde se desarrolla su obra. Condiciones económicas del país. ...	60
2.1.3. Época.....	62
2.2. LAS CONVICCIONES CLASICISTAS.	
Estructura, forma y espacio.....	63
2.3. LOS NUEVOS FORMALISMOS.	
La estructura frente a la función como generadora de formas	67
2.4. ANÁLISIS DIACRÓNICO.	
Gótico, expresionismo y la estructura de Félix Candela. La línea anti-clasicista.....	71
2.5. ANÁLISIS SINCRÓNICO.	
Expresionismo estructural y simetría.	78
2.6. NEO-EXPRESIONISMO Y EXPRESIONISMO ESTRUCTURAL	83

Capítulo tercero

PRIMERA ETAPA. LOS INICIOS DE FÉLIX CANDELA

3.1. EL EXILIO	87
3.2. PRIMEROS PASOS EN MÉXICO.	
Proyectos iniciales de Félix Candela, 1939-1949	90
3.3. PERIODO DE TRANSICIÓN. 1949-1951	95

Capítulo cuarto

SEGUNDA ETAPA. ESTRUCTURAS LAMINARES

4.1. LA FORMA DE LO RESISTENTE.	
Evolución de las estructuras laminares de Candela, desde 1949-1951 hasta 1964-1968.....	101
4.2. ESTRUCTURAS LAMINARES MEDIANTE BÓVEDAS DE ARISTA.	
4.2.1. Obras clave en la evolución de Félix Candela.	105
4.2.1.1. Pabellón de rayos cósmicos	106
4.2.1.2. Bolsa de valores.....	107
4.2.1.3. Iglesia San Antonio de las Huertas	109
4.2.2. Las bóvedas de arista en el contexto internacional	111

	<u>Páginas</u>
4.2.3. Mercado de la Merced, 1956.....	116
Reconstrucción del mercado de la Merced y análisis comparativo con la iglesia de San Antonio de las Huertas y la fábrica embotelladora Bacardí.	121
4.2.3.1. Forma y geometría	121
4.2.3.2. Unidades espaciales y conectores	128
4.2.3.3. La luz.....	134
4.2.3.4. El límite	142
4.2.3.5. Sistema constructivo	148
4.2.3.6. Apoyos	151
 4.3. ESTRUCTURAS LAMINARES MEDIANTE PARAGUAS INVERTIDOS	
4.3.1. Paraguas invertidos en la obra de Félix Candela. Proyectos clave en su evolución ..	158
4.3.2. Variaciones geométricas de la estructura de paraguas invertido	166
4.3.3. Catedral de Villahermosa, 1960	168
4.3.3.1. Forma y geometría	170
4.3.3.2. Unidades espaciales y conectores	173
4.3.3.3. La luz.....	177
4.3.3.4. El límite	178
4.3.3.5. Apoyos	179
4.4. OTROS PROYECTOS MEDIANTE ESTRUCTURAS LAMINARES.	183

Capítulo quinto

TERCERA ETAPA. GRANDES CÚPULAS CON
CERRAMIENTO DE PARABOLOIDES HIPERBÓLICOS

5.1. DE LAS ESTRUCTURAS LAMINARES A LAS GRANDES CÚPULAS	199
5.1.1. Circunstancias económicas	202
5.1.2. Los archivos de Cubiertas Ala S.A.	206
5.1.3. Las estructuras laminares en su contexto internacional. Auge y declive.....	210
5.1.4. Nuevas influencias. Una trayectoria en paralelo	214
5.1.5. De Méjico a Estados Unidos	222
5.1.6. Un acercamiento progresivo a Estados Unidos.....	223
5.1.7. Una nueva esposa	228
5.1.8. La docencia universitaria. De Méjico a Estados Unidos	229
5.1.9. Circunstancias políticas	231
5.1.10 Una difícil decisión: transición entre Méjico y Estados Unidos (1968 – 1971).....	232
5.2. GRANDES CÚPULAS. PROYECTOS BASADOS EN GEOMETRÍA ESFÉRICA Y CERRAMIENTO DE PARABOLOIDES HIPERBÓLICOS. DESDE 1965 HASTA 1972.	
5.2.1. Introducción	235
5.2.1. Palacio de los Deportes, México 1966 - 1968	239
5.2.1.1. Introducción. El concurso	241

	<i>Páginas</i>
5.2.1.2. Forma y geometría.....	245
5.2.1.3. La geometría oculta del Palacio de los Deportes	251
5.2.1.4. Módulos de cerramiento.....	253
5.2.1.5. El límite.....	255
5.2.2. Propuestas para las instalaciones deportivas de la Universidad Brown. 1965-1972...	257
5.2.2.1. Introducción	260
5.2.2.2. Análisis de la cúpula	265
5.2.2.3. Forma y geometría	265
5.2.2.4. Desarrollo de la geometría sobre un plano.....	277
5.2.2.5. Módulos de cerramiento.....	279
5.2.2.6. El límite.....	282
5.2.3. Cúpula para el Centro de Deportes de Kuwait 1968-1969	
5.2.3.1. Introducción. El concurso.....	291
5.2.3.2. Correspondencia con Emilio Pérez Piñero	295
5.2.3.3. Forma y geometría	299
5.2.3.4. Desarrollo de la geometría sobre un plano.....	317
5.2.3.5. Módulos de cerramiento.....	319
5.2.3.6. El límite.....	326
5.2.3.7. Planos del Palacio de Deportes de Kuwait	331

	<i>Páginas</i>
5.2.4. Cúpula para el velódromo de Anoeta, 1972	335
5.2.4.1. Introducción. El concurso	337
5.2.4.2. Forma y geometría	345
5.2.4.3. Desarrollo de la geometría sobre un plano	366
5.2.4.4. Módulos de cerramiento	371
5.2.4.5. Iluminación natural	375
5.2.4.6. Maquetas	377
5.2.4.7. Otros planos	383
5.3. OTROS PROYECTOS BASADOS EN ESTRUCTURAS RETICULARES METÁLICAS O PARABOLOIDE HIPERBÓLICO COMO ELEMENTO SECUNDARIO	388
5.3.1. Palacio de cristal de Londres, 1964	389
5.3.2. Zona de exposiciones para el estadio olímpico de Méjico, 1966-1968	390
5.3.3. Plaza de toros en Orizaba, México 1970	404
5.3.4. Propuesta para el estadio de fútbol Azteca, Tlalpam. México D.F. 1960	405
5.3.5. Propuesta para el estadio Santiago Bernabeu. Madrid, 1973	407
5.3.6. Asociación “Félix Candela & E. Pérez Piñero. Arquitectos, estudios y proyectos”.	409

Capítulo sexto

CUARTA ETAPA, 1972-1997. LOS ÚLTIMOS PROYECTOS DE FÉLIX CANDELA.

6.1. INTRODUCCIÓN.....	413
6.2. COLABORACIÓN ENTRE FÉLIX CANDELA Y FERNANDO HIGUERAS (1979-1987).....	414
6.2.1. Influencias mutuas	416
6.2.2. Las características comunes	419
6.2.3. Proyectos previos a la colaboración	423
6.2.4. Colaboración entre Fernando Higuera y Félix Candela	426
6.2.4.1. Concurso internacional para un centro islámico en Madrid 1979	429
6.2.4.2. Torre de oficinas en Riyadh, 1980	435
6.2.4.3. Proyecto para la terminal del aeropuerto de Murcia, 1982	444
6.2.4.4. Edificio para la legislatura en Veracruz, Xalapa, Méjico, 1984.....	469
6.2.4.5. Edificio para la procuraduría general del estado de Veracruz, 1984	477
6.2.4.6. Feria de muestras de Marbella, 1984.....	483
6.2.4.7. Hotel en Cancún, 1987	489
6.3. CONJUNTO RESIDENCIAL INTERPLAYA, MARBELLA. COLABORACIÓN CON JUAN DE ARO	500

Capítulo séptimo

CATÁLOGO DE OBRAS DE FÉLIX CANDELA

7. LISTADO DE PROYECTOS DESDE 1939 HASTA 1997.....	515
--	-----

Capítulo octavo

CONCLUSIONES

8. CONCLUSIONES.....	529
----------------------	-----

Capítulo noveno

BIBLIOGRAFÍA

9.1. BIBLIOGRAFÍA	536
9.2. ARTÍCULOS PUBLICADOS EN REVISTAS ORDENADOS CRONOLÓGICAMENTE	559

Capítulo décimo

ANEXOS

10.1. ACERCA DE EMILIO PÉREZ PIÑERO.....	601
10.2. PROYECTOS PRESENTADOS AL CONCURSO DEL PALACIO DE LOS DEPORTES PARA LAS OLIMPIADAS DE MÉXICO, 1968.....	607
10.3. ACERCA DE FERNANDO HIGUERAS	613
10.4. CORRESPONDENCIA DE FÉLIX CANDELA.....	621

La presente tesis doctoral se centra en el estudio de la arquitectura no construida de Félix Candela. A través de ésta se ha establecido una línea de evolución que completa la extensa obra del arquitecto y permite explicar los cambios que se produjeron en su arquitectura mostrando una visión global.

Se aportan documentos inéditos originales y reconstituciones gráficas que amplían el conocimiento previo de la obra de uno de los iconos de la arquitectura del siglo XX. Durante la realización de la tesis se han producido más de 2000 dibujos – incluyendo planos, reconstituciones, infografías y esquemas-. A su vez, se han recopilado más de un centenar de planos originales no publicados de los proyectos de Félix Candela.

La tesis se divide en tres partes: una primera, donde se abordan aspectos generales y de contexto; una segunda, donde se incluyen los resultados de la investigación y la aportación personal del autor; y una tercera en la que se añaden a lo anterior conclusiones y diversos anexos.

La investigación se ha dividido en tres fases. La primera consistió en el estudio de la documentación publicada acerca de Félix Candela y su obra, extendiéndose el estudio a la geometría de superficies y el contexto histórico de los movimientos arquitectónicos del siglo XX.

Durante la segunda fase se recopilaron documentos pertenecientes a diferentes fondos y archivos, que permitieron concretar la investigación y sirvieron como base de las reconstituciones de los proyectos.

En la tercera fase se desarrollaron las hipótesis planteadas, y se realizaron las reconstituciones y análisis de la arquitectura no construida de Félix Candela. El lenguaje gráfico acompaña al escrito durante el desarrollo de la tesis complementándose el uno al otro.

0. Abstract

The aim of this doctoral thesis is to do a research about the non-built architecture of Félix Candela.

The work includes original and unpublished documents of Felix Candela as well as graphic reconstructions about his projects. They extend the knowledge about one of the most iconic architects of the 20th century. The thesis incorporates more than 2000 original drawings - including plans, reconstructions, sketches and infographics-. In addition, more than one hundred unpublished plans of Felix Candela's projects have been compiled.

The thesis is divided into three parts: the first one, which addresses general and context aspects; the second one, which includes the results of the research and the personal contribution of the author; the third one, in which conclusions and various annexes have been added.

The research has been divided into three phases. The first consisted of the study of the extensive documentation published about Felix Candela and his projects, extending the study to the geometry of surfaces and the context of the architecture during the twentieth century.

During the second phase, documents belonging to different registries were collected. They made possible to specify the research lines and were used for the reconstruction of the projects.

In the third phase the hypotheses were developed, and the analysis of the non-built architecture of Felix Candela were elaborated.

Resumen de algunas de las reconstituciones realizadas para la tesis. Años 1956 - 1968. Imágenes del autor.

Resumen de algunas de las reconstituciones realizadas para la tesis. Años 1965 - 1972. Imágenes del autor.

Resumen de algunas de las reconstituciones realizadas para la tesis. Años 1965 - 1972. Imágenes del autor.

Resumen de algunas de las reconstituciones realizadas para la tesis. Años 1965 - 1972. Imágenes del autor.

Resumen de algunas de las reconstituciones realizadas para la tesis. Año 1982. Imágenes del autor.

1.1. Introducción

Antes de comenzar el presente trabajo, parece necesario explicar al lector el por qué realizar una investigación centrada en proyectos no construidos de un arquitecto con una obra tan extensa como es el caso de Félix Candela.

Los proyectos de Félix Candela han sido extensamente publicados y difundidos, siendo esto una verdad que sólo se cumple para su obra construida. No sucede lo mismo con los proyectos que, por diversos motivos, no se llegaron a realizar; quedando una visión sesgada sobre su arquitectura, que ha dado lugar a malinterpretaciones que aún siguen sin desmentirse.

Mediante la arquitectura no construida de Candela se pretende por tanto, completar las lagunas existentes en su obra y poder explicar los diferentes caminos que de manera inexplicable tomó este arquitecto, generándose diferentes etapas que difícilmente podrían apreciarse si tan solo tenemos en cuenta la obra construida.¹

La vida de Félix Candela quedó dividida en tres periodos diferenciados por su país de residencia, tres periodos que dividen su vida en tres partes aproximadas en duración de casi treinta años. Su primer periodo -el de formación- se produjo en España, país donde nació (1910-1939). Tras la Guerra Civil española se vería forzado a exiliarse a México (1939-1971), donde desarrollaría la obra que le dio fama internacional y le consagraría como uno de los iconos en la construcción del siglo XX. Finalmente, el tercer periodo de su vida se corresponde con su estancia en Estados Unidos (1971-1997), donde fallecerá sin haber realizado apenas construcciones.

Félix Candela, 1910-1997. Imagen: archivo Candela, Universidad de Princeton

¹ Durante la realización de la tesis se han producido más de 2000 dibujos (planos, reconstrucciones, infografías, esquemas...). A su vez, se han recopilado más de un centenar de planos originales inéditos de las obras de Félix Candela, apareciendo proyectos no conocidos del arquitecto.

Si nos limitamos a estudiar la obra construida de Félix Candela, esta división en tres etapas concuerda con sus movimientos migratorios. Sin embargo, un estudio de su arquitectura no construida muestra como estos tres ciclos no coinciden, aunque si influyen, con los diferentes caminos que adoptó Félix Candela para realizar sus proyectos.

De esta manera, la arquitectura no construida de Félix Candela -no de manera independiente de su obra construida- nos muestra cuatro etapas bien diferenciadas que se ordenan una a continuación de otra de manera cronológica. Los límites entre estas etapas no son cortes nítidos. Siguiendo esta clasificación, la primera etapa comenzará en 1939, coincidiendo con su llegada a México, y durará hasta 1949-1951. Esta primera etapa de arquitectura no construida se puede considerar la de asentamiento. Los proyectos de esta etapa no poseen una unidad, sin semejanzas suficientes como para generar una identidad, y no poseen características que influyan en sus posteriores proyectos.

La segunda etapa se lleva a cabo con Félix Candela residiendo aún en México. Su comienzo queda claramente marcado en 1949 con la realización de su primera estructura laminar; aunque no es hasta 1951 cuando Candela abandona totalmente los proyectos difusos que estaba desarrollando anteriormente. Esta etapa de arquitectura no construida coincide plenamente con su obra construida, y es sin duda la de su máximo esplendor. Caracterizada por la realización de estructuras laminares y la geometría del paraboloide hiperbólico tendrá su apogeo hasta 1964. Entre 1964 y 1968 comienza un nuevo periodo de transición, donde alternará proyectos constituidos por estructuras laminares y estructuras reticulares metálicas.

La tercera etapa comenzará en 1968, con la construcción del palacio de los deportes para las olimpiadas de México. Si atendemos únicamente a su obra construida, este proyecto carece de sentido en la clara evolución de las estructuras laminares que Candela desarrolló en los años anteriores. A su vez pondría un fin a la obra de Candela, ya que fue su última gran obra construida.

Es por este motivo que varios autores consideran al estadio olímpico de México como la culminación a la espléndida trayectoria de Félix Candela. Lejos de ser la culminación de una etapa, su arquitectura no construida nos muestra que el palacio de los deportes de México marca el comienzo de una nueva trayectoria, caracterizada por la realización de grandes estructuras cupulares con un cerramiento superficial basado en la geometría de paraboloides hiperbólicos.

Esta etapa se desarrolla entre 1965 y 1972, aunque teniendo en cuenta que hasta 1968 prosiguió realizando una cantidad importante de estructuras laminares, parece más adecuado considerar los años comprendidos entre 1964-1968 como un periodo de transición. Coincidiendo con un periodo de grandes cambios a nivel personal en la vida de Félix Candela, esta etapa se lleva a cabo con la residencia de Candela entre México y Estados Unidos, rompiendo el claro esquema que mencionamos previamente.

A diferencia de los que sucedía con las etapas anteriores, el fin de esta tercera etapa queda claramente marcado en 1972, siendo el comienzo de la cuarta etapa el que no queda nítidamente establecido.

Al igual que sucedía con su primera etapa, los proyectos pertenecientes a este último cuarto periodo no mantienen una línea clara de actuación.

Esta nueva etapa queda caracterizada por las colaboraciones que realizará Candela con diversos arquitectos, pudiendo subdividirse en varias etapas que se entrelazan en el tiempo. De manera más genérica, y abarcando años de inactividad, la cuarta y última etapa de Félix Candela abarcaría desde 1972 hasta 1997.

Los proyectos realizados durante los últimos años de Félix Candela estarán fuertemente influenciados por sus colaboradores, y por el abandono de la geometría de los paraboloides hiperbólicos.

Félix Candela es considerado como una figura independiente y aislada en el panorama arquitectónico, ajena a lo que sucede a su alrededor. Los estudios y análisis realizados hasta el momento sobre su obra se centran casi exclusivamente en aspectos constructivos y estructurales, lo que ha dado lugar a posteriores malinterpretaciones sobre su figura, llegando incluso a tenerle en cuenta como ingeniero en lugar de arquitecto. Profundizando en sus escritos encontramos teorías y críticas sobre arquitectura que muestran que lejos de mantenerse al margen de lo que estaba sucediendo en el mundo, adopta una posición en contra de la arquitectura racionalista del movimiento moderno, y vinculada al expresionismo estructuralista de los años 50 del siglo XX. Una arquitectura que justifica su forma a través de la estructura, de las técnicas constructivas y de los materiales empleados.

1.2 Objetivos

El objetivo principal del presente trabajo consiste en realizar un análisis de la arquitectura no construida de Félix Candela. Se pretende mostrar la evolución completa de la obra de Félix Candela -para lo que es necesario recurrir a su obra no construida-, completando la visión parcial que se tiene con su obra construida.

Se persigue realizar un estudio que abarque no solo el punto de vista constructivo y estructural, sino que sirva a su vez para cubrir las lagunas existentes en torno a la figura de Félix Candela y entender su obra bajo parámetros arquitectónicos, no solo técnicos.

Otro objetivo consiste en profundizar en el estudio geométrico de los proyectos de Candela, debido a la gran importancia que éste le otorgaba a la geometría en el diseño y a la escasez de este tipo de análisis en las publicaciones realizadas hasta el momento.

Actualmente los archivos originales de Candela se encuentran dispersos principalmente en España, México y Estados Unidos. Por este motivo se ha planteado como otro objetivo catalogar los documentos referentes a los proyectos de Candela, indicando la ubicación de los originales y realizando una recopilación de una selección de los mismos.

Al tratarse de proyectos que no se llegaron a construir, la documentación original que se conserva es incompleta y en ocasiones contradictoria, y aparecen variaciones en torno a diferentes ideas. Se plantea como otro objetivo la reconstitución gráfica de una selección de proyectos que permita, por un lado, tener acceso a una documentación completa y detallada, y por otro, posibilite realizar análisis y simulaciones de los proyectos.

1.3 Estructura

Para la realización de la tesis se ha combinado el lenguaje escrito con el gráfico. De esta manera, en cada hoja aparecen paralelamente dos columnas. Una en la que se desarrollan los textos - aportando los datos necesarios- y otra que se puede leer mediante dibujos e imágenes. El formato es horizontal para facilitar la composición de estas dos columnas.

El trabajo se divide en tres partes:

- Primera parte: aspectos generales y contexto.

El comienzo del trabajo se corresponde con los elementos necesarios para realizar un trabajo de investigación: el objetivo del propio trabajo, la estructura, el método a seguir y el estado de la cuestión.

A continuación se incluye el contexto de la vida y obra de Félix Candela, pretendiendo ser una introducción a las teorías de Félix Candela y su aplicación a la arquitectura. La razón estructural que éste defendió y dio forma a sus proyectos, frente a la razón funcionalista del movimiento moderno predominante en la época. La razón estructural frente a la razón funcionalista.

- Segunda parte: resultados de la investigación. La arquitectura no construida de Félix Candela, que se divide en cuatro etapas:

- La primera etapa se centrará en los primeros proyectos que desarrollará Candela, tras su llegada a México, entre 1939 y 1949-1951

- La segunda etapa se corresponderá con el periodo de estructuras laminares comprendido entre 1949-1951 y 1964-1968.

- La tercera etapa: grandes cúpulas con cerramiento parabólico – hiperbólico, desarrolladas entre 1965-1968 y 1972.

- La cuarta etapa, los últimos proyectos de Félix Candela, que desarrollará en colaboración de otros arquitectos (1972-1997).

Cada una de estas etapas presenta una subestructura que varía de una a otra. Existen a su vez periodos de transición entre las cuatro etapas, de ahí que no se puedan establecer fechas puntuales.

- Tercera parte: conclusiones, bibliografía, anexos, así como un listado de los proyectos de Félix Candela.

La tesis se divide en diez capítulos, que se enmarcan en las tres partes mencionadas:

1. Primera parte:

- Capítulo I. Aspectos generales.
- Capítulo II. Contexto.

2. Resultados

- Capítulo III. Primera etapa: los inicios de Félix Candela.
- Capítulo IV. Segunda etapa: estructuras laminares parabólico – hiperbólicas.
- Capítulo V. Tercera etapa: grandes cúpulas con cerramiento parabólico hiperbólico.
- Capítulo VI. Cuarta etapa: los últimos proyectos de Félix Candela.

3. Tercera parte

- Capítulo VII. Catálogo de proyectos de Félix Candela.
- Capítulo VIII. Anexos.

- Capítulo IX. Conclusiones.
- Capítulo X. Bibliografía.

1.4 Metodología

El método utilizado para la realización de la tesis ha seguido un diseño cualitativo-interpretativo, de estudio de casos.

El desarrollo del trabajo se ha dividido en tres fases. La primera consistió en el estudio de la extensa documentación publicada acerca de Félix Candela y su obra. Por las necesidades del trabajo, este estudio se extendió a la geometría de superficies, especialmente la del paraboloide hiperbólico. A su vez fue necesario ampliar el contexto a los movimientos arquitectónicos del siglo XX.

Una vez establecidos varios ámbitos de investigación e hipótesis, la segunda fase consistió en la recopilación de documentación de diferentes fondos documentales. De este modo aparecieron documentos no publicados que permitieron concretar dichas líneas y establecer el tema definitivo para la tesis doctoral.

La tercera fase consistió en el desarrollo de las hipótesis planteadas, así como el análisis y reconstitución de la arquitectura no construida de Félix Candela.

Estas tres fases no han seguido una evolución lineal, pues los nuevos hallazgos hacían replantear hipótesis anteriores, y la gestión del tiempo condujo a que las reconstituciones de los proyectos se realizaran gradualmente durante todos los años que duró el proyecto de investigación.

Para desarrollar la tesis ha sido fundamental el empleo de numerosos programas informáticos que han permitido la reconstitución tridimensional precisa de los proyectos y la verificación de hipótesis; modelado de mallas, geometría NURBS, simulaciones de iluminación, delineación mediante CAD, tratamiento de texturas, animaciones... así como el uso de código de

programación que permitiera reducir el tiempo necesario para la elaboración del extenso trabajo. El desarrollo paramétrico de las bóvedas ha permitido acelerar el proceso de reconstitución de las obras de Candela, al poder variar de una bóveda de tres, cuatro, cinco... hasta doce lóbulos sin necesidad de comenzar cada proyecto.

El empleo de las nuevas tecnologías se ha combinado con el dibujo tradicional, aportando resultados que tratan de alejarse de las imágenes convencionales de renderizado 3D.

Tras la reconstitución de los proyectos se han podido realizar análisis detallados de los mismos y su geometría, fundamental en la obra de Candela. Se combina durante el trabajo un lenguaje escrito con otro gráfico, complementándose el uno al otro.

Desarrollo paramétrico de las bóvedas de arista de Félix Candela. Imágenes del autor

1.5 Estado de la cuestión

La obra construida de Félix Candela ha sido extensamente publicada, no sucediendo lo mismo con su obra no construida.

A finales de los años 80, Félix Candela donó a la “Avery Architectural & Fine Arts Library” de la Universidad de Columbia la mayor parte de sus documentos, incluyendo planos y correspondencia. Dicha biblioteca posee un archivo de 12 metros cúbicos destinados únicamente a los documentos que Candela donó. Allí se encuentran los cientos de proyectos realizados por su empresa Cubiertas Ala, que incluyen la mayor parte de sus estructuras laminares y los proyectos pertenecientes a su tercera etapa, las grandes cúpulas.

Existen a su vez otras dos fuentes documentales de menor importancia: los archivos de la universidad de Princeton (cedidos por Dorothy Candela), y los documentos que se encuentran en la Universidad Nacional Autónoma de México.

Las hijas de Candela donaron a la UNAM los planos que Candela había dejado en México tras mudarse a Estados Unidos. Éstos son los correspondientes a su primera etapa, que Candela no cedió a la universidad de Columbia, al darles poca importancia o tal vez no pretender mostrarlos al público.

Sin embargo, ninguna de estas tres universidades posee documentos relacionados con la cuarta etapa de Félix Candela, al desarrollarse esta en estudios u oficinas donde permanecerían los planos.

Las publicaciones realizadas sobre Félix Candela están basadas principalmente en estos tres fondos documentales, por lo que las carencias de éstos en la cuarta etapa siguen vigentes en las publicaciones actuales.

Aparecen así dos nuevos fondos documentales referentes a Félix Candela, desconocidos a la fecha de la escritura de esta tesis: los colegios de arquitectos de Madrid y Cataluña, donde se conserva la documentación referente a la cuarta y última etapa de Candela.

La Fundación Emilio Pérez Piñero posee documentos originales referentes a la colaboración realizada entre los dos arquitectos, así como copias de la correspondencia entre Candela, Piñero, Carlos de Miguel (director de la revista *Arquitectura*), Rafael de la Hoz y la empresa constructora Dragados, que se originaron por el proyecto para la cubierta del Velódromo de Anoeta.

Cabe destacar el libro publicado en 1963 por Colin Faber, "las estructuras de Félix Candela", que incluía una selección del propio Candela de proyectos tanto construidos como sin construir. Su pronta publicación, sin embargo, ha dado lugar a que falten muchos de los proyectos fundamentales para el entendimiento de la obra completa de Candela, no llegando a incluir ningún proyecto perteneciente a la tercera o cuarta etapa (ni la primera, no incluida a propósito).

En 1994, con motivo de la exposición celebrada en el depósito de Isabel II (Madrid), Miguel Seguí escribe el libro titulado: *Félix Candela, arquitecto* (MOPTMA. Instituto Juan de Herrera, 1994. Madrid), donde incluye información inédita relativa a proyectos no construidos que se encontraba en los archivos de la universidad de Columbia.

El mismo Miguel Seguí vuelve a escribir un libro, *Félix Candela y Emilio Pérez Piñero: un diálogo imaginal* (Ministerio de vivienda) en el año 2004. Esta vez con motivo de la exposición "Arquitecturas ausentes", donde muestra información de proyectos correspondientes a la tercera etapa de Candela.

En el año 2010, con motivo del cumplimiento del centenario de Félix Candela, se realizaron dos exposiciones, con amplios catálogos. La primera, comisariado por Pepa Cassinello, se centra en la obra construida. La segunda, comisariado por Juan Ignacio del Cueto, incluye los planos de los

proyectos pertenecientes a la primera etapa, archivados en la UNAM desde que las hijas de Candela los donaran a dicha universidad.

Dada la importancia y repercusión que alcanzó Félix Candela, los proyectos -ya sean construidos o no- realizados para concursos están publicados en las revistas de arquitectura de la época, no sucediendo lo mismo con los encargos privados que no llegaron a construirse.

En cuanto a los aspectos biográficos de Candela, están profundamente detallados hasta 1971 por Juan Ignacio del Cueto en el catálogo ya mencionado. Miguel Seguí, en su segundo catálogo publica información relativa a la vida de Félix Candela hasta 1980. Poco es lo que hay publicado acerca lo que sucedió tras este año.

En cuanto a los análisis geométricos acerca de las obras de Candela, volvemos a mencionar el libro escrito por Colin Faber en 1963, que, aunque no tuviera esa finalidad, contenía los dibujos originales de Candela, auto-explicativos en esta materia.

Mención especial merece el artículo realizado por Carmen García Reig para la exposición en Madrid en conmemoración del centenario de Candela (2010), realizando un estudio geométrico impecable sobre las estructuras laminares (todos proyectos construidos).

A continuación se detalla el estado de la cuestión referente a cada una de las cuatro etapas que se desarrollarán a lo largo de la presente tesis.

1.5.1. Publicaciones referentes a los proyectos comprendidos entre 1939 y 1941-1951. Los inicios de Félix Candela.

Ya hemos mencionado la existencia de las tres fuentes documentales principales de Félix Candela. Los archivos de la universidad de Columbia, de la universidad de Princeton y de la universidad nacional autónoma de México.

Cuando Félix Candela donó a la “Avery Architectural & Fine Arts Library” de la Universidad de Columbia sus documentos, no incluyó los primeros proyectos que realizó tras su llegada a México. Los planos de estos proyectos se quedaron en México después de que Candela se mudara a Estados Unidos, hasta que las hijas de Félix Candela los donaran a la UNAM. La universidad de Princeton posee algunos documentos relativos a esta etapa.

Hasta el año 2010 no existía ninguna publicación relativa a estos proyectos, ni siquiera en las revistas de la época. Fue con motivo de la exposición celebrada en conmemoración del centenario de Félix Candela 1910-2010, comisariada por Juan Ignacio del Cueto, cuando por primera vez estos documentos verán la luz. El libro publicado con motivo de la exposición² recoge planos originales de estos primeros proyectos, así como correspondencia y dibujos de Félix Candela.

La menor de las tres fuentes documentales poseía, hasta la celebración de la exposición, documentos totalmente inéditos de Félix Candela.

A su vez, la tesis doctoral de Luis Basterra Otero titulada: "las estructuras arquitectónicas de Félix Candela, una revisión actual" de 1998, incluía uno de estos proyectos (proyecto para un hospital

² VARIOS. 2010. "Félix Candela 1910 – 2010". SECC. Madrid.

en México, 1949). Esta tesis se centra en aspectos constructivos y estructurales de varias obras construidas de Félix Candela

1.5.2. Publicaciones referentes a los proyectos comprendidos desde 1949-1951 hasta 1964-1968. Estructuras laminares.

La etapa de las estructuras laminares es la más publicada y difundida de Félix Candela. Fue durante estos años y con estas construcciones cuando Candela alcanzó la fama y prestigio internacional. En cuanto a sus proyectos no construidos mediante estructuras laminares, como es lógico, no han tenido la misma difusión que las obras construidas, aunque algunos de estos proyectos hubieran tenido gran repercusión.

La mayor fuente documental de esta etapa se encuentra en los archivos de la “Avery Architectural & Fine Arts Library” de la Universidad de Columbia, que posee casi todos los planos pertenecientes a la empresa Cubiertas Ala, bajo la cual se realizaron la mayor parte de las estructuras laminares de Candela.

El libro escrito por Colin Faber en 1963, "*Candela, the Shell builder*" (Architectural Press. London) recoge las obras tanto construidas y no construidas más significativas de esta etapa, hasta 1963, quedando los últimos años, así como obras a las que Candela otorgaba menor importancia, sin documentar.

En 1994, Miguel Seguí, en su libro: Félix Candela, arquitecto. (MOPTMA. Instituto Juan de Herrera, Madrid) hace públicos documentos de la universidad de Columbia, que muestran algunas estructuras laminares no construidas.

En el año 2010, la exposición comisariado por Juan Ignacio del Cueto, "Félix Candela 1910-2010" publica un proyecto no construido inédito del año 1949.

En las publicaciones referentes a los proyectos no construidos de Candela, los documentos presentados son escasos y en ocasiones insuficientes para entender el proyecto, por lo que una reconstrucción gráfica parece conveniente.

En las revistas de arquitectura de la época, las publicaciones de Candela y sus estructuras laminares son frecuentes, pero solo en lo referente a proyectos construidos.³

A pesar del fuerte carácter geométrico de las obras de Candela, sólo existe una publicación que profundiza en un análisis geométrico de sus proyectos (construidos). Ésta fue realizada por Carmen García Reig y publicada en el catálogo de la exposición "Félix Candela, centenario 1910-2010". Por su parte, Juan Ignacio del Cueto publicó videos esquemáticos en la exposición "Félix Candela, el constructor prodigioso", donde se puede entender la geometría de los proyectos seleccionados (construidos).

La mayor fuente de información proviene de los libros publicado en 1963 por Colin Faber, "Las estructuras de Félix Candela", y el catálogo de la exposición "Félix Candela, arquitecto" de 1994. A pesar de no abordar análisis sobre estas obras, muestran los dibujos de Candela, auto-explicativos sobre su geometría.

El caso del proyecto para el mercado de México en 1956 es muy diferente. Apenas existe documentación publicada, y mucho menos análisis sobre él. Colin Faber, en su libro "las

³ Existen una gran cantidad de artículos acerca de la obra construida de Félix Candela. Éstos se detallan en la bibliografía, con ánimo de no extendernos en exceso en este apartado.

estructuras de Félix Candela”⁴, nos informa que en 1956 Candela realiza un proyecto para un mercado utilizando la figura geométrica del paraboloide hiperbólico. Dicho proyecto nunca se llegó a construir, aunque en palabras del mismo Colin Faber, de haberse materializado hubiera sido el proyecto más importante jamás realizado por Candela.

En esta publicación tan solo aparece un dibujo en perspectiva axonométrica y un alzado esquemático del proyecto, los dibujos que el propio Félix Candela había facilitado a Colin Faber para que realizara su libro.

Este proyecto para un mercado caerá en el olvido hasta que en 1994, Miguel Seguí realizara una selección de las obras de Félix Candela con motivo de la exposición dedicada a este arquitecto, en el depósito Elevado del Canal de Isabel II⁵. Entre los dibujos allí presentados, aparece una nueva perspectiva cónica de dicho proyecto que se encontraba oculta entre los muchos documentos que Félix Candela donó a la universidad de Columbia; sin embargo, este dibujo aparecía como parte de la fábrica embotelladora Bacardí.

El proyecto gana especial relevancia si nos fijamos en la fecha en la que se produjo. 1956 es el mismo año en el que Félix Candela realiza la iglesia de San Antonio de las Huertas, primera obra en la que utiliza la geometría del paraboloide hiperbólico para generar bóvedas de arista con el borde libre. A su vez, la bóveda central mostrada en la axonometría salva una luz de 52 metros, la mayor que Candela jamás hubiera realizado.

⁴ FABER, Colin. 1963. *Candela, the Shell builder*. Architectural Press. London. Páginas 108 y 109.

⁵ SEGUÍ BUENAVENTURA, Miguel. 1994. *Félix Candela arquitecto: exposición, depósito Elevado del Canal de Isabel II*. MOPTMA, Instituto Juan de Herrera. Madrid. Página 109.

También es en el libro realizado por Colin Faber⁶ donde aparece la única publicación acerca de la Catedral de Villahermosa. Tan solo una perspectiva cónica nos permite ver el proyecto, suficiente para realizar una reconstitución gráfica. Luis Basterra Otero hace referencia a este proyecto en su tesis doctoral, en la página 198.

1.5.3. Publicaciones referentes a los proyectos comprendidos desde 1965 - 1968 hasta 1972. Grandes cúpulas.

Como ya hemos mencionado, la obra construida de Félix Candela ha sido extensamente publicada, aunque esta afirmación solo es del todo cierta en lo que se refiere a su obra construida, es decir al Palacio de los Deportes de México y a sus anteriores estructuras laminares. No sucede lo mismo con los proyectos no construidos, donde se incluyen la mayor parte de la arquitectura cupular de Candela.

Este hecho ha dado lugar a malinterpretaciones, al existir una visión sesgada sobre los proyectos de Félix Candela.

Se ha escrito que el Palacio de los Deportes de 1968 fue la culminación de la trayectoria de Candela, siendo uno de los objetivos de este trabajo mostrar como lejos de ser el remate a una trayectoria, el estadio olímpico de México marca el comienzo de otra nueva, a pesar de que ninguno de los proyectos de esta nueva etapa se llegaron a construir.

⁶ FABER, Colin. 1963. *Candela, the Shell builder*. Architectural Press. London. Páginas 108 y 109. Páginas 142 y 143.

Muchas son las publicaciones existentes acerca del Palacio de los Deportes para las olimpiadas de México 68, icono de unos juegos olímpicos y considerada por varios autores como la obra culmen de Félix Candela. La mayor parte de las publicaciones de esta obra se centran en cuestiones constructivas y estructurales (como sucede con la obra en general de Candela), sin entrar en las demás cuestiones arquitectónicas que posee; ni analizar la relación con el resto de sus proyectos, ya sean las estructuras laminares anteriores o las cúpulas posteriores. A pesar de las muchas publicaciones sobre el palacio de los deportes, es necesario acudir a diferentes fuentes para poder obtener la información completa de los planos.

No sucede lo mismo con los otros tres proyectos de cúpulas, cuyas publicaciones son escasas e incompletas.

La documentación original de estos proyectos cupulares se encuentra en los archivos de la “Avery Architectural & Fine Arts Library”, cedidos por el propio Félix Candela.

Podemos encontrar algunos de los planos del Palacio de los Deportes publicados en las revistas de arquitectura del año 1968. La revista architectural record (Noviembre de 1968, páginas 42-43) muestra documentación sobre la solución de Candela, así como las demás instalaciones deportivas que se construyeron para las olimpiadas (piscina, gimnasio y estadio de fútbol), aunque podemos encontrar estos mismos planos en otras muchas revistas de ese mismo año.

La Revista Nacional de Arquitectura, en Febrero de 1969 (18 páginas sin numerar) realiza una publicación más interesante para nuestro trabajo, ya que nos muestra los diferentes proyectos que se presentaron al concurso junto a Félix Candela en 1968, tanto del palacio de los deportes como de la piscina y gimnasio olímpicos.

El concurso para la ciudad deportiva de Kuwait fue publicado en la revista "Architectural design" en Marzo de 1970 (páginas 134-137); así como en "Japan architect" en la edición de Enero-

Febrero del año 1971 (páginas 21-92). Mostrando las cuatro propuestas que se presentaron al concurso, haciendo especial hincapié en el proyecto ganador de Kenzo Tange en colaboración con Frey Otto. En estas publicaciones tan solo aparece el pabellón de baloncesto del proyecto de Candela, sin mostrar la piscina cubierta y el estadio de fútbol.

La Revista Nacional de Arquitectura, en Diciembre de 1969 (páginas 26-31) dedica un artículo al proyecto de la ciudad deportiva en Kuwait de Candela, sin mostrar las propuestas de los demás concursantes. Aquí si aparece el proyecto completo, mostrando los tres edificios y la relación entre ellos.

La cubierta para el velódromo de Anoeta fue publicada en la Revista Nacional de Arquitectura en Julio el 1972, dedicando sus primeras cuarenta páginas a este proyecto y a la noticia del fallecimiento de Emilio Pérez Piñero.

A su vez en la revista Nueva Forma, en Junio de 1970, aparece una imagen de una maqueta de Emilio Pérez Piñero que podría tener relación con el proyecto de Anoeta.

Las instalaciones deportivas de la universidad Brown, no aparecen publicadas en revistas de arquitectura, al tratarse de un encargo privado que no se llegó a construir.

En cuanto a las publicaciones recientes, el catálogo de la exposición sobre Félix Candela en el depósito elevado del Canal de Isabel II, en 1994 por Miguel Seguí⁷, recoge gran parte de la documentación original contenida en la “Avery Architectural & Fine Arts Library”, incluyendo planos e imágenes de la construcción del Palacio de los Deportes, así como algunos planos del

⁷ SEGUÍ BUENAVENTURA, Miguel. 1994. *Félix Candela arquitecto: exposición, depósito Elevado del Canal de Isabel II*. MOPTMA, Instituto Juan de Herrera. Madrid.

pabellón de baloncesto de la ciudad deportiva de Kuwait y de las instalaciones deportivas de la universidad de Brown.

El mismo Miguel Seguí vuelve a publicar en el año 2004 el libro "Candela-Pérez Piñero, un diálogo imaginal" con motivo de la exposición Arquitecturas Ausentes. Esta segunda obra de Miguel Seguí es la única publicación en la que aparecen los proyectos cupulares de Félix Candela, junto a las estructuras laminares que desarrolló anteriormente. El libro muestra la colaboración entre Candela y Piñero, y la correspondencia mantenida entre ambos con motivo del concurso del velódromo de Anoeta que realizaron conjuntamente.

La excelente publicación realizada por Miguel Seguí es especialmente novedosa, y nos permite entrever una nueva línea de actuación en la arquitectura de Félix Candela. Sin embargo, y debido a la escasa documentación existente entorno a los proyectos no construidos de Félix Candela, aparece un error que se trasladará a publicaciones posteriores.

Según este libro, la decisión que tomó Candela para desarrollar la geometría del Palacio de los Deportes surge a partir de un consejo de Piñero, y lo volverá a utilizar en los proyectos posteriores:

“En la solución del Palacio de los Deportes, al parecer intervino un consejo de Emilio Pérez Piñero, que le indicó a Candela la oportunidad de hacer pasar los planos contenedores de los arcos por el polo sur en lugar de por el centro de la esfera. De este modo, se puede plantear mayor peralte en la cúpula (optimización de esta forma como estructura; minimizando la transmisión de esfuerzos horizontales al terreno o elementos intermedios)...”⁸

⁸ SEGUÍ, Miguel. Candela-Pérez Piñero, un diálogo imaginal. Editorial Rueda 2004, 31-32. Madrid

Sin embargo, Candela empleó esta distribución geométrica para una de las propuestas que realizó en las instalaciones deportivas de la Universidad Brown, no en el Palacio de los Deportes de México, y no volvió a optar por esa solución en los proyectos posteriores.

La poca difusión de las instalaciones deportivas de la Universidad Brown explica esta confusión, y al tratarse la obra de Miguel Seguí de la única publicación que abarca este tema, se transmite hacia publicaciones posteriores.

Los catálogos de las exposiciones realizadas en conmemoración del centenario de Félix Candela en el año 2010 (fundación Juanelo Turriano, UPM y ayuntamiento de Madrid comisariada por Pepa Cassinello, y UNAM, IVAM, Ministerio de cultura de España comisariado por Juan Ignacio de Cueto) se centran en las estructuras laminares de Candela y el estadio olímpico de México. De nuevo, la confusión en la geometría del Palacio de los Deportes de México se vuelve a repetir.

En cuanto a la geometría, a pesar de la importancia de ésta en la arquitectura de Félix Candela, los análisis geométricos acerca de su obra son escasos. El libro "Candela, the shell builder" por Colin Faber, publicado en 1963 incluía los dibujos originales de Candela, auto-explicativos de la geometría de sus proyectos. Incluía una selección de obras tanto construidas como sin construir elaborada por el propio Candela, pero su pronta publicación no permite que aparezcan estas cúpulas.

La segunda exposición en conmemoración por el centenario de Candela comisariado por Juan Ignacio del Cueto, presentaba imágenes inéditas de la "Avery Architectural & Fine Arts Library" de maquetas del Palacio de los Deportes.

Yutaka Saito publica en 1995 un libro sobre Félix Candela centrado en fotografías de sus proyectos, incluyendo nuevos planos sobre el entorno del estadio olímpico de México y pequeños esquemas geométricos.

Por último, cabe mencionar la fundación Emilio Pérez Piñero, en cuyo museo ubicado en Calasparra (Murcia) se conservan documentos originales realizados por el propio Emilio Pérez Piñero así como maquetas del velódromo de Anoeta, incluyendo la donada por la Universidad de Arquitectura de Alicante.

La maqueta definitiva realizada por Piñero para el concurso de la cubrición del Velódromo de Anoeta se encuentra en la Universidad de Columbia (“Avery Architectural & Fine Arts Library”), tras la donación que realizó Félix Candela. La maqueta se trasladó desde España a Illinois, en donde Candela había establecido su nueva residencia tras 1970.

Con respecto al este proyecto, la cúpula para el Velódromo de Anoeta, las pocas publicaciones realizadas hasta la fecha presenta información contradictoria, intentando el presente trabajo aclarar los hechos.

1.5.4. Publicaciones referentes a los proyectos comprendidos desde 1972 hasta 1997. Los últimos proyectos de Félix Candela.

Tras 1972 comienza la época menos conocida de Félix Candela que se prolongará hasta 1997, fecha en la que fallecerá. Prácticamente ningún proyecto de Candela llegó a construirse durante estos años, lo que ha contribuido al desconocimiento de esta última etapa.

Se ha escrito que durante estos años Candela solo actuará como consultor, siendo esta una afirmación incorrecta, pues compatibilizará este trabajo con colaboraciones arquitectónicas. Con residencia en Estados Unidos, Candela viajará por todo el mundo: España, Ryad, Grecia, Arabia, Jeddah, Londres, París... Los proyectos pertenecientes a este periodo no mantienen una línea de actuación común, ya que se verán influenciados por los diferentes colaboradores de Candela, pudiendo incluso subdividirse en varias etapas realizadas en la misma franja de tiempo.

No existe, a día de hoy, ninguna publicación relativa a la colaboración realizada entre Félix Candela y Fernando Higuera, y en general acerca de esta cuarta etapa. Aparecen publicados algunos de los proyectos de manera dispersa y, en la mayoría de los casos, sin mencionar a Candela como autor o colaborador.

El desconocimiento de las obras realizadas durante la última etapa de Candela se debe principalmente a que los proyectos relativos a estos años no se encuentran en ninguno de los tres principales fondos documentales que se han empleado para la realización de las publicaciones de Candela (“Avery Architectural & Fine Arts Library” de la Universidad de Columbia, Princeton University y UNAM).

Ninguna de estas tres universidades posee documentos relacionados con la colaboración de Candela en el estudio de Fernando Higuera, pues los planos y maquetas que realizaron conjuntamente se quedaron en este estudio. Más tarde, los planos originales pasarían a formar parte de los fondos documentales del Colegio Oficial de Arquitectos de Cataluña, mientras que las maquetas se conservan en el Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.

A su vez, algunos de los planos originales fueron fotocopiados y enviados al COAM. Tras visitar el Colegio de Arquitectos de Cataluña, se ha comprobado que varios de los planos originales han desaparecido, por lo que es necesario visitar ambos colegios para poder tener acceso a los documentos completos.

La búsqueda de documentación en el COAM tuvo como resultado la aparición de otro proyecto inédito realizado por Candela en colaboración con Juan de Haro: el conjunto residencial Interplaya para Marbella.

El propio Fernando Higuera escribió, con la ayuda de Lola Botia, su currículum autobiográfico hasta 1984, donde aparecen la mayor parte de los proyectos que desarrolló junto a Félix Candela. Sin

embargo, tan solo en uno de los proyectos se hace referencia a Félix Candela. Este trabajo se publicó en 1985, realizándose un número muy limitado de copias. El libro no se comercializa, por lo que el acceso a su información puede resultar complicado.

Miguel Seguí, en su libro "Candela, Pérez Piñero, un diálogo imaginal", y Juan Ignacio del Cueto, en el catálogo de la exposición sobre el centenario de Félix Candela (IVAM), escriben que Candela llegó a colaborar con Fernando Higueras, pero no aparece ningún aspecto de esta colaboración ni los proyectos que desarrollaron.

La colección digital de la Universidad Politécnica de Madrid posee los planos del anteproyecto de edificio para la procuraduría general del estado de Veracruz Xalapa, firmados por Félix Candela y la empresa Typsa S.A, aunque no refleja la colaboración con Fernando Higueras. Esta misma colección posee algunos de los planos del concurso para el centro cultural islámico de Madrid, sin mencionar la colaboración de Félix Candela.

A su vez Luis Bastera Otero, en su tesis doctoral⁹, dedica tres páginas para comentar la relación entre Félix Candela y Fernando Higueras.

El hecho de que Félix Candela no firmara estos proyectos, debido a que a partir de 1979 pasó a percibir una pensión por parte de la Hermandad de Arquitectos, dificulta aún más el conocimiento de su participación en ellos.

⁹ BASTERRA, Luis. Las estructuras arquitectónicas de Félix Candela: una revisión actual. Tesis doctoral. 1998. Valladolid. Páginas 207, 208 y 209.

Capítulo II

Contexto. Análisis sincrónico y diacrónico

2.1 Contexto.

Si el contexto es siempre un factor decisivo, en el caso de Félix Candela Outeriño lo es aún más. Para comprender la obra de Candela es imprescindible conocer el contexto en la que ésta se sitúa. Dentro de “contexto” englobaremos tres parámetros: el país en el que se desarrolla su obra, la época, y las circunstancias personales de Candela.

2.1.1 Circunstancias personales, la lucha por la supervivencia.

Félix Candela nació en Madrid en 1910, y estudió en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, escuela que, como dice Ricardo Aroca *“históricamente ha mantenido una importante componente técnica en sus planes de estudio”*. Esta componente técnica profundiza en la geometría descriptiva, que al parecer se le daba especialmente bien a Félix Candela, impartiendo clases particulares a sus compañeros durante sus primeros años en la universidad. Su formación en la Escuela de Madrid y los conocimientos que en ella adquirió, tanto a nivel estructural como geométrico, influirán de manera decisiva en las soluciones formales de sus obras.

Tras la Guerra Civil española, Félix Candela Outeriño se exilió en México (1939), un país que como veremos a continuación, favorecerá el desarrollo de su singular obra. Félix Candela se encontraba sólo en un nuevo país con sus conocimientos como única arma para salir hacia adelante, lo que provocará que se sitúe en una posición de lucha por su supervivencia; una lucha que tendrá como resultado la búsqueda de las soluciones más prácticas y sencillas frente las experimentaciones formales y “juegos compositivos” que otros arquitectos podrán permitirse. La componente estética o puramente formal quedó forzosamente relegada a un segundo plano, y fue la economía la que adquirió el principal protagonismo. Lejos de realizar proyectos convencionales, esa lucha por la supervivencia le llevó a optimizar y a abaratar las soluciones existentes, a la utilización de láminas curvas de hormigón por su mejor comportamiento estructural (y su consecuente ahorro de material), y de superficies regladas (el paraboloide hiperbólico), por la posibilidad de realizarse únicamente a partir de rectas.

“En las estructuras orgánicas de la naturaleza, cuyo proceso de diseño por selección natural, por supervivencia, es mucho más perfecto que el que empleamos los humanos, rara vez aparece el plano.”¹

¹ CANDELA, Félix. Conferencia sobre estereoestructuras 1953. En defensa del formalismo y otros escritos. Xarait Ediciones, 1985. Pág 92.

2.1.2 México como país donde se desarrolla su obra. Condiciones económicas del país.

Eduardo Torroja explica en su manuscrito de la cubierta laminar del frontón Recoletos de Madrid como el abaratamiento que se produce al necesitar menos cantidad de material no compensa el incremento en el coste que supone la realización de los complicados encofrados.

Aunque la forma geométrica del paraboloide hiperbólico eliminaba el problema de construir formas curvas, nos estaríamos engañando si pensáramos que económicamente es más rentable construir un cascarón de hormigón con forma de paraboloide hiperbólico que una estructura convencional reticulada.

Es en este aspecto en el que adquiere especial relevancia México. A mediados del siglo XX, la mano de obra en México era muy barata, lo que permitió que Candela contara con numerosos trabajadores para realizar sus encofrados artesanales, y las reglamentaciones en cuanto a normativa de construcción eran escasas (espesores, coeficientes, recubrimientos...). Tal y como escribe Ove Arup, la obra de Candela solo podía haberse producido en este país por sus circunstancias económicas; una afirmación demasiado tajante, pues un estudio de las construcciones de la época nos muestra como otros arquitectos e ingenieros como Heinz Isler realizaron una obra de similares características.

Mientras que en Europa y Estados Unidos ya se estaban realizando estructuras similares con paneles prefabricados, el bajo grado de industrialización de México junto con el bajo coste de la mano de obra, dio lugar a que Candela optara por la solución más adecuada, la realización artesanal de encofrados de madera. Frente al mecanicismo de Centro Europa, las obras de Candela presentan un carácter artesanal que generaban en los trabajadores un sentimiento de

gratificación personal por un trabajo colectivo bien realizado, pudiendo apreciar los escultóricos encofrados que habían levantado antes de culminar la obra.

Aun así, Candela siempre continuó investigando la manera de abaratar aún más sus obras, lo que le llevó a realizar proyectos modulares en los que podían reaprovecharse los encofrados. Sus famosas estructuras en forma de paraguas son según el propio Candela su mayor aportación, gracias a su posibilidad de repetición, bajo coste y alto rendimiento. Estas estructuras de paraguas permitieron crear cubiertas de hormigón a un precio inferior al de las estructuras convencionales incluso fuera de México, *“destruyendo el mito de que la estructuras de cascarón son factibles solamente con trabajo de esclavos”*².

² FABER, Colin. 1963. *Candela, the Shell builder*. Architectural Press. London. Pág 148

2.1.3 Época

La vida de Candela discurre paralelamente al apogeo de la arquitectura racionalista. Convivió con Le Corbusier, Mies van der Rohe, la Bauhaus y demás iconos del movimiento moderno, pero a su vez con lo que posteriormente se ha llamado la aventura laminar de las “thin concrete shells”, o el expresionismo estructural (neo-expresionismo).

Eduardo Torroja, Eero Saarinen, Nervi... realizarán, junto con Candela, una arquitectura basada en unos principios totalmente diferentes a los racionalistas, la forma como una consecuencia de la estructura. Candela es sin duda uno de los máximos representantes de este movimiento, no solo por ser el arquitecto que más obras de “cascarones” de hormigón ha realizado, sino por la coherencia intelectual de los mismos. Para Candela la forma de la estructura debía adaptarse al material empleado, y en el caso del hormigón la forma idónea es en masa laminar con curvatura, no reticular. Los condicionantes serán constructivos y de ahí la simplificación en paraboloides hiperbólicos.

“Parece lógico pensar que al disponer de un material nuevo –el hormigón armado- su empleo racional debía dar lugar a formas estructurales inéditas, y que estas formas a su vez influirían en la composición arquitectónica.”³

“Las estructuras laminares de hormigón armado son las formas más idóneas para ser construidas por este material.”⁴

³ CANDELA, Félix. Divagaciones estructurales entorno al estilo, 1954. En defensa del formalismo y otros escritos. Xarait Ediciones, 1985. Pág 37.

⁴ CASSINELLO, Pepa. Félix Candela centenario 2010. Varios. Fundación Juanelo Turriano. 2010.

Templo de Poseidón en Paestum, siglo V a.C.
Fuente: Wikimedia commons

Estructura reticular de hormigón armado. Estructura Dom-Inó, Le Corbusier (1914-1915). Fuente: Giedion, S., 1975. Espacio, tiempo y arquitectura, p. 540

2.2 Las convicciones clasicistas. Estructura, forma y espacio.

“La revolución arquitectónica de nuestro siglo ha sido incapaz de librarse de los vicios clásicos de origen. Ganó una fácil victoria contra los medios decorativos (...), pero el esqueleto clásico quedó intacto. Fue una revolución clásica contra el arte clásico.”⁵

Las estructuras modernas deberían reflejar el avance de la técnica y la aparición de nuevos materiales, *“parece lógico pensar que al disponer de un material nuevo –el hormigón armado– su empleo racional debía dar lugar a formas estructurales inéditas, y que estas formas a su vez influirían en la composición arquitectónica”⁶*. Sin embargo, las nuevas estructuras se limitaron a imitar las formas reticulares existentes, unas formas que ya estaban presentes en el mundo griego. La estructura de la arquitectura clásica seguía presente como el esqueleto de la nueva arquitectura clasicista.

La inadecuación estructural auto-impuesta por los constructores griegos al utilizar un sistema adintelado con un material pétreo será la misma inadecuación que adoptarán los arquitectos del movimiento moderno en sus estructuras reticuladas de hormigón armado, un material que sigue siendo fundamentalmente pétreo. Al igual que los griegos copiaron las estructuras de los templos arcaicos de madera para sus templos de piedra, los nuevos arquitectos copiaron las estructuras reticulares de acero y madera para el hormigón armado, en lugar de buscar las nuevas formas adecuadas al nuevo material.

Félix Candela resalta la importancia que la estructura ha tenido a lo largo de la historia de la arquitectura. *“Los cánones griegos –el intercolumnio por ejemplo– obedecen a limitaciones*

⁵ CANDELA, Félix. The Shell as space encloser, 1954. En defensa del formalismo y otros escritos. Xarait Ediciones, 1985. Pág 105.

⁶ CANDELA, Félix. Divagaciones estructurales entorno al estilo, 1954. En defensa del formalismo y otros escritos. Xarait Ediciones, 1985. Pág 37.

evidentes del sistema adintelado. Con el tiempo estas normas van adquiriendo un carácter formal.”⁷ La forma de los templos griegos estaba condicionada por sus limitaciones estructurales, mientras que en la arquitectura medieval la estructura daba lugar a la forma de las catedrales. Los ritmos de los vanos, la dimensión de los espacios interiores... la estructura siempre tenía una repercusión. He aquí la reivindicación de Candela: la misión de los arquitectos consiste en encontrar una forma adecuada para el comportamiento estructural, una forma que a su vez debe ser apropiada para el correcto funcionamiento de los materiales, una forma estructural que será la forma final del proyecto. Una misión que no es inédita en la historia de la arquitectura, pues las catedrales góticas cumplían estos requisitos.

Sin embargo, los arquitectos racionalistas se sitúan en una posición muy distante a buscar esas nuevas formas estructurales. La “libertad” que propone Le Corbusier para la arquitectura con sus cinco puntos elimina a la estructura de las composiciones arquitectónicas. Con la “fachada libre” los pilares se retrasarán respecto de ésta, y la libera de su función estructural. La “planta libre” liberará a la misma de condicionantes estructurales. La “ventana horizontal” no permitirá leer los ritmos estructurales, y la estructura quedará totalmente oculta, sin poder manifestarse. La arquitectura se independiza de su estructura.

Relegada a un segundo plano, la única misión de la estructura será mantener a las construcciones en pie. *“Se pretende que la estructura esté lo que se llama bien calculada y estorbe lo menos posible, dentro de una composición establecida sobre bases funcionales y formales.”*⁸

Frente a la libertad que propone Le Corbusier, Félix Candela encuentra en la arquitectura gótica el momento de máxima libertad en la historia gracias a las formas estructurales que entonces

Izquierda: planta libre de Le Corbusier; derecha: planta condicionada por la estructura. Fuente: Los cinco puntos de una nueva arquitectura, Le Corbusier, 1926.

⁷ CANDELA, Félix. Divagaciones estructurales entorno al estilo, 1954. En defensa del formalismo y otros escritos. Xarait Ediciones, 1985. Pág. 33.

⁸ *Ídem.*

Izquierda: vanos marcando el ritmo estructural; derecha: fachada libre de Le Corbusier. Fuente: Los cinco puntos de una nueva arquitectura, Le Corbusier, 1926.

surgieron. Las bóvedas, los arbotantes, los contrafuertes... generaban formas que no sólo resolvían los condicionantes estructurales, sino que dotaban a los espacios de una fuerza expresiva que cada vez se ausentaba más en la arquitectura racionalista.

La arquitectura racionalista no rechaza a la estructura, pues no podría existir sin ésta, pero sí la relega a un segundo plano. Mies van der Rohe postula que *“toda forma que no se adecue a la estructura debe ser repudiada”*⁹. Ricardo Usón escribe que *“Mies es el mayor poeta de la estructura racional del siglo XX, puesto que sus estructuras están lejanas de todo exhibicionismo, forman parte de la concepción del espacio, por eso son arte.”*¹⁰

Las “fachadas libres” de Mies van der Rohe serán de cristal, mostrando la estructura y la relación que existe entre ambas. Sin embargo, la adecuación entre forma y estructura que propone Mies dista mucho de las concepciones de Candela. En la arquitectura de Mies van der Rohe la estructura queda supeditada al espacio, mientras que el espacio en las obras de Candela es generado por la estructura. Para Candela no existe esa adecuación entre forma y estructura, ya que la forma es la propia estructura y el espacio quedará envuelto y definido por ésta.

La sala de convenciones que Mies realizó en Chicago en 1953 presenta una losa de enormes dimensiones, una losa que evidencia la manera tan diferente de entender la relación forma-estructura entre Mies y Candela. La simplicidad de un plano recto para cerrar un espacio frente al mal comportamiento estructural de una losa plana. *“¿Para qué esforzarse en buscar nuevas formas o preocuparse por el diseño, cuando es mucho más fácil pedir un poco más de resistencia a un cierto material?”*¹¹

⁹ VAN DER ROHE, Mies. Conversaciones con Mies van der Rohe. Gustabo Gili. 2006

¹⁰ USÓN, Ricardo. Arquitectura deportiva. www.ciccp.es/revistaIT/textos/pdf/03.%20R.Uson_66.pdf

¹¹ CANDELA, Félix. The Shell as space encloser, 1954. En defensa del formalismo y otros escritos. Xarait Ediciones, 1985. Pág 108.

Las convicciones clasicistas en Mies van der Rohe son claras. La importancia que recibe la estructura no elimina el carácter estático de sus masas cúbicas, aun siendo de cristal. Los ritmos estructurales acompañan a las composiciones murales acentuando la elegancia de sus soluciones; las proporciones y la escala humana reciben un especial cuidado, así como ocurriría en los templos griegos.

Y el anti-clasicismo de Candela nos permite relacionarlo con la arquitectura expresionista, principalmente con Erich Mendelsohn. *“Romper el envoltorio estático que encierra y paraliza las funciones humanas, liberarse del tiralíneas y de la regla en T, del ángulo recto y de las líneas paralelas, de la geometría y de la estereometría elemental, sensibilizar la materia hasta llegar al espasmo de sus fibras: he aquí la declaración de independencia del clasicismo firmada por Mendelsohn.”*¹² La simple comparación entre los dibujos de Mendelsohn y Mies nos muestra el rechazo al código tradicional frente a la caja clasicista.

*“Si el prejuicio griego consistió en no poder prescindir de la forma adintelada característica de los templos arcaicos, la exigencia fundamental de nuestro modo de hacer es que éste no se parezca a lo acostumbrado anteriormente.”*¹³

Sala de convenciones. Mies van der Rohe. 1953, Chicago.
Fuente: Gallery label from Cut 'n' Paste: From Architectural Assemblage to Collage City, July 10–December 1, 2013

Torre Einstein. Mendelsohn. 1921, Postdam.
Fuente: exposición en el museo Staatliche de Berlin, muestra de los dibujos de Erich Mendelsohn.

¹² ZEVI, Bruno. Erich Mendelsohn: complete works. Estudio paperback. 1995. Pág. 16.

¹³ CANDELA, Félix. Divagaciones estructurales entorno al estilo, 1954. En defensa del formalismo y otros escritos. Xarait Ediciones, 1985. Pág. 35.

Piet Mondrian, neoplasticismo. Fuente: natural reality and abstract reality, Piet Mondrian, 1995.

De Stijl. Fuente: Moma.org. The collection. Theo Van Doesburg (Christian Emil Marie Küpper) and Cornelis Van Eesteren. Contra - construction-project, 1923.

2.3 Los nuevos formalismos. La estructura frente a la función como generadora de formas (a partir de citas).

“Es así como acabamos de sobrepasar un periodo en que se consideraba la función como más importante; pero esta tendencia funcionalista, cuya limitada capacidad de creación de formas se agota prontamente, conduce de modo indefectible a la aridez expresiva.”¹⁴ Félix Candela.

“En vista de la falta de interés de las soluciones estrictas, el movimiento funcionalista impulsó fórmulas expresivas, convencionales y sensacionalistas, que nos están llevando rápidamente a una situación muy parecida a la que provocó el movimiento.”¹⁵ Félix Candela.

“...el funcionalismo, doctrina que ya cumplió su misión y que es incapaz de llegar a resultados definitivos por sí sola. Se desprende que creemos en la necesidad de unas normas formales para que la arquitectura pueda cumplir íntegramente su misión.”¹⁶ Félix Candela.

Félix Candela se consideraba a sí mismo como formalista, lejos de entender este término como algo despectivo, tanto la arquitectura como la escultura necesitan de la forma para existir, entendiendo la arquitectura como *“voluntad de forma”*.

No hay que malinterpretar las palabras de Candela, pues su concepción de formalismo no implica realizar composiciones libres o aleatorias basadas en caprichos, pero sí formas expresivas que permitan que la arquitectura se comuniqué por sí misma, formas basadas tanto en la razón como en los procesos involuntarios característicos del hombre.

¹⁴ CANDELA, Félix. Divagaciones estructurales entorno al estilo, 1954. En defensa del formalismo y otros escritos. Xarait Ediciones, 1985. Pág. 40.

¹⁵ CANDELA, Félix. Divagaciones estructurales entorno al estilo, 1954. En defensa del formalismo y otros escritos. Xarait Ediciones, 1985. Pág. 36.

¹⁶ WORRINGER, Wilhelm. Abstracción y naturaleza. Fondo de cultura económica. 1953.

Wilhelm Worringer defendía que *“la emoción no puede codificarse en fórmulas y que el artista necesita una libertad total”*¹⁶. Por su parte Candela rechaza los criterios de los arquitectos racionalistas de intentar realizar la arquitectura a base de las reglas de la lógica sistemática, o establecer teorías sobre colores y proporciones que no pueden racionalizarse; la arquitectura necesita de un método de prueba y error y una toma de decisiones que no pueden llevarse a cabo únicamente mediante la razón, extendiéndose este criterio al diseño estructural. La intuición sobre el cálculo para generar las formas estructurales, siendo el cálculo un proceso secundario en su diseño.

*“Los nuevos elementos formales se han derivado de consideraciones de otro tipo, apoyándose incluso en otras artes, hasta cierto punto ajenas a la arquitectura, y obligando a la estructura a adaptarse a sus exigencias.”*¹⁷

Las artes plásticas pasan a formar parte de las composiciones arquitectónicas en un intento de suplir la carencia emotiva de la arquitectura. Pero... ¿qué justificación funcional existe en la composición de murales para una obra de arquitectura? La pintura, básicamente contemplativa, no necesita resolver los problemas funcionales con los que se enfrenta la arquitectura.

*“Desgraciadamente la pintura no tiene nada que ver con la arquitectura, y ésta no gana nada con la inclusión de murales, por muy meritorios que estos sean desde un punto de vista pictórico.”*¹⁸
Félix Candela.

Palacio de Congresos. Le Corbusier.

Fuente: Wikimedia Commons.

Caricatura de arquitectura moderna.

Saul Steinberg, 1954

¹⁷ CANDELA, Félix. Divagaciones estructurales entorno al estilo, 1954. En defensa del formalismo y otros escritos. Xarait Ediciones, 1985. Pág. 37.

¹⁸ CANDELA, Félix. Encuesta de la revista espacios 1955. En defensa del formalismo y otros escritos. Xarait Ediciones, 1985. Pág. 44.

Mendelsohn. Expresionismo. Fuente: exposición en el museo Staatliche de Berlin, muestra de los dibujos de Erich Mendelsohn.

Chernikhov, constructivismo. Fuente: Fundación Internacional Chernikhov.

“La manía muralista se justifica por el intento de compensar de algún modo la casi total falta de expresión de la arquitectura actual.”¹⁹ Félix Candela.

“El monstruoso e injustificado crecimiento de la ventana, con sus artificiales divisiones que sigue ordenaciones dictadas por el arte pictórico, y la moda del muralismo, no son sino manifestaciones de la desesperada pugna por sustituir los medios de expresión abolidos para crear un nuevo simbolismo, un nuevo lenguaje con el que dar vida a las áridas masas cúbicas.”²⁰ Félix Candela.

“Esta imposición injustificada y arbitraria –puramente formalista- será, tal vez, el principal motivo del nombre estilo internacional, puesto que difícilmente puede presentar variantes locales una solución que es improcedente en cualquier clima (refiriéndose al vidrio ocupando toda la fachada).”²¹ Félix Candela.

De esta manera la arquitectura funcionalista pasa a ser, según Candela, superformalista. Soluciones que abandonan el correcto funcionamiento de la arquitectura para suplir la carencia emotiva.

“Las obras mendelsohnianas demuestran, de forma muy poderosa, que la arquitectura puede hablar, sufrir, cantar, agredir e incluso escuchar”.²²

¹⁹ CANDELA, Félix. Encuesta de la revista espacios 1955. En defensa del formalismo y otros escritos. Xarait Ediciones, 1985. Pág 44

²⁰CANDELA, Félix. The Shell as space encloser, 1954. En defensa del formalismo y otros escritos. Xarait Ediciones, 1985. Pág 103.

²¹ CANDELA, Félix. Divagaciones estructurales entorno al estilo, 1954. En defensa del formalismo y otros escritos. Xarait Ediciones, 1985. Pág 31

²² ZEVI, Bruno. Erich Mendelsohn: complete works. La profundización expresionista hacia lo orgánico. Estudio paperback. 1995.

La arquitectura expresionista no sufre de esta carencia emotiva ni de sus posteriores consecuencias, pues se configura inicialmente con un deseo de comunicar, de generar emociones. Los dibujos de arquitectura expresionista, al igual que los constructivistas, transmiten una profunda carga emotiva, aunque gran parte de ésta se pierde al materializarse en arquitectura.

Candela encuentra en el diseño de las formas estructurales el único elemento propio de la arquitectura capaz de generar expresividad sin caer en un formalismo figurativo, sin necesidad de recurrir a las composiciones plásticas o elementos meramente decorativos.

Torre Tatlin, 1919, constructivismo.

Wikimedia Commons.

“Sólo nos queda la estructura como elemento racional capaz de dar sentido de generalidad a las formas arquitectónicas, de producir, en suma, formas expresivas determinantes de un estilo...”²³

²³ CANDELA, Félix. *Divagaciones estructurales entorno al estilo*, 1954. En defensa del formalismo y otros escritos. Xarait Ediciones, 1985. Pág 40.

2.4 Gótico, expresionismo y la estructura de Félix Candela. La línea anticlasicista. Análisis diacrónico.

Sección transversal de la catedral de París (1160-1220).
Viollet Le Duc, *Dictionnaire de l'architecture française*,
p. 288.

“Worringer planteaba una relación directa entre el gótico, el barroco y el expresionismo, los cuales eran vistos como manifestaciones diacrónicas de una tendencia estética común, básicamente opuesta al clasicismo”.²⁴

En palabras de Bruno Zevi, es durante el Románico cuando *“la arquitectura comienza a expresarse en términos de estructura y osatura”*²⁵. La arquitectura románica se conforma como un organismo en el que la distribución interna espacial aparece como una unidad y se muestra acorde con la envolvente exterior. Frente a la importancia que la arquitectura griega daba a la forma frente al espacio, la arquitectura románica evoluciona, *“el cuerpo se hace organismo, toma conciencia de su unidad y de su circulación: en una palabra, se mueve.”*²⁶

El gótico supuso un gran avance desde el punto de vista constructivo con respecto al románico y, su esqueleto, la estructura, es aún más refinado. La arquitectura gótica se convierte en *“un haz de huesos, fibras y músculos, un esqueleto constructivo recubierto de cartílago inmaterial”*.²⁷

²⁴ SOLAZ FRASQUET, Lucía. La sensibilidad expresionista, el expresionismo como movimiento artístico. <http://www.ucm.es/info/especulo/numero27/expresio.html>

²⁵ ZEVI, Bruno. Saber ver la arquitectura. Editorial Poseidón. 1976. Pág 74.

²⁶ ZEVI, Bruno. Saber ver la arquitectura. Editorial Poseidón. 1976. Pág 74.

²⁷ ZEVI, Bruno. Saber ver la arquitectura. Editorial Poseidón. 1976. Pág 76.

Sin embargo, el gótico no supone únicamente un refinamiento del románico, las bóvedas góticas se pliegan y se nervian, y estas nervaduras que comienzan en las cubiertas se prolongarán a través de los soportes hasta transmitir sus cargas al suelo. Un anticipo de la continuidad entre la cubierta y los soportes que Gaudí realizará en la colonia Güell o Saarinen en su terminal TWA, y que Candela realizará de manera sistemática en sus obras.

Así Candela encuentra en esta época la mayor libertad que jamás ha habido en la historia de la arquitectura; la estructura queda liberada de composiciones y de cánones. La estructura se muestra hacia su interior y su exterior, nos muestra su funcionamiento, como se transmiten las cargas y como recoge los empujes; y es esta estructura la que da forma a la obra. La libertad que Candela encuentra gracias a los sistemas estructurales frente a la libertad ya mencionada que Le Corbusier consigue liberando a la planta y a la fachada de la estructura.

La forma estructural de las grandes catedrales será a su vez la forma definitiva de la obra, una forma que es a su vez adecuada al comportamiento de los materiales utilizados. Las bóvedas, los contrafuertes... unas formas no sólo aptas para su correcto funcionamiento estructural, sino capaces de expresarse y comunicarse con sus observadores. Una estructura capaz de generar espacios en tensión a partir de una planta sencilla y funcional. Los conceptos fundamentales de la arquitectura de Félix Candela se muestran en la arquitectura gótica.

“Los maestros góticos consiguieron desarrollar un sistema constructivo original, superando las limitaciones del único material permanente que encuentran a su alrededor. El proceso de su diseño obedece a los mismos principios de selección natural que utiliza la naturaleza para crear sus estructuras (la supervivencia).”²⁸

²⁸ CANDELA, Félix. Divagaciones estructurales entorno al estilo, 1954. En defensa del formalismo y otros escritos. Xarait Ediciones, 1985. Pág. 34.

Pórtico colonia Güell. Gaudí, 1898 - 1914. Fuente: Revista Nacional de Arquitectura, COAM.

Terminal TWA. Saarinen, 1962. Fuente: Eero Saarinen, monografía, Jayne Merkel,

Grabado de Amiens. Viollet Le Duc, *Dictionnaire de l'architecture française*, p. 222.

Frente a la escala humana de la arquitectura griega, la arquitectura gótica emplea una escala monumental capaz de sobrecoger a sus espectadores. *“Por primera vez en la historia de la arquitectura, los artistas conciben espacios que están en antítesis polémica con la escala humana y que engendran en el que mira, no una contemplación sosegada, sino un estado de ánimo de desequilibrio, de afectos y solicitudes contradictorias, de lucha”.*²⁹ Una arquitectura que consigue expresarse y generar sensaciones en las personas, así como sucederá con la arquitectura expresionista y las obras de Candela. La relación que Worringer encontraba entre el gótico y el expresionismo también aparece en Candela, y surge además una relación entre el expresionismo y la obra de Félix Candela, al que Bruno Zevi englobaba bajo el término de neo-expresionista, del que hablaremos a continuación.

Sin embargo, este espíritu gótico se ha repetido a lo largo de la historia en no pocas ocasiones, no pudiendo atribuírsele únicamente a Candela o los arquitectos expresionistas. Es en la lógica estructural y constructiva de las catedrales góticas donde se manifiesta el espíritu gótico de Candela.

William Morris (1834-1896) y John Ruskin (1819-1900) propugnaron el retorno de la artesanía medieval, donde los canteros góticos trabajaban los sillares, y las catedrales se erigían como una recompensa al trabajo colectivo. El fenómeno “arts and crafts” que Bruno Zevi relaciona con la pasión neogótica del siglo XIX. Un carácter artesanal que también aparece en las obras de Candela, en las que los encofrados de madera permitían contemplar la forma de la obra antes de que esta estuviese terminada para satisfacción de los carpinteros. Aunque este carácter artesanal de Candela estaba fuertemente condicionado por la situación que ya mencionamos de Méjico.

Viollet Le Duc (1814-1879) encontró en las catedrales góticas la esencia que podría cambiar el rumbo de la arquitectura de su tiempo, una arquitectura que consideraba en declive tras el gótico.

²⁹ ZEVI, Bruno. *Saber ver la arquitectura*. Editorial Poseidón. 1976. Pág 77.

Los avances en la técnica permitirían retomar la dirección a la que había apuntado el gótico, y que el renacimiento truncó. La estructura volvía a recuperar su importancia perdida.

La línea fuerza de Víctor Horta (1861-1947) se configuró como un elemento expresivo que permitía entender las transmisiones de las cargas.

Fue posiblemente Gaudí (1852-1926) el arquitecto que hasta su época mejor pudo manifestar el espíritu gótico. Muy influenciado por los escritos de Viollet Le Duc, Gaudí compartía con este arquitecto la importancia del gótico y la interrupción que el renacimiento supuso para su evolución. Consciente de que la arquitectura que él realizaba no era gótica, sino una nueva arquitectura que podría considerarse como su continuación, recogió no sólo la importancia de la estructura sino también el misticismo de las grandes catedrales. Sin necesidad de imitar las formas góticas o neo-góticas, Gaudí consiguió que sus obras se expresaran y despertarían sentimientos en sus observadores. No por menos Bruno Zevi considera a Gaudí como un genio de talla excepcional cuya poética emana *“una virulenta componente expresionista”*.³⁰ Este carácter expresionista y su anti clasicismo, así como la capacidad que otorga a las estructuras como un elemento capaz de generar las formas arquitectónicas, lo acercan en parte a las obras de Félix Candela.

Los espacios habitables del proyecto para el hotel “Attraction” que Gaudí diseñó quedan delimitados y envueltos por la estructura del mismo y de alguna manera nos evoca la arquitectura gótica.

La arquitectura expresionista volvió a recoger este espíritu gótico. A diferencia de Candela, no era la fuerza estructural de las catedrales lo que interesaba a los expresionistas, sino su capacidad de generar sensaciones en los observadores, de expresarse, de producir emociones a través de un

Hotel Attraction. Gaudí.
Aproximación geométrica de Manuel Hidalgo, 2008.
Fuente: Mcneel.com

Proyecto para un mercado. Candela. 1956.
Federico Luis del Blanco, 2009.

³⁰ ZEVI, Bruno. Historia de la arquitectura moderna. Editorial Poseidón. 1980. Pág 22.

Izquierda: hotel attraction, A. Gaudí; derecha: Chicago Tribune, B. Taut. Fuente: skyscraper.org (julio 2010)

“grito estremecedor”. Una arquitectura que acogió *“un mensaje de raíz esencialmente psicológica que se manifestaba contra cualquier principio y método funcional o formal, el deseo de exteriorizar los contenidos inconscientes, los sentimientos...”*³¹ Una arquitectura que al igual que la de Candela, se oponía a la arquitectura que estaban desarrollando los arquitectos funcionalistas del movimiento moderno.

En 1910, las palabras de Frank Lloyd Wright: *“en el arte y en la arquitectura de la vida moderna es necesario un renacimiento del espíritu gótico... Reencontrar el espíritu gótico significa algo profundamente diferente a copiar la arquitectura gótica... Yo apelo a esta conciencia por el carácter orgánico de la forma –espíritu gótico-, porque en aquella arquitectura se plasmó mejor que en ninguna otra... Por eso creo que mis edificios, en su mayor parte, fueron concebidos y llevados a término a la luz del espíritu gótico...”*³²

He aquí la importancia del espíritu gótico, no sólo en la declaración estructuralista de Candela, sino en sus diferentes manifestaciones, ya sea el compromiso colectivo del “arts and crafts” o en los argumentos morales de Wright. El gótico aparece como una alternativa a la alargada sombra de la arquitectura clásica griega, un espíritu gótico que se manifiesta de diversas maneras pero mantiene una línea común, el anti-clasicismo.

Según Worringer, *“sentimos como barroca toda forma estilística que nos muestra una vida orgánica bajo una presión demasiado fuerte. Su patetismo transcendental lo diferencia de la paz armoniosa y del equilibrio propios al estilo clásico”*³³ La oposición del barroco al clasicismo que plantea Worringer es discutible, pues este presenta muchos aspectos comunes con la arquitectura clásica. Sin embargo, en la pasión por la curva y la contra curva, en la generación de

³¹ ZEVI, Bruno. Historia de la arquitectura moderna. Editorial Poseidón. 1980. Pág 20

³² Wright. reticula7.blogspot.es/1203814200/

³³ Worringer. www.portaldearte.cl/terminos/barroco.htm

los nuevos espacios inéditos en la arquitectura clásica, puede aparecer una fisura. Worringer escribe: *“el barroco es un gótico degenerado.”*³⁴ El ingeniero Javier Manterola nos muestra como Borromini vuelve a utilizar el plegamiento característico de las bóvedas góticas en la cúpula de San Ivo, permitiendo la continuidad estructural entre cubierta y soportes que había desaparecido con el renacimiento.

Reafirmando la conexión entre la arquitectura expresionista y la realizada por Félix Candela, Erich Mendelsohn escribe en 1953 un artículo titulado "Background to design", donde el pabellón de rayos cósmicos de Félix Candela se muestra como ejemplo (junto al hipódromo de Torroja y el teatro de Río de Janeiro de Niemeyer) de estructura y forma del concepto de elasticidad continua que Mendelsohn había preanunciado ya en sus primeros dibujos. Mendelsohn escribe: *"Creo que la arquitectura de continuidad elástica -al contrario que las construcciones de esqueleto- abren para nuestro arte un nuevo mundo en que el intelecto e imaginación son de nuevo inseparables."*

Por su parte, Zevi escribe: *"En su elocuente signo breve, de un solo contorno, Mendelsohn evidencia el mismo anhelo que guió a Borromini y a Gaudí: el edificio es un bloque unitario, hinchado de materia solidificada, plasmado de un solo golpe. No nace de instintos irracionales, más bien preanuncia las estructuras de cáscara y las superficies rayadas*(regladas)"*³⁵ (que realizarán entre otros Félix Candela), remarcando las relaciones que habíamos visto.

La arquitectura gótica frente a la arquitectura griega representa la posición que adopta Candela frente al clasicismo del movimiento moderno. Las formas de Candela nunca podrían confundirse con las de una catedral gótica, es la lógica estructural y constructiva la que establece esa vinculación.

Chilehaus de Höger. 1922, Hamburgo. Fuente: Wikimedia Commons (julio 2010)

³⁴ Worringer. Barroco. Verbum editorial. 2004. Pág 1077.

³⁵ ZEVI, Bruno. Erich Mendelsohn: complete works. La profundización expresionista hacia lo orgánico. Estudio paperback. 1995.

“Y hete aquí la línea gótica: recorrida por una audacia enloquecida y no agotada, acelera sus pulsaciones como un corazón presa de inauditas emociones, lanza la piedra hasta vertiginosas alturas, pero una estructura experimentada confiere solidez al prodigio.”³⁶

³⁶ Van de Velde. Ensayos extraídos de Historia de la arquitectura moderna de Bruno Zevi. Editorial Poseidón. 1980. Pág. 62.

2.5 Análisis sincrónico. Expresionismo estructural y simetría.

En pleno siglo XX, cuando los debates de arquitectura giraban en torno a la arquitectura racionalista del movimiento moderno para posteriormente derivar hacia el "postmoderno", Félix Candela es considerado como una figura ajena al mundo de la arquitectura, a lo que sucede a su alrededor.

Cierto es que nunca siguió el camino que la arquitectura racionalista había dejado preparado, pero si mantuvo relación con otras corrientes arquitectónicas de su época.

La figura de Eero Saarinen resulta de especial interés bajo este contexto, pues en la evolución de su obra podemos apreciar ambas tendencias. En sus primeras obras, cuando aún trabajaba con su padre (Eliel Saarinen), aparecen proyectos simétricos, composiciones libres que no reflejan el espacio interior... una arquitectura vinculada al siglo XIX. Sus primeros trabajos desarrollados sin Eliel Saarinen se vuelcan hacia las tendencias racionalistas que se estaban desarrollando en Europa. Así en el primer concurso de arquitectura para un teatro que ganó desaparece la simetría, pues los volúmenes exteriores son el resultado de las funciones del interior, y éstos no tienen razón para ser simétricos. En sus últimas obras vuelve a aparecer un gran cambio, la terminal TWA se configura como una forma que proviene de la estructura, sin reflejar las funciones interiores, y paradójicamente vuelve a ser simétrica.

La simetría repudiada por el funcionalismo del movimiento moderno vuelve a aparecer con la arquitectura estructuralista, pues permite un mejor comportamiento estructural. Este cambio no se produce de manera inmediata, y podemos encontrar proyectos de Saarinen como las casas plegables que realiza junto a Eames, en las que aun siendo cajas cúbicas, la estructura comienza a ganar importancia.

Primer premio concurso para el teatro de la Universidad de William y Mary. Saarinen. Fuente: Eero Saarinen, monografía, Jayne Merkel,

Terminal TWA. Eero Saarinen. Fuente: Wikimedia Commons (julio 2010)

Centro de la paz de Hiroshima 1949-1956. Tange. Fuente: *Makers of contemporary architecture*, Robin Boyd, 2011.

Pabellón olímpico Tokio 1962-1964. Tange. Fuente: *20th century masters*, Paolo Riani, 1969.

Bruno Zevi escribe en “el lenguaje moderno de la arquitectura” que la simetría pertenece al lenguaje clásico de la arquitectura como la asimetría al lenguaje moderno, rechazando las frases hechas y los a priori. Grandes maestros como Aalto o Mies van der Rohe caen en la simetría por la falta de un lenguaje moderno codificado, pero... ¿no se ha convertido la asimetría en la frase hecha, en el a priori de la arquitectura moderna? Aalto o Mies muestran que incluso bajo las bases funcionales la simetría puede tener cabida, y bajo los condicionantes estructurales es ventajosa.

*Saarinén enuncia: “En mí está profundamente arraigado el principio de respetar la función, así como lo está en otros que pertenecen a esta época. Pero, al igual que otros, no recorro a él para resolver mis problemas arquitectónicos”³⁷. “Soy hijo de mi tiempo. Soy partidario entusiasta de los tres principios comunes de la arquitectura moderna: función, estructura, y ser parte de nuestro tiempo”.*³⁷

La evolución de la obra de Kenzo Tange mantiene cierta similitud con la de Eero Saarinen. En sus primeras obras se puede apreciar un lenguaje “le corbusierano”: prismas cúbicos elevados sobre pilotes, con planos puros de hormigón como sucede en el centro de la paz de Hiroshima (1949-1956), o la división en tres cuerpos (basamento, cuerpo principal y coronación) que aparece en el ayuntamiento de Kurashiki (1958-1960). Una influencia que podría haber llegado a Kenzo Tange a través de su maestro Mayekawa, que a su vez fue colaborador de Le Corbusier.

En la década de los 60 las obras de Kenzo Tange evolucionan, dejando las premisas funcionalistas atrás y buscando nuevas formas a partir de la técnica y la construcción. Escribe Kenzo Tange: “...el maquinismo ha comenzado a influir considerablemente en la vida del hombre, y, en adelante, es inútil intentar sustraerse a los efectos de la técnica”. “¿Podrá la técnica actual emocionar al hombre? ¿Conseguirá el maquinismo mejorar las condiciones humanas?...”. Las naves olímpicas

³⁷ SAARINEN, Eero. Remarks at Dickinson College, conferencia 1959.

<http://arquitecturamashistoria.blogspot.com/2007/04/eero-saarinen.html>

de Tokio, los paraboloides hiperbólicos que conforman la catedral de Santa María o el palacio de deportes en Takamatsu intentan responder a esas preguntas. La forma de estas obras sigue a la estructura y al sistema constructivo, la técnica y los materiales generan dicha forma de manera independiente a su función.

Como escribe Udo Kultermann, la sala de asambleas en Shizuoka (1955-1957) marca el punto de inflexión en la obra de Tange. Según Kultermann, la gran nave que Matthieu Nowicki realiza en Raleigh, influye a Kenzo Tange de manera decisiva. Aun así, se puede encontrar un antecedente más directo a esta obra: la iglesia de la Soledad que Candela realizó el mismo año.

"Considerada retrospectivamente, mi actitud frente a la arquitectura y el urbanismo estaba inspirada en su origen por el concepto funcional; pero pronto se manifestaron problemas que desbordaban los límites del funcionalismo." Kenzo Tange (función, estructura y símbolo 1966).

Félix Candela nunca mostró interés en la arquitectura racionalista, y la evolución de su obra se centra en las estructuras laminas. Influenciado por las estructuras que se estaban realizando principalmente en Alemania y Francia, así como por el notable Eduardo Torroja, el repertorio formal de Candela va aumentando a medida que realiza hallazgos constructivos, realizando una separación tajante entre la forma y su función.

Al igual que Candela, Saarinen y Tange realizaron su obra principalmente en la década de los años 50 y parte de los 60, época de máximo esplendor de las estructuras laminas. Nacieron en los mismos años (1910, Tange en 1913) y se separaron del camino que había iniciado el movimiento moderno. Hijos de su tiempo, realizan una arquitectura muy diferente, pero con importantes coincidencias: la forma como un resultado de los sistemas constructivos, los materiales y la estructura. Un camino que habían comenzado los ingenieros, con especial mención a los puentes de hormigón de Maillart, y mucho antes, los maestros góticos.

Sala de asambleas Shizuoka 1955-1956. Tange. Fuente: Makers of contemporary architecture, Robin Boyd, 2011.

Iglesia de la Soledad 1955. Candela. Fuente: Revista Nacional de Arquitectura, COAM.

Pabellón Philips de Le Corbusier y Xenakis, exposición internacional de Bruselas, 1958. Arriba: prefabricados de hormigón; abajo: perspectiva exterior.

"Hay una clase de hombres a los que no podemos negar el título de artistas. Estos artistas, los creadores de una nueva arquitectura, son los ingenieros." Van de Velde.

Bajo este contexto, en 1958 con motivo de la exposición de Bruselas, Le Corbusier realiza el pabellón Philips. En este mismo año Saarinen realiza la terminal TWA en Nueva York, y un año antes, en 1957 la ópera de Sydney de Utzon es anunciada como el diseño ganador que se iba a construir. Las estructuras laminares de hormigón estaban en pleno auge, y el pabellón Philips muestra que incluso Le Corbusier, uno de los máximos exponentes de la arquitectura funcionalista, estaba interesado en ellas.

La complejidad volumétrica del Pabellón Philips se oponía a la arquitectura de los comienzos de Le Corbusier, una arquitectura que nada tenía que ver con un juego de volúmenes sencillos bajo la luz.

Estos proyectos mantienen fuertes analogías, y podrían llegar a incluirse bajo un mismo grupo. La piel y la estructura es una, y a su vez el espacio queda contenido por ésta. La cubierta se convierte en el elemento principal. Sin embargo, una mirada más detenida nos muestra lo diferente que es la obra de Le Corbusier.

La planta del pabellón se configura como un perímetro curvilíneo que imita la forma de un estómago que guiará a los visitantes. Un espacio complejo no sólo por la cubierta, sino por el itinerario que marca la planta. Por el contrario, las plantas de Candela son sencillas, es únicamente la cubierta la que genera la tensión del espacio.

“No se trata de resolver ingeniosamente una planta que funcione y recubrirla de una estructura convencional... sino de lograr un espacio interior expresivo, una escultura envolvente que se admire desde dentro”.³⁸

Como ya habíamos visto, la simetría se había convertido en un recurso que volverían a utilizar los arquitectos estructuralistas; bajo las leyes estructurales la simetría confiere un mejor comportamiento, y es por esto que tanto Candela como los demás arquitectos del estructuralismo expresionista no dudarán en volver a ella. Los inconvenientes de la simetría bajo las bases funcionales son claros, y realizar un proyecto simétrico para Le Corbusier sería impensable.

En la arquitectura estructuralista parece mostrarse otro factor común: la recuperación de la cubierta como generadora de espacios que el movimiento moderno había dejado de lado con sus planos rectos y formas cúbicas. Tanto Candela, Saarinen, Niemeyer, Frei Otto, Kenzo Tange, Fuller... confieren gran importancia a la cubierta.

La complejidad y riqueza espacial en la arquitectura de Candela viene determinada por la cubierta de sus espacios, siendo la planta de sus obras sencilla e incluso tradicional. Como Candela explica, la historia de la arquitectura confirma que las plantas sencillas son funcionales.

Frei Otto. Pabellón de Alemania. Expo 67, Montreal.

Fuente: plataforma de arquitectura.cl (julio 2010)

Niemeyer. Catedral de Brasília. 1970. Fuente:

Wikimedia Commons (julio 2010)

³⁸ CANDELA, Félix. La Iglesia de la Virgen Milagrosa 1956. En defensa del formalismo y otros escritos. Xarait Ediciones, 1985. Pág 53.

Niemeyer. Museo de arte contemporáneo de Niterói, 1991. Fuente: Wikimedia Commons.(julio 2010)

Fuller. Cúpula geodésica. Fuente: Wikimedia Commons (julio 2010).

2.6 Neo-expresionismo y expresionismo estructural.

Bruno Zevi utiliza el término neo-expresionismo para englobar a Candela, Saarinen y Niemeyer en el mismo grupo, dejando a Frei Otto y Fuller bajo “utopía y futuribles” y a Kenzo Tange bajo la corriente manierista. Todos estos arquitectos comparten esa búsqueda de nuevas formas a partir El término neo-expresionismo sugiere la vuelta al expresionismo, que en parte es cierto en estos arquitectos. Su arquitectura es capaz de expresarse y comunicar sentimientos, de sobrecoger al espectador y a su vez oponerse a la arquitectura clasicista de una manera incluso más efectiva que la propia arquitectura expresionista. Las complejas estructuras que se erigen como arquitectura permiten llevar a cabo lo que los expresionistas tan solo podían dibujar. Sin embargo, y como vimos en el capítulo de la relación con la arquitectura gótica, el expresionismo no buscaba la fuerza estructural en su arquitectura como medio de expresión.

El mismo Zevi escribe: “Grito y geometría (...) la antinomia del expresionismo. El grito protesta y clama contra las falsas verdades absolutas y eternas del clasicismo. Pero la geometría que de ahí deriva no es racionalista, no mira a la objetividad, no congela la materia, es más, le infunde energía y dinamismo.”³⁹

Parece imposible entender el expresionismo sin el contexto de la Alemania pre-bélica y la guerra mundial, las emociones se transmiten como un “grito estremecedor” a través de una “geometría”. Las motivaciones de los arquitectos expresionistas eran totalmente diferentes a las de los estructuralistas. Es por esto que el término que el propio Eero Saarinen acuñó, expresionismo estructural, parece más adecuado para esta arquitectura. La expresividad que consiguen estos arquitectos es precisamente gracias a la estructura. Para Candela la estructura se configura como el único medio capaz de conseguir formas expresivas sin caer en formalismos figurativos.

³⁹ ZEVI, Bruno. Erich Mendelsohn: complete works. La profundización expresionista hacia lo orgánico. Estudio paperback. 1995.

"A lo largo del siglo presente, el principio de "honestidad estructural", ha pasado a ser curiosamente "expresión de estructura" y finalmente "expresionismo estructural". La integridad estructural configura un principio potente y perdurable y yo no quisiera apartarme jamás de él".

⁴⁰ Eero Saarinen.

"Solo nos queda la estructura como elemento racional capaz de dar sentido de generalidad a las formas arquitectónicas, de producir, en suma, formas expresivas determinantes de un estilo". ⁴¹ Félix Candela.

"Considerada retrospectivamente, mi actitud frente a la arquitectura y el urbanismo estaba inspirada en su origen por el concepto funcional; pero pronto se manifestaron problemas que desbordaban los límites del funcionalismo." Kenzo Tange (función, estructura y símbolo 1966).

⁴⁰ SAARINEN, Eero. Remarks at Dickinson College, conferencia 1959.

<http://arquitecturamashistoria.blogspot.com/2007/04/eero-saarinen.html>

⁴¹ CANDELA, Félix. Divagaciones estructurales entorno al estilo, 1954. En defensa del formalismo y otros escritos. Xarait Ediciones, 1985. Pág 40

Iglesia de la Virgen Milagrosa. Candela 1954. Fuente: Félix Candela centenario (1910-2010)

Iglesia de la estrella (Die Sternkirche). Otto Bartning. Fuente: Die Sternkirche von Otto Bartning. Analyse, Visualisierung, simulation, 2002.

Capítulo III

Primera etapa: desde 1939 hasta 1949 -1951.

Los inicios de Félix Candela

3.1. El exilio.

“Naturalmente, que habiendo pasado a Francia sano y joven y, como mi familia estaba a salvo en Alicante, no tenía preocupación de ningún género y lo pasé bastante bien. Fue una época de descanso y tranquilidad después de la terrible excitación de la batalla del Ebro, y de los últimos momentos de la guerra. En realidad el llamado campo de concentración no era otra cosa que una enorme playa en la que se habían hecho doce subdivisiones con alambre de espino, custodiadas por soldados senegaleses y sin edificio alguno donde guarecerse... hay que mencionar en descargo de los franceses que, solamente en ese campo entramos 70.000 personas en dos días, y ellos no estaban preparados para enfrentarse con tal problema. Los primeros días murió bastante gente a consecuencia de las heladas, principalmente enfermos y heridos, pero los demás, acostumbrados a poca cosa, no tuvimos dificultad en sobrevivir demostrando que lo estrictamente necesario para la vida es menos de lo que uno supone”¹.

Miguel Ángel Baldellou² trató la importante pérdida y posteriores consecuencias que supuso para la arquitectura española la salida masiva de arquitectos tras la Guerra Civil. Por su parte, Juan Ignacio del Cueto³ desarrolló una impecable tesis doctoral acerca de los arquitectos españoles que se exiliaron en México.

Procedente de los campos de concentración de Francia, Félix Candela desembarcó en Veracruz el 13 de junio de 1939 a bordo del buque “Sinaia”. Candela se encontraba prácticamente solo en un

¹ CANDELA, Félix. Archivo Candela, Avery Architectural & Fine Arts Library, Universidad de Columbia.

² BALDELLOU, Miguel Ángel. Desarraigo y encuentro. Las arquitecturas del exilio. Revista Arquitectura. 1995. Madrid.

³ CUETO, Juan Ignacio del. “Arquitectos españoles exiliados en México. Su labor en la España Republicana (1931-1939) y su integración en México”. Universidad Politécnica de Cataluña. 1996.

país desconocido, aunque el recibimiento en el nuevo continente fue mucho mejor de lo que esperaba.

“Nuestra sorpresa fue tremenda cuando nos dejaron desembarcar y pasear libremente por la ciudad, pues teníamos complejo de proscritos (...)

(...) Un muchacho de Veracruz, a quien conocí, me regaló una chaqueta de su padre con la que me encontraba vestido como un príncipe.”⁴

La llegada de Candela a México coincidió con un periodo de desarrollo industrial, gracias en gran medida al “boom petrolífero”. La II Guerra Mundial favoreció ese desarrollo con la continua exportación de medios productivos para la industria bélica. Consecuencia de la industrialización, se generaron movimientos migratorios de la población hacia las ciudades de mano de obra poco cualificada con salarios muy reducidos, acompañados de una fuerte actividad urbanizadora.

A todo esto hay que añadir la escasa normativa existente en la industria de la construcción, aportando gran libertad en la edificación.

Estas circunstancias favorecieron sin duda la obra que desarrollaría Félix Candela en los años que venían por delante, hasta que llegara la crisis económica de México en la década de los 60.

“(...) nos encontramos en un país hermano que nos abrió los brazos incondicionalmente y, en cuya etapa de pleno desarrollo, todo parecía posible dado el clima de libertad”.⁵

⁴ CANDELA, Félix. Archivo Candela, Avery Architectural & Fine Arts Library, Universidad de Columbia.

⁵ CANDELA, Félix. “Discurso de investidura del Félix Candela Outeriño como Doctor Honoris Causa por la Universidad Politécnica de Madrid. 10 de mayo de 1994. Madrid.

Las estructuras laminares que desarrolló Candela requerían de numerosa mano de obra para realizar los artesanales encofrados de madera. Por este motivo, tras 1964, su actividad se redujo drásticamente, al establecerse unos salarios mínimos en México.

Sin embargo, aún pasaría una década hasta que Candela construyera su primera estructura laminar.

3.2 Primeros pasos en México. Proyectos iniciales de Félix Candela, 1939-1949

La primera etapa de Félix Candela está compuesta por los primeros intentos de un joven arquitecto que llega solo a un país desconocido. Los proyectos realizados hasta 1949 no muestran ningún patrón común que permita relacionarlos entre sí. Se trata de respuestas individuales para diferentes proyectos, y no hay ningún tipo de influencia de éstos en su obra posterior.

Los documentos relativos a estos años vieron la luz recientemente tras la exposición celebrada con motivo del centenario de Félix Candela⁶. A su vez, en el catálogo de esta exposición, se detallan exhaustivamente los datos biográficos de Candela referentes a estos años, por lo que no es objeto del presente trabajo volver a incidir en ellos.

Por su parte, Luis Bastera Otero trata en su magnífica tesis⁷ aspectos biográficos de Candela a su llegada a México, y recopila la correspondencia mantenida por Candela, conservada en el depósito de la “Avery Architectural & Fine Arts Library” de la Universidad de Columbia.

La importancia de los proyectos de esta época, ya sean construidos o no, se limita a un carácter biográfico que nos permita entender la evolución del arquitecto. Ninguno de estos proyectos aparece publicado en el libro de Collin Faber “Las estructuras de Candela”.

⁶ CUETO, Juan Ignacio del. *Félix Candela 1910-2010*. IVAM, SECC. 2010.

⁷ BASTERRA OTERO, Luis Alfonso. “Las estructuras arquitectónicas de Félix Candela: Una revisión actual”. Tesis doctoral, ETSAV, departamento de construcción. 1998, Valladolid.

Proyecto para una escuela en la colonia Santa Clara, 1939. Archivos de la Universidad de Princeton

Proyecto de vivienda para la colonia Santa Clara, 1939. Archivos de la Universidad de Princeton

Anteproyecto para una guardería infantil, 1940.
Junto con Fernando Gay. Fuente: Las estructuras de
Félix Candela, una revisión actual. Tesis doctoral,
Basterra Otero

Como ya hemos descrito en el estado de la cuestión, las hijas de Félix Candela donaron documentos referentes a los proyectos de esta etapa a la UNAM.

Candela consigue su primer trabajo como arquitecto en México gracias al SERE⁸, a través de su amigo Jesús Martí. Se trataba de hacerse cargo del Departamento de Construcción de la comunidad agrícola experimental de la colonia de Santa Clara (Chihuahua).

“Afortunadamente ya he salido de mi condición de paria sin trabajo, en la que he pasado una buena temporada en México, aunque nunca me faltó de comer ni un sitio donde dormir... estoy trabajando en mi oficio para la construcción de los poblados de la primera Colonia de Campesinos que organiza el Comité que dirige nuestra emigración en este país.”⁹

“Tenemos hecho un pueblecito que se llama Ojos Azules, desde donde le escribo porque en él tengo mis oficinas, Las casas son de madera en manzanas de cinco viviendas, en las que hay alojadas unas cincuenta familias, más unos cien obreros sin ella. Nos hemos decidido por la construcción en madera por la urgencia con que era necesario resolver el problema del alojamiento y porque existiendo pinares en la finca hemos producido toda la madera necesaria en un aserradero que se montó desde el primer momento... las viviendas tienen agua en su interior, captada y conducida desde el manantial que da nombre al pueblo y estamos construyendo el alcantarillado.”¹⁰

⁸ Servicio de Emigración para Refugiados Españoles.

⁹ CANDELA, Félix. Carta de Candela a Francisco Iñiguez (Caracas). 3 de septiembre de 1939. Chihuahua. Archivo Candela, Avery Architectural & Fine Arts Library, Universidad de Columbia.

¹⁰ CANDELA, Félix. “Carta de Candela al arquitecto Miguel Beltrán de Quintana (México D.F.). 19 de marzo de 1940. Chihuahua. Archivo Candela, Avery Architectural & Fine Arts Library, Universidad de Columbia.

La colonia Santa Clara presentó un proyecto en el que se preveía la construcción de varias aldeas para las que Candela había trazado las calles y una plaza. “(...) pensaba utilizar el tapial o, quizá una mezcla de tierra con algo de cemento (4-5 %), procedimiento que, al parecer, resistía bien la acción corrosiva del agua y que le habían sugerido las lecturas de su ya incipiente biblioteca”.¹¹

Sin embargo, la colonia Santa Clara no prosperó y, tras conocer al contratista González Bringas, Acapulco se convertirá en el próximo destino de Candela.

Durante 1941 y 1942 y ya acompañado de su mujer Eladia Martín, Candela desarrollaría diecisiete bungalows de dos pisos y cuatro habitaciones para el Hotel Papagayo.

“Mi socio me había engañado en cuanto a los precios y yo había puesto unos costos baratísimos (...)

Agarré la obra y entonces yo llevaba todo, hacía los dibujos, dirigía la obra, recogía el dinero, pagaba, llevaba las cuentas, todo. Y fue una experiencia muy buena para mí de contratista, prácticamente de contratista solo; fue muy interesante.

Al cabo de un año y medio terminamos casi todas las obras, el estado financiero de la sociedad era limpio y satisfactorio y los clientes estaban satisfechos. Este es el momento que aprovechó mi socio para separarse de mí y tomar nuevas obras el sólo... naturalmente en tres meses volvió a encontrarse en situación parecida a la anterior.”¹²

Proyecto de viviendas en Tequesquitengo, 1948.
Archivos de la UNAM.

¹¹ BASTERRA OTERO, Luis Alfonso. “Las estructuras arquitectónicas de Félix Candela: Una revisión actual”. Tesis doctoral, ETSAV, departamento de construcción. 1998, p.34. Valladolid.

¹² Archivo Candela, Avery Architectural & Fine Arts Library, Universidad de Columbia.

Proyecto de edificio comercial, 1949. Archivos de la UNAM.

Anteproyecto del Hospital San Vicente, 1949. Archivos de la UNAM.

Tras la separación con González Bringas, Candela decide volver a México D.F., pues la vida en Acapulco, en aquel entonces un pueblo pequeño, le resultaba demasiado tranquila.

Allí vuelve a encontrarse con su amigo Jesús Martí, que ya había consolidado la empresa “Vías y Obras”. Durante el próximo lustro Candela trabajaría como contratista y arquitecto proyectista en la empresa de su amigo, además de como arquitecto independiente.

Durante estos años desarrolló la casa en Tepetzotlán, a través de “Vías y Obras”, así como otros proyectos por cuenta propia: la reforma del Hotel Casino de la Selva (Cuernavaca), así como el Hotel, cine y casa de apartamentos en Gamúchil (Sinaloa).

La vida de Félix Candela volvió a dar un giro con la llegada de su madre y su hermana, a la que se sumó la de su hermano Antonio Candela en 1946. Hasta entonces, Antonio trabajaba como aparejador en Madrid.

La asociación formada por los hermanos Candela comenzó con bien pie. En 1947 ya estaban realizando tres proyectos en México D.F.: un edificio de setenta apartamentos en la calle Gorostiza 46, el Hotel Catedral (que aún sigue en funcionamiento), así como veinticuatro tribunas desmontables de aluminio para el Ayuntamiento. Candela comenzó a experimentar con las posibilidades del hormigón en el Hotel Catedral, confeccionando de forma artesanal bloques de mortero aligerado.

Al año siguiente, en 1948, Antonio Candela ganó 100.000 dólares con el primer premio de la lotería, y los hermanos Candela se apartaron brevemente del mundo de la construcción para crear una productora de cine¹³. La aventura cineasta les costó cara, pues en seis meses gastaron casi todo el dinero y necesitaron un tiempo para re-engancharse al mundo de la construcción.

¹³ Bajo la productora Películas Paricutín, realizaron dos películas, La Virgen Desnuda y la Venenosa.

Antes de esa fecha Candela realizó tres proyectos que no se llegaron a construir: en 1948 un conjunto de casas en Tequesquitengo, y en 1949 el anteproyecto para el Hospital de San Vicente y el proyecto para un edificio comercial en la calle de Guatemala, ambos en Ciudad de México.

En 1949 Candela construirá su primera estructura laminar¹⁶, aún sin su característica geometría de paraboloides hiperbólicos. Se trataba de una bóveda funicular, realizada por 12 arcos catenarios de madera que sostenían tela de saco de yute sobre la que verter el hormigón. El peso propio del hormigón deformó la tela, adoptando la característica curvatura de la catenaria que concedía mayor resistencia a la estructura. Candela había realizado una membrana de doble curvatura que eliminaba los esfuerzos a flexión, comenzando así su aventura laminar, o tal y como señaló Billington, “la disciplina de la delgadez.”¹⁷

Primera estructura laminar de Félix Candela. 1949.
Archivos de la UNAM.

Proyecto para una vivienda en 1949. Archivos de la UNAM.

¹⁴ Cubiertas Ala se fundó por los hermanos Fernández, encargados de conseguir clientes por sus contactos, Félix Candela se responsabilizaría de la parte técnica, Antonio Candela sería jefe de obra y Julia se encargaría de la administración de la empresa.

¹⁵ WINTER, George. *Journal of the American Concrete Institute*. 1947

¹⁶ La estructura no provenía de ningún encargo. Surgió como un experimento que Candela realizó a escala natural por su interés en las estructuras laminares. Para sus experimentos utilizaba un terreno desocupado de Miguel Gómez Lavín.

¹⁷ BILLINGTON, David. *The Tower and the Bridge. The New Art of Structural Engineering*. Princeton University Press, 1983.

Proyecto para una escuela rural 1951. Archivos de la UNAM

Proyecto para una escuela rural 1951. Publicado en "Candela the Shell builder" (Collin Faber)

3.3 Periodo de transición, 1949-1951.

"Era como si todos los acontecimientos previos de mi vida empezaran a tener sentido y significado. Comencé a sentirme mentalmente en forma, como un atleta se siente físicamente. Me di cuenta de que había llegado el momento de hacer algo".¹⁸

Con la construcción de su primera estructura laminar Candela había satisfecho sus anhelos estructurales y no volvería la mirada atrás. La curvatura de la lámina permitía disminuir el espesor de hormigón y la cantidad de armaduras, sin embargo, las dificultades constructivas que implicaban la construcción de superficies curvas encarecían el coste de la obra.

Durante los siguientes dos años Candela prosiguió experimentando con las estructuras ligeras de hormigón, aún sin una idea clara de lo que le depararía el futuro. Los proyectos que realizó en estos años seguían las premisas de la arquitectura tradicional, cambiando únicamente la cubierta de los mismos. Las preocupaciones de Candela se centraban en ofrecer un proyecto económico que pudiera ser competitivo en el mercado.

Volviendo a emplear bóvedas funiculares, Candela realizó un proyecto para una vivienda en 1949 y una escuela rural en 1951. También realizaría proyectos mediante bóvedas cilíndricas, conoides, pequeñas cúpulas, hasta que la geometría del paraboloide hiperbólico se estableciera definitivamente en su obra.

¹⁸ FABER, Collin. "Las estructuras de Félix Candela". Xarait Ediciones. p 37. Bilbao

El proyecto más interesante de estos años llega para la iglesia de San Cayetano, que se situaría en México D.F. La solución de Candela se muestra como un proyecto de transición entre esta etapa y las estructuras laminares que desarrollará tras 1951. Las cubiertas realizadas mediante estructuras laminares se apoyan aún sobre una estructura tradicional.

Otra variante para el mismo proyecto presentaba una catedral neogótica. Aunque fuera un proyecto distante con la arquitectura que desarrollará el arquitecto, Candela escribió acerca de la pasión que sentía por estas construcciones, dada su estrecha relación entre forma y estructura, así como el uso adecuado de los materiales para su correcto funcionamiento estructural. Esta lógica estructural se convertirá en los años venideros en su principal herramienta. La lógica constructiva que años atrás encontró Violet Le Duc en estas catedrales volverá a captar la atención de Candela.

La construcción del pabellón de rayos cósmicos en 1951 supone la primera estructura en la que Candela emplea la geometría del paraboloides hiperbólico. Al tratarse de una superficie reglada, se eliminaban los problemas de la curvatura, simplificando la construcción de encofrados y las armaduras necesarias para el hormigón.

El espesor de la lámina de hormigón llegó a reducirse hasta 1,5 centímetros, un alarde técnico que se dio pronto a conocer en todo el mundo, amparado incluso por arquitectos como Erich Mendelsohn¹⁹.

A partir de esta fecha, Félix Candela se centrará únicamente en el desarrollo de estructuras laminares hasta 1964. Su fama y prestigio le dieron confianza para adentrarse en un mundo aún desconocido para él, la teoría y crítica de arquitectura. Las publicaciones en este ámbito

Proyecto para la iglesia de San Cayetano. 1950. Catálogo de la exposición por el centenario del nacimiento de Candela (2010)

Proyecto para la iglesia de San Cayetano. 1950. Catálogo de la exposición por el centenario del nacimiento de Candela (2010)

¹⁹ MENDELSON, Erich. "Background to design". Architectural Forum. 1953

resultaron ser mucho más productivas que las “calculistas”, comenzando lo que denominó como “la conquista de los Estados Unidos”.

Capítulo IV

Segunda etapa. Desde 1949-1951 hasta 1964-1968

Estructuras laminares

Geometría paraboloide hiperbólico

Superficie reglada del pabellón de rayos cósmicos.
Dibujo realizado por Carmen García Reig

4.1. La forma de lo resistente. Evolución de las estructuras laminares de Félix Candela, desde 1949-1951 hasta 1964-1968.

La etapa de las estructuras laminares es la de máximo apogeo para Félix Candela. Durante estos años Candela se convertirá en un arquitecto de prestigio internacional, en uno de los iconos más representativos de la arquitectura estructuralista, y la persona que más estructuras laminares ejecutará sobre la faz de la tierra.

Durante los primeros años Candela experimentó con diferentes geometrías: bóvedas funiculares y cilíndricas, conoides y pequeñas cúpulas, mientras que la geometría parabólico-hiperbólica ganaba cada vez más importancia en sus proyectos.

En 1949 Candela construyó su primera estructura laminar¹, aunque no fue hasta 1951, tras la construcción del pabellón de Rayos Cósmicos, cuando Candela emplearía la geometría del paraboloide hiperbólico.

A partir de esta fecha, la obra de Félix Candela está caracterizada por la utilización de la geometría del paraboloide hiperbólico y sus diferentes combinaciones para generar estructuras laminares. La geometría se convierte en un medio de control de las formas libres, definiendo el sistema constructivo y simplificando los cálculos estructurales.

El paraboloide hiperbólico posee tres características que lo convierten en una superficie especialmente útil para la ejecución de estructuras laminares:

- Superficie con doble curvatura, lo que aporta mayor resistencia a las láminas hormigón, permitiendo reducir su espesor y salvar grandes luces.

¹ El primer cascarón de Candela se llevó a cabo mediante una bóveda funicular. Para más información consultar el capítulo III de la tesis

- Superficie anti-clástica, situándose sus centros de curvatura a diferentes lados de ésta.
- Superficie doblemente reglada, por lo que se puede construir únicamente a partir de rectas. De esta manera la superficie parabólico-hiperbólica presenta las ventajas estructurales de las superficies curvas, y permite el desarrollo constructivo de encofrados y armaduras mediante rectas.

El año 1952 marca otro punto de inflexión en las estructuras laminares de Candela. Llevará a cabo la construcción del primer paraguas invertido, una combinación de cuatro fragmentos de paraboloide hiperbólico apoyados sobre un único soporte. Esta tipología estructural será de vital importancia para Candela y el devenir de su empresa, pues más del 90% de las construcciones que ejecutó se llevaron a cabo mediante la repetición modular de estos paraguas, dedicándose principalmente al uso industrial.

El paraguas invertido supuso una revolución en México, al tratarse de la estructura más barata que podía llevarse a cabo para cubrir grandes superficies.

Está escrito que Félix Candela realizó más de 1400 proyectos, de los cuales construyó casi 900². Estas cantidades parecen tener su fuente en los números de la empresa Cubiertas Ala, que exactamente se fijan en 1439 y 896. Aunque estos números no son del todo correctos³, sí que podemos decir que son cifras aproximadas.

Esta descomunal cantidad de proyectos fue posible precisamente a la forma estructural del paraguas invertido.

Primera estructura laminar de Candela, 1949. Bóveda funicular. Fuente: Candela the Shell builder (Colin Faber)

Paraguas invertido, 1952. Fotografía de Carlos Recamier

² VARIOS. Centenario de Félix Candela 1910-2010. 2010. Fundación Juanelo Turriano. Madrid.

³ Una información detallada se puede encontrar en el capítulo V de este trabajo.

Memoria de cálculos, planta embotelladora Bacardí.
Fechado el 29 de enero de 1971. Archivo de arquitectos mexicanos, UNAM.

En 1955 Candela ejecutará la primera bóveda de arista mediante la combinación de paraboloides hiperbólicos para la Bolsa de Valores de México. Al año siguiente, empleará estas bóvedas de arista para conseguir su famoso borde libre en la iglesia de San Antonio de las Huertas.

En 1957 llevó las estructuras laminares hasta sus límites, consiguiendo salvar luces de 30 metros con espesores de tan solo 4 centímetros en el restaurante de los Manantiales en Xochimilco, repitiendo la proeza con las bóvedas de arista para la planta embotelladora Bacardí en 1960. En ambos proyectos el borde de la lámina de hormigón estaba liberado de cargas, mostrando al exterior su extrema esbeltez.

1964 es otra fecha clave para Félix Candela y el desarrollo de sus estructuras laminares. En pleno apogeo de su carrera, se produjo una alteración de los salarios mínimos en México. Las estructuras laminares de Candela se volvieron económicamente inviables, pues su realización y la de los artesanales encofrados que requerían, necesitaban de gran cantidad de mano de obra. Comenzaba así el declive de Cubiertas Ala.

A partir de esta fecha Candela comienza a explorar nuevas alternativas, desarrollando proyectos mediante estructuras reticulares metálicas y cúpulas para salvar grandes luces, de los que tan sólo se llega a construir uno, el Palacio de los Deportes para las Olimpiadas de México. Estos proyectos no forman de parte de esta evolución constructiva, centrada en estructuras laminares. Representan la búsqueda de una alternativa a las estructuras laminares, comenzando así el periodo de transición hacia su tercera etapa⁴.

El repertorio formal de Félix Candela irá aumentando según vaya realizando sus hallazgos constructivos, siguiendo una lógica constructiva racional. El ejemplo más claro es el del ya citado pabellón de rayos cósmicos, que introduce la nueva variable de la geometría del paraboloide hiperbólico a la curvatura propia de las estructuras laminares. El sistema constructivo se

⁴ El periodo de transición comprendido entre 1964 y 1968 está detallado en el capítulo V de la tesis.

simplificará considerablemente al poder realizar las láminas auto-resistentes de hormigón únicamente a partir de rectas (ahorro en encofrados y armaduras de hormigón), y otorgando doble curvatura a las láminas.

No es la intención de este trabajo mostrar los cientos de proyectos realizados durante esta etapa, sino una selección que nos permita entender la evolución de Félix Candela, así como mostrar y difundir aquellos proyectos de gran interés que no se llegaron a ejecutar.

Los proyectos no construidos durante estos años obedecen a esta misma evolución, y se centran en la búsqueda de nuevas combinaciones empleando la geometría del paraboloide hiperbólico. Aparecen proyectos extraordinarios en los que Candela intenta superar los límites que él se había establecido, salvando luces por encima de los 50 metros mediante estructuras laminares y paraguas invertidos que perdían su eficiencia para lograr un carácter monumental.

Bóveda parabólico – hiperbólica, indicando generatrices.
Imágenes del autor.

Geometría de la bóveda de arista. Imágenes del autor

4.2. Estructuras laminares mediante bóvedas de arista.

4.2.1. Obras clave en la evolución de Félix Candela.

Las bóvedas de arista parabólico-hiperbólicas se generan mediante la intersección de dos paraboloides hiperbólicos perpendiculares entres sí, que comparten su eje principal. Los arcos parabólicos de intersección se refuerzan mediante nervios en forma de V que no se perciben desde el exterior, manteniendo la apariencia de lámina continua. Estos arcos transmiten las cargas de las láminas hasta sus cuatro apoyos, y de éstos al suelo, de manera que el borde queda libre de esfuerzos.

Para que sea posible liberar a los bordes de esfuerzos es a su vez necesario que la planta sea simétrica, considerando como ejes de simetría la unión de sus apoyos. De esta manera los esfuerzos horizontales se anulan.

Así se evita la necesidad de emplear vigas de borde, mostrando al exterior la extrema esbeltez de las láminas de hormigón.

Candela construyó bóvedas de cuatro centímetros de espesor salvando luces de treinta metros. Un alarde técnico que intentó superar en el proyecto para el mercado de la Merced, en el que la bóveda central hubiera superado los 50 metros.

4.2.1.1. Pabellón de rayos cósmicos.

Fue en 1951 cuando Candela utilizó por primera vez la geometría del paraboloide hiperbólico para realizar el pabellón de rayos cósmicos. Esta obra supuso un punto de inflexión en su carrera, y a partir de entonces utilizó el paraboloide hiperbólico y sus inagotables combinaciones en la mayor parte de sus proyectos. Construir una superficie curva a partir de rectas era algo que ya había fascinado previamente a arquitectos como Gaudí, que encontraba cierto misticismo en esta forma geométrica. En el caso de Candela era su sencillez geométrica y su eficiencia constructiva lo que le atrajo. Gracias a su doble curvatura podía realizar cascarones de hormigón con espesores mínimos (entre 1,5 y 2 centímetros en el caso de este pabellón).

En un principio el pabellón había sido planteado como una bóveda cilíndrica, similar a las bóvedas de cañón, pero la necesidad de reducir el espesor por razones del programa del laboratorio, permitieron a Candela reconducir la solución a una bóveda formada por dos paraboloides hiperbólicos superpuestos.

El pabellón lanzó a Félix Candela a la fama, no solo por el alarde técnico que logró con escasos recursos, sino por un artículo que Erich Mendelshon escribió elogiándola, dando a conocer a Candela en Estados Unidos. Con una experiencia aún muy limitada, Candela declaró que la realización del pabellón le sirvió para ganar confianza en el desencofrado de estas formas geométricas.

El uso del paraboloide hiperbólico no surgió de la nada en la obra de Candela, sino bajo una necesidad constructiva.

Pabellón de rayos cósmicos. Dibujo realizado por Carmen García Reig

Planta y alzado bolsa de valores. Archivos de la Avery Architectural & Fine Arts Library

4.2.1.2. Bolsa de valores

En 1955, Enrique de la Mora y Fernando López Carmona recibieron el encargo de cubrir el antiguo edificio de la Bolsa de Valores de México, para lo que requirieron la ayuda de Candela y su empresa Cubiertas Ala.

A partir de ahí, existe información contradictoria en cómo se desarrollaron los hechos. La primera versión apunta a que los arquitectos mexicanos diseñaron la bóveda de arista a partir de la intersección dos paraboloides hiperbólicos perpendiculares entre sí. Sin embargo, los ingenieros calculistas opinaron que esa bóveda no se podía construir, y acudieron a Cubiertas Ala, donde Candela encontraría una solución basada en la geometría por encima de los cálculos.

La segunda versión señala que fue el propio Candela el que sugirió emplear la geometría parabólico-hiperbólica para resolver la bóveda.

Sea como fuera, esta bóveda supone la primera de su tipo, y se convertiría en uno de los principales recursos para Candela en la realización de cubiertas para espacios singulares.

Sin embargo, Candela no quedó satisfecho con la solución constructiva. Los increíbles espesores que conseguía en sus láminas de hormigón quedaban ocultos tras las vigas de borde que debían recoger los esfuerzos tangenciales, ocultando la ligereza de sus estructuras.

Las láminas de hormigón con borde libre ya habían sido construidas anteriormente, entre otros por Eduardo Torroja en el hipódromo de la Zarzuela (1934).

Durante el desarrollo de la cubierta de la Bolsa de Valores, Félix Candela empezó a intuir la posibilidad de liberar el borde de sus cargas. En la intersección de los dos hyper se generan dos arcos parabólicos que unen los soportes de la bóveda mediante sus diagonales. Estos podrían ser usados para transmitir las cargas de las láminas hasta sus cuatro apoyos, liberando al borde de cargas.

Sin embargo, no fue posible realizar la cubierta de la Bolsa de Valores con los bordes libres al no ser simétrica, siendo uno de los paraboloides de mayor dimensión que el otro (25,50 x 14,10 m). Como el propio Candela explica, “esta transmisión de esfuerzos debería ser hecha de modo que las componentes horizontales de los esfuerzos de borde en las aristas tuvieran valores iguales y opuestos”⁵

El repertorio formal de Candela iba aumentando con el paso de los años a partir de sus hallazgos estructurales y constructivos. La tipología de bóvedas de arista evolucionará a formas simétricas en sus dos ejes en proyección en planta, generalmente cuadrados, que permitan liberar al borde de esfuerzos y mostrar la esbeltez de las estructuras.

Esquema Bolsa de Valores. Dibujos por Carmen García Reig

⁵ CANDELA, Félix. 1964. "Candela: the shell builder" Colin Faber. México

Sección y planta inferior iglesia de San Antonio de las Huertas.
Archivos de la Avery Architectural & Fine Arts Library

4.2.1.3. Iglesia San Antonio de las Huertas

Fue al año siguiente, en 1956 cuando Candela realiza su primera bóveda de arista con bordes libres para la iglesia de San Antonio de Huertas. Candela ya había descifrado los secretos para lograr el borde libre, y la iglesia se proyectó con unas bóvedas de planta cuadrada.

El funcionamiento y la geometría de las nuevas bóvedas de esta iglesia era el mismo que en la bóveda de la Bolsa de Valores, pero su planta cuadrada le permitía liberar la rigidez de los nervios de borde. Orgulloso de su nuevo logro, Candela situó lucernarios entre las bóvedas de arista, consiguiendo que la luz acentuara la esbeltez que ahora sí se podía percibir de sus láminas.

De esta obra comenta Pepa Cassinello⁶ la similitud que presenta con las soluciones que aparecen en las catedrales góticas. La relación existente entre la obra de Candela y la arquitectura medieval, se fundamenta en la adecuación de la forma y la estructura. Para el nivel inferior Candela opta por una bóveda estrellada, acercándonos aún más a ese mundo medieval abovedado.

A partir de este proyecto Candela utilizará las bóvedas parabólico-hiperbólicas agotando sus posibles combinaciones. Aparecerán bóvedas con plantas triangulares, cuadradas, pentagonales, hexagonales, octogonales e incluso decagonales⁷, siempre utilizando formas simétricas que permitan eliminar los esfuerzos horizontales para liberar al borde de cargas. La simetría, repudiada por el movimiento moderno, se convierte en un factor fundamental en las obras de Candela.

En este mismo año, Candela, entusiasmado con su nuevo hallazgo constructivo, diseña varios proyectos usando estas bóvedas de geometría parabólico-hiperbólica. La experimentación en sus

⁶ CASSINELLO, Pepa. Catálogo de la exposición en conmemoración del centenario de Félix Candela. 2010. Madrid.

⁷ En el proyecto para la torre "Hemisfair", Candela emplea doce lóbulos para generar la estructura laminar.

múltiples posibilidades de combinación aparece como una constante en sus proyectos no construidos. De todos ellos destaca el proyecto para un mercado en México de 1956, que analizaremos a continuación.

Los inconvenientes de la simetría en la arquitectura funcionalista son por todos conocidos. Candela, al igual que Saarinen o Torroja, muestran las ventajas de la simetría en la arquitectura, enfocando la forma desde un punto de vista estructural sin dejar por ello de ser funcional.

San Antonio. Arriba: dibujo original publicado en "Candela the Shell builder" (Colin Faber); abajo: dibujo de Carmen García Reig

Mercado de Royan (Francia), René Sager. 1955

Restaurante los Manantiales (Xochimilco), 1957

4.2.2 Las bóvedas de arista en el contexto internacional

La tipología de bóvedas de arista sigue el patrón descrito: intersección de varios paraboloides hiperbólicos que giran en torno a un eje vertical, generando una planta simétrica en la que se eliminan los esfuerzos horizontales. Los arcos parabólicos que se generan en las intersecciones de los paraboloides transmiten los esfuerzos de las láminas al suelo, liberando así su borde.

En la publicación, *“Félix Candela en el contexto internacional de la Aventura Laminar de la Arquitectura Moderna: Thin Concrete Shells”*, Pepa Cassinello⁸ pone de manifiesto la relevancia de las bóvedas de arista a nivel internacional durante estos años.

Dos de las obras más emblemáticas de Félix Candela, el restaurante los Manantiales Xochimilco (1957) y la planta embotelladora Bacardí (1959) tienen sus raíces en proyectos que ya se habían construido. Candela depuró el sistema constructivo para ambas obras.

En 1955 René Sager realizó el mercado de Royán, en Francia. Esta obra constituye un precedente del restaurante los Manantiales que Candela construirá dos años más tarde. El parecido formal es indiscutible, aunque la bóveda de Sager cuenta con 13 lóbulos en lugar de los 8 de Candela, y salva una luz de 52,40 metros frente a los 30 del restaurante. El proyecto del restaurante de los Manantiales surgió de un croquis que dibujó Collin Faber para un proyecto que se ubicaría en un lugar diferente en el que se acabó construyendo, como cuenta Candela.

Aunque la forma de ambos proyectos es similar, se constituyen a partir de una matriz polar de 13 y 8 elementos respectivamente, Candela realiza el proyecto con su estilo propio y las consecuentes ventajas constructivas y económicas. En primer lugar, podemos apreciar que la superficie que utiliza Sager no es un paraboloide hiperbólico, y carece de las generatrices rectas

⁸ CASSINELLO, Pepa. Centenario de Félix Candela, la conquista de la esbeltez. *“Félix Candela en el contexto internacional de la Aventura Laminar de la Arquitectura Moderna: Thin Concrete Shells”*. Fundación Juanelo Turriano, p. 74. Madrid

que este ofrece en sus dos direcciones, con las dificultades constructivas que esto supone. El espesor variable no baja de los 8 centímetros, mientras que el proyecto de candela se sitúa en 4 centímetros, aunque hay que tener en cuenta que salva una luz mucho mayor.

El restaurante de los Manantiales está formado por la intersección de cuatro paraboloides hiperbólicos, generando ocho lóbulos. La distancia entre los apoyos es de 30 metros, considerada por Candela como la máxima luz eficiente para este tipo de estructuras. Los voladizos permiten superar la superficie a cubrir, siendo la separación de 42 metros para éstos. Para reforzar la sensación de levedad que consigue con los bordes libres, Candela vuela la lámina sobre los apoyos

Cinco años más tarde (1962), Heinz Hossdorf realiza la biblioteca de la universidad de Basilea y en 1980 Ulrich Müther construye el café Seerose en Postdam, ambos proyectos con una cubierta muy similar a la que utilizó Candela en el restaurante de los Manantiales. En estos dos casos utilizaron paraboloides hiperbólicos (tres y cuatro respectivamente) y siguieron las directrices que Candela había establecido en sus obras de bóvedas de arista.

En 1959 Candela realizó la planta embotelladora Bacardí. Seis bóvedas de arista de planta cuadrada que salvan de nuevo 30 metros de luz. Las bóvedas no están en contacto directo con el suelo, sino que la superficie parabólico-hiperbólica se prolonga para generar los apoyos. Al igual que en todas sus bóvedas de arista, unas vigas de refuerzo imperceptibles en forma de V transmiten los esfuerzos a los apoyos para dejar el borde libre. En esta obra cada uno de los paraboloides tuvo su propio encofrado, sin reutilizarlos para abaratar costes.

Biblioteca Universidad de Basilea. Heinz Hossdorf, 1962.

Café Seerose. Ulrich Muther. 1980

Aeropuerto de San Luis, 1954.

El propio Candela contaba como cuando encontró una publicación del aeropuerto de San Louis (1954) se dijo a sí mismo: “voy a hacerlo”⁹.

Para Candela supuso la oportunidad de mostrar a nivel internacional las ventajas de sus sistemas constructivos frente a los convencionales. Las tres bóvedas cilíndricas de San Louis contaban con un espesor que llegaba a los 20 centímetros, frente a los 4 de Candela. Además, presentaba grandes nervios para reforzar los bordes y las diagonales. Como establece Pepa Cassinello, “la utilización de superficies de simple curvatura demandan elementos rigidizantes, que las de doble curvatura no necesitan”.¹⁰

Fábrica embotelladora Bacardí, 1960.

⁹ CANDELA, Félix 1959. Archivos de Princeton University. Estados Unidos

¹⁰ CASSINELLO, Pepa. 2010. Centenario de Félix Candela 1910-2010. Fundación Juanelo Turriano. Madrid

4.2.3. Mercado de la Merced, 1956.

De entre las muchas estructuras laminares que Félix Candela había realizado, Colin Faber destacaba el Mercado de la Merced como un proyecto que, “de haberse ejecutado, la extrema delicadeza de la estructura, tanto como su majestuosa escala y los infinitos juegos de luz en sus vastos volúmenes, habría constituido, seguramente, la obra más importante de Candela.”¹¹

En 1956, tras la realización de su primera bóveda de arista dotada de bordes libres para la iglesia de San Antonio de las Huertas, Félix Candela realizó otros tres proyectos empleando estas bóvedas. Ninguno se llegó a construir.

Se trataba de diferentes variaciones entorno al mismo tipo estructural, experimentando con los recortes en la geometría para iluminar el interior, la yuxtaposición de los módulos y los apoyos. La propuesta para un edificio industrial será el antecedente de la fábrica embotelladora Bacardí.

La bóveda central del mercado de la Merced salva una luz de 52 metros, la mayor que hubiera realizado Candela utilizando estructuras laminares. No sería hasta 1958, con la construcción del restaurante los Manantiales, cuando Candela realizara su primera bóveda con 30 metros de luz. En las estructuras laminares posteriores nunca sobrepasó este límite, y lo fijó como el máximo eficiente para cascarones de hormigón.

A pesar de la importancia que supone el Mercado de la Merced, tan solo tres planos originales han sido publicados. Una perspectiva axonométrica y un alzado fueron publicados por Colin

Tres proyectos no construidos en 1956.

En orden: propuesta para un edificio industrial, estación de tren en Chapultepec y mercado de la Merced. Arts & Architecture Review, vol 76, Nº 5, mayo 1957, pp.19-20

¹¹ FABER, Colin. Candela: the Shell builder. p.208. 1964. México.

Proyecto para el mercado el Porvenir, Cali (Colombia).
Archivos de la Avery Architecture & Fine Arts Library

Faber¹², y una perspectiva cónica aparece en el catálogo de la exposición del canal de Isabel II¹³. La escasa difusión de los proyectos no construidos de Candela ha provocado que esta perspectiva cónica se atribuyera al proyecto de la fábrica embotelladora Bacardí.

Con el objetivo de generar una documentación más completa, y poder realizar un análisis del mercado, se ha realizado una reconstitución del mismo. Estos documentos nos han permitido realizar un análisis comparativo con otros dos proyectos construidos que emplean el mismo sistema estructural mediante bóvedas de arista de planta cuadrada: la iglesia de San Antonio de las Huertas (1956) y la fábrica embotelladora Bacardí (1960).

¹² Ídem

¹³ SEGUÍ BUENAVENTURA, Miguel. 1994. *Félix Candela arquitecto: exposición, depósito Elevado del Canal de Isabel II*. MOPTMA, Instituto Juan de Herrera. Madrid.

Reconstitución del mercado de la Merced, 1956. Perspectiva exterior. Imágenes del autor

Reconstitución del mercado de la Merced, 1956. Perspectiva exterior. Imágenes del autor

Reconstitución del mercado de la Merced, 1956. Perspectiva interior. Imágenes del autor

Bóveda de arista tipo 3 del mercado de la Merced. Generatrices del paraboloide hiperbólico. Imágenes del autor

Reconstrucción del mercado de la Merced y análisis comparativo con la iglesia de San Antonio de las Huertas y la fábrica embotelladora Bacardí.

4.2.3.1. Forma y geometría

Los tres proyectos tienen en común su geometría, basada en bóvedas de arista parabólico-hiperbólicas de planta cuadrada, aunque varían sus proporciones y dimensiones.

El mercado de la Merced está formado a partir de la combinación de cuatro módulos de bóvedas de diferentes dimensiones, que se sitúan de manera escalonada. Se genera así un espacio de transición de menor altura, que desemboca en el gran espacio central formado bajo la cúpula de mayores dimensiones. La diferencia de altura entre cada bóveda permite iluminar el espacio interior sin necesidad de realizar recortes en la superficie de la estructura laminar.

En el caso de la iglesia de San Antonio o la embotelladora Bacardí, el proyecto se genera mediante la repetición de una única bóveda de arista.

La geometría de las bóvedas surge a partir de la intersección de dos paraboloides hiperbólicos. Sin embargo los recortes que se realizan sobre la superficie infinita de cada hyper dan lugar a diferentes bóvedas, siendo diferentes los módulos en cada proyecto.

En las imágenes siguientes se detalla el proceso para generar una bóveda de arista a partir de la intersección de dos paraboloides hiperbólicos de bordes rectos que comparten su eje principal. Ambos se colocan de manera perpendicular, y tienen planta cuadrada, de manera que los esfuerzos horizontales se anulan.

Proyecto para el mercado de la Merced 1956. Archivos de la Avery Architectura & Fine Arts Library. Publicado en: Arriba e izquierda: Candela, the Shell builder, 1964 (Colin Faber); derecha: catálogo de la exposición en el Depósito del Canal Isabel II, 1994 (Miguel Seguí)

Plantas de la iglesia de San Antonio de las Huertas, 1956. Archivos de la Avery Architecture & Fine Arts Library. Publicado en el catálogo de la exposición con motivo del centenario de Félix Candela. 2010.

Planta y alzado de la fábrica embotelladora Bacardí, 1959. Archivos de la UNAM. Publicado en el catálogo de la exposición con motivo del centenario de Félix Candela. 2010.

1. Generatrices en una sola dirección. Paraboloide hiperbólico de bordes rectos.

2. Aumento de la densidad de las generatrices

3. Generatrices en dos direcciones. Superficie doblemente reglada

4. Generatrices de los dos paraboloides que formarán la bóveda de arista

Geometría módulo de bóvedas. Imágenes del autor

5. Intersección de los dos paraboloides que formarán la bóveda de arista

6. Alzados, planta y axonométrica de la bóveda de arista nivel 2.

Geometría módulo de bóvedas. Imágenes del autor

Alzado y módulos de bóvedas.
Imágenes del autor

4.2.3.2. Unidades espaciales y conectores

Todos los proyectos de Candela realizados mediante bóvedas de arista a partir de paraboloides hiperbólicos están generados por un módulo claro: la propia bóveda. Esta bóveda se corresponderá con la unidad espacial mínima, que en algunos casos puede ser el proyecto en sí. Los conectores usados variarán según el proyecto.

Las bóvedas se dispondrán siempre siguiendo uno o dos ejes axiales, o apareciendo como elemento único. En el proyecto final se podrán reconocer cada una de las partes, así como la unidad de la cubierta generada.

El proyecto para el mercado de la Merced está formado por cuatro módulos diferentes de bóvedas de arista, correspondiéndose cada uno de ellos a las diferentes unidades espaciales del proyecto. Las diferentes unidades espaciales se unen en una única cubierta que genera un espacio único sin fragmentar.

No existen elementos físicos que actúen como conectores en este proyecto, las bóvedas se yuxtaponen siguiendo ejes axiales una a continuación de otra, como elementos independientes que se unen para conformar un todo. Las diferentes alturas de cada bóveda facilitan el reconocimiento de estas unidades espaciales, y permite la entrada de luz y ventilación.

El espacio del mercado podría seguir creciendo, añadiendo nuevas bóvedas, o sustituyendo las ya existentes por otro módulo de bóvedas. Una característica de expansión que Bruno Zevi atribuía a la arquitectura orgánica.

La iglesia de San Antonio de las Huertas está formada por tres bóvedas de arista alineadas a lo largo de un eje, aunque no están unidas. Estas bóvedas constituyen la unidad espacial mínima, aunque al yuxtaponerse generan un espacio único sin particiones, un espacio fluido y dinámico.

Arco parabólico, separación entre las bóvedas. San Antonio de las Huertas, 1956. Fotografía de Guillermo Zamora.

Módulo de bóveda, fábrica embotelladora Bacardí.
Dibujo realizado por Carmen García Reig.

Módulo de bóveda mercado de la Merced. Generatrices
del paraboloides hiperbólico.
Imágenes del autor.

Características que se repetirán en la obra de Candela. El eje que siguen las bóvedas marcará la circulación de los ocupantes.

Los conectores aparecen de manera clara entre cada una de las bóvedas en forma de arcos parabólicos. Estos arcos cierran la cubierta y controlan la entrada de luz.

El muro perimetral delimita estas unidades espaciales y conforma el límite del proyecto.

La embotelladora Bacardí presenta seis bóvedas que se corresponden con cada una de las unidades espaciales, unidas entre sí directamente siguiendo dos ejes perpendiculares. De nuevo la suma de las diferentes unidades espaciales da lugar a un espacio único sin fragmentar, pese a poder reconocerse cada una de las bóvedas.

El todo más que la suma de sus partes. Al unir los diferentes módulos de bóvedas el espacio cambia, aparecen los huecos en la cubierta, la iluminación, los contrastes, la profundidad espacial...

Reconstrucción del mercado de la Merced, 1956.
Planta de cubiertas.
Imágenes del autor.

1. Bóvedas nivel 1

2. Bóvedas nivel 1 y 4

3. Bóvedas nivel 1 y 2

4. Bóvedas nivel 1, 2 y 3

5. Planta fugada seccionada

Diferentes módulos de bóvedas. Mercado de la Merced, 1956.
Imágenes del autor.

Bóvedas del mercado de la Merced, 1956. Planta fugada
invertida.
Imágenes del autor.

Bóvedas del mercado de la Merced, 1956. Planta fugada.
Imágenes del autor.

4.2.3.3. La luz

La luz natural como tema esencial en las estructuras laminares de Félix Candela. Atenderemos a tres aspectos diferentes:

- La luz como condicionante fundamental de la estructura envolvente, de sus ritmos y composiciones.
- La luz que se desliza iluminando el haz y el envés de la envolvente, de las cubiertas.
- La luz como proyección en el plano del suelo, dibujando la geometría recortada y repitiendo los ritmos previamente marcados, enfatizando la profundidad espacial para el observador.

Como ya hemos indicado, la geometría empleada para la realización de los módulos de los tres proyectos es la misma, cambiando la manera en la que las bóvedas se yuxtaponen y los recortes que se realizan sobre dicha geometría.

La luz natural aparece como un parámetro fundamental para determinar estas diferencias. Para generar los huecos en una superficie continua que rompe los límites entre el interior y el exterior.

Embotelladora Bacardí, recortes en la geometría.

La luz como condicionante de la estructura envolvente. Los recortes en la continuidad.

Atendiendo al primero de los puntos, la luz condiciona la estructura envolvente en cuanto a que es ésta la que genera los recortes sobre la geometría de los paraboloides hiperbólicos.

En la planta embotelladora Bacardí cada módulo de bóvedas sufrirá el mismo recorte, y al yuxtaponerse los módulos uno a continuación del otro, estos recortes se unen para generar los huecos de la envolvente.

Ésta solución permitirá que la luz proyecte sombras en el plano del suelo, y realza la curvatura de las bóvedas.

En San Antonio de las Huertas la luz recibe un especial cuidado al tratarse de una iglesia, edificio que para Candela necesariamente tiene que generar sensaciones en los observadores.

A diferencia de los que sucede en la planta embotelladora, para esta iglesia Candela opta por no realizar ningún recorte en la geometría de las bóvedas. Cuatro planos verticales seccionan las superficies parabólico-hiperbólicas de cada bóveda. La envolvente exterior se muestra como una pieza compacta donde los módulos se suceden uno a continuación de otro sin fisuras. Sin embargo, estos módulos están separados entre sí, quedando una abertura entre ambos por donde penetrará luz.

Entre cada una de las tres bóvedas de arista alineadas, un arco parabólico oculta esta separación y sirve para controlar la entrada de luz al interior. La luz no generará sombras en el plano del suelo, pero sí se deslizará por la superficie interior de la cubierta. La luz penetra por todo el perímetro de la bóveda, generando un degradado que comienza por el borde y disminuye hacia

la clave de la bóveda, quedando la intersección de los cuatro paraboloides hiperbólicos como la parte más oscura del interior de la cubierta.

La iglesia de San Antonio es el primer proyecto en el que se utiliza la solución de bóvedas de arista para dejar el borde libre (1956), y Candela realza la esbeltez de sus bóvedas mediante la luz, permitiendo que ésta solo penetre por el perímetro de cada bóveda.

El hecho de que el límite de San Antonio esté formado por un muro continuo y cerrado resalta aún más esta iluminación, generando un espacio para el recogimiento propio de una iglesia. Al igual que pasaba con las obras Gaudí, la luz ha de ser la necesaria, ni excesiva ni poca, puesto que ambas ciegan y los ciegos no ven.

Para el proyecto del mercado de México, también de 1956, la solución es más compleja que en las otras dos obras.

En este proyecto no hay un único módulo que se repita, sino cuatro diferentes, y la iluminación natural se producirá no mediante recortes (como en la embotelladora Bacardí) ni separaciones entre los módulos en el plano horizontal (como en la iglesia de San Antonio), sino por las discontinuidades que se producen al unir los módulos, de diferentes proporciones.

Al tratarse de cuatro módulos diferentes, la yuxtaposición de éstos no genera una superficie continua y cerrada. Cada uno de estos módulos tiene una altura diferente, y se ordenarán de menor a mayor desde el exterior hacia el interior, siguiendo el mismo el tamaño de los huecos.

Las bóvedas que se sitúan en el perímetro pertenecen a la misma familia de módulo, por lo que su unión da lugar a una superficie cerrada que no deja pasar la luz. La combinación de éstas bóvedas es similar a la que aparece en la embotelladora Bacardí, y un recorte en su geometría hubiera dado lugar a la misma solución.

Iglesia San Antonio de las Huertas.
Fotografías por Miguel Hidalgo

Embotelladora Bacardí, recortes en la geometría.

La luz comienza a entrar a través de la cubierta en el segundo nivel, cuando las bóvedas aumentan su altura, sin necesidad de recortar su geometría. Las bóvedas de menor altura situadas en el perímetro actúan como una única superficie donde apenas se puede distinguir el módulo principal (y el hecho de que este girado 45 grados confunde aún más en su percepción). Sin embargo, las bóvedas van ganando protagonismo según se alejan del perímetro, reconociéndose su geometría de manera más clara.

La luz que se desliza iluminando el haz y el envés de la envolvente de las cubiertas.

Como dijo Eduardo Torroja, *"en la arquitectura clásica existía el modelado de fachadas de edificios con planos y ángulos rectos que daban expresividad a la forma. Sin embargo, con los cascarones de doble curvatura no existe ese modelado y solo el efecto de las sombras cuando el sol se mueve alrededor del edificio durante el día permite al observador apreciar las tres dimensiones de la forma"*¹⁴

A diferencia de lo que sucede con los planos rectos, la luz se desliza sobre las superficies curvas generando un degradado que avanza paulatinamente siguiendo el movimiento del sol. Este factor gana más importancia cuando la propia cubierta se convierte en el alzado del proyecto.

Mientras que la embotelladora Bacardí y el proyecto para el mercado de México tienen una configuración similar (no igual) en el alzado a la hora de recibir la iluminación del sol, no sucede lo mismo con la iglesia de San Antonio.

La arquitectura religiosa siempre tenía una consideración especial para Candela:

*"El problema se reduce a conseguir con ésta, de manera libre, un efecto majestuoso y de grandiosidad y un ambiente de recogimiento acorde con la solemne ceremonia del culto. Lo importante es la forma, y sobre todo la forma interior."*¹⁵

Interior embotelladora Bacardí. Fotografía de Alberto Moreno Guzmán

¹⁴ CHILTON, John. The Engineer's contribution to contemporary architecture. Página 18

¹⁵ CANDELA, Félix. La forma estructural al servicio de una elocuente arquitectura religiosa. Conferencia leída ante la XXV National Conference in Church Architecture, Dallas. 1954.

Reconstrucción interior mercado de la Merced.
Imágenes del autor.

*"No se trata de resolver ingeniosamente una planta -que funcione- y recubrirla con una estructura convencional (...) sino de lograr un espacio interior expresivo, una estructura envolvente que se admire desde dentro."*¹⁶

El interior recibe toda la atención en la iglesia de San Antonio de las Huertas, y lo mismo sucede con su iluminación. Un muro continuo perimetral cierra a la iglesia y la hace impermeable a la luz, quedando como única entrada para ésta la cubierta. Como ya mencionamos, el control de la iluminación para este proyecto generaba el mecanismo de unión entre los diferentes módulos, y éstos solo son reconocibles desde el interior. El perímetro cerrado aumenta el efecto que genera la luz en la parte interior de la envolvente, cuidado en este proyecto como en ningún otro.

Se podría decir que en la iglesia de San Antonio el exterior es solamente la manifestación honesta del interior del espacio.

*"Deberíamos considerar las virtudes funcionalistas -integridad, honestidad, humildad y hasta pobreza- como las cualidades más deseables en un edificio religioso"*¹⁷

En el proyecto para el mercado de la Merced la fachada y la cubierta se confunden sin poder diferenciarlos. El juego de luces y sombras resalta el movimiento de las bóvedas que se sitúan a diferentes cotas, mostrándose al observador.

Al no existir un elemento que cierre el proyecto, la parte interior de la cubierta se percibe desde el exterior, siendo la iluminación la que resalta la distinción entre ambas.

En la embotelladora Bacardí las bóvedas se sitúan en una sola altura, por lo que se establece un límite más claro, aunque inexistente, entre lo que podría ser alzado y cubierta. El límite del

¹⁶ Ídem

¹⁷ Ídem

proyecto se cierra con planos rectos de cristal que recogen las sombras de los voladizos de las bóvedas, y diferencian perfectamente el haz y el envés de la cubierta. Los huecos que se producían por los recortes en la geometría de los paraboloides pasan a formar fisuras verticales que se diferencian claramente de estos planos rectos de cristal.

Reconstrucción interior mercado de la Merced.
Imágenes del autor.

La luz como proyección en el plano del suelo

La manifestación más clara de la luz en el interior de los proyectos es a través de la proyección de las sombras que genera la luz del sol. No la única, pues como hemos visto, los efectos que generaba la luz en la parte interior de las cubiertas recibe gran importancia en las bóvedas de Candela.

En la iglesia de San Antonio esta proyección no existe, para favorecer el ambiente de recogimiento. El control de la iluminación elimina por completo la manifestación directa de la luz para reducirla a los efectos de luz-sombra que genera en las bóvedas.

Los recortes en la geometría de las bóvedas en el caso de la embotelladora Bacardí, y los huecos que se producen por la diferencia de altura de los módulos en el caso del proyecto para el mercado, permiten que la luz del sol penetre hacia el interior.

Estas proyecciones se sitúan en torno a los soportes en la embotelladora Bacardí, resaltando la ligereza de la cubierta y marcando sobre el plano horizontal el comienzo y fin de los diferentes módulos. En el proyecto para el mercado estas proyecciones nos indican el camino hacia la gran bóveda central, donde la proyección de la luz alcanza su mayor tamaño, perdiéndose incluso la sensación de que es un hueco por donde entra la luz.

4.2.3.4. El límite

El límite recibe un tratamiento diferenciado en los tres proyectos que estamos analizando:

- Un límite claro y marcado mediante un muro en la iglesia de San Antonio.
- Un límite físico pero no visual en la embotelladora Bacardí mediante planos rectos de vidrio.
- Un límite permeable que se percibe gracias a la línea de apoyos en el mercado de la Merced, sin generar interrupción física ni visual. Los voladizos de las bóvedas generan un espacio de transición entre el exterior y el interior.

El grado de cerramiento es mayor en San Antonio y mínimo en el proyecto para el mercado.

En la iglesia de San Antonio de las Huertas, como ya hemos visto, es el espacio interior el que recibe toda la importancia, quedando el muro exterior que configura el límite como una manifestación -honesta, humilde y hasta pobre- de su interior.

Las bóvedas quedan envueltas por un muro perimetral, que actúa tanto como límite físico y visual.

- Como un límite físico que impide la circulación a través del perímetro, marcando un eje de circulación que comenzará desde el hueco del muro, la entrada, hasta llegar al altar. El muro perimetral no es de carga y no soporta a las bóvedas.
- Como un límite visual que no permite ver a través de él, centrando la atención en el interior de la iglesia, colaborando a generar un espacio de recogimiento.

Muro perimetral. San Antonio de las Huertas.

Embotelladora Bacardí, vista frontal

- Como un límite que no deja traspasar la luz. Actúa como un contenedor para la luz absorbida a través de las bóvedas. La luz que entra a través de la cubierta revotará en la superficie interior de este muro, como el límite que no podrá rebasar.

La forma de este muro se adapta a la geometría de los arcos parabólicos que controlan la entrada de luz, dando como resultado un muro plano, liso, sin huecos ni perforaciones (salvo la entrada) que imita en alzado la forma de las bóvedas.

En cuanto al límite que genera la cubierta, este ha sido ya tratado en el apartado de "la luz". La luz se configuraba como el elemento principal para generar este límite. La cubierta de San Antonio muestra una superficie sin fisuras, donde la luz penetra por el espacio de separación entre las tres bóvedas de arista (y su separación con el muro), y se controla mediante los arcos parabólicos ya mencionados. Una vidriera sirve de unión entre los arcos y las bóvedas, permitiendo que la luz realce la esbeltez de las bóvedas.

Mientras que en San Antonio se aprecia una clara separación entre el límite que genera la cubierta y el límite que genera muro, en la embotelladora Bacardí y el proyecto para el mercado de 1956 la cubierta se apodera también del contorno y el perímetro.

En la embotelladora Bacardí no aparece ningún muro opaco, pero sí un cerramiento de cristal. Mediante planos verticales, el cristal forma una superficie que separa de manera clara el interior del exterior. Esta superficie de cristal no tiene la fuerza contenedora del muro de la iglesia de San Antonio, y se ayuda de la cubierta para conformar el límite.

- La superficie de cristal genera un límite físico, que elimina la posibilidad de circular libremente a través de su perímetro, conteniendo al programa en un rectángulo formado por seis bóvedas de arista.

- A diferencia de San Antonio de las Huertas, esta superficie de cristal no genera un límite visual, aunque sí un impedimento a través del cual se puede ver.

- La luz circula libremente a través de este límite de cristal, proyectando hacia el interior las sombras de las carpinterías. Son los voladizos de las cubiertas los que generan el límite real.

- Los voladizos de las cubiertas generan un espacio de transición entre el exterior y el interior, aumentando el espesor que ofrecía la superficie de cristal.

En cuanto al límite que genera la cubierta, está condicionado principalmente por la iluminación interior. Los recortes en la geometría de las bóvedas ya han sido tratados en el apartado de "la luz".

Los pliegues que se producen en la cubierta dan lugar a que la superficie lisa de cristal desaparezca, para que sea la cubierta la que actúe como límite. Los huecos que recortaban la geometría de las bóvedas aparecen ahora en el alzado del edificio.

Del muro grueso y opaco de San Antonio pasamos a la superficie de cristal de la embotelladora Bacardí, para llegar al espacio vacío que se sitúa entre la cubierta y el plano del suelo en el proyecto del mercado de la Merced.

En el caso del proyecto para el mercado de México, son la cubierta y los apoyos los que generan el límite perimetral. Como ya vimos, el proyecto estaba configurado por diversos módulos de bóvedas, siendo las de menor tamaño las que se situaban en el perímetro, otorgando al proyecto una escala más humana hacia el observador del exterior.

La distinción entre cubierta y alzado desaparece en este proyecto, aumentando la altura de las bóvedas según se alejan del perímetro de manera escalonada.

Reconstrucción mercado de la Merced. Voladizo
Imágenes del autor

Reconstrucción mercado de la Merced. Límite perimetral.
Imágenes del autor

El límite se convierte en un espacio de transición formado por el primer nivel de las bóvedas, y marcado linealmente por los soportes. Un límite que rodea al edificio excepto por uno de sus lados, donde el gran tamaño de las bóvedas parece invitar al observador a acceder directamente al corazón del edificio.

Se genera un límite totalmente permeable que permite la libre circulación interior-exterior, un límite que actúa como espacio de transición que dialoga con el interior. El proyecto se configura como una gran cubierta que cubre un espacio público, sin que ningún elemento interrumpa la circulación.

Los ejes longitudinal y transversal que siguen las bóvedas no se corresponden con la direcciones que han de tomar los transeúntes; aunque esos ejes remarcan visualmente esa dirección, apuntando siempre hacia la gran bóveda central, dirección que queda remarcada con las proyecciones de la luz sobre el plano del suelo (ver apartado "la luz").

Reconstrucción mercado de la Merced. Perspectiva exterior
Imágenes del autor

Reconstrucción mercado de la Merced. Perspectiva exterior (2)
Imágenes del autor

4.2.3.5. Sistema constructivo

Como ya hemos mencionado, la forma en los proyectos de Félix Candela está vinculada a la estructura y los sistemas constructivos, así como al adecuado comportamiento de los materiales, produciéndose una separación tajante entre la forma y su función.

El sistema constructivo de los tres proyectos que estamos analizando es el mismo, adaptándolo a los cambios en la geometría que aparecen en cada uno de ellos.

Las generatrices de la superficie del paraboloides hiperbólico se proyectan sobre el plano horizontal del suelo como líneas rectas y paralelas, comenzando su construcción con el dibujo de estas líneas en el suelo¹⁸.

Una vez dibujada la proyección de las generatrices, se levanta el encofrado de madera, comenzando por las verticales desde la intersección de aquéllas. Tras acabar el encofrado y colocar las armaduras, se vierte el hormigón¹⁹.

1. Proyección de las hipérbolas degeneradas sobre el plano del suelo: obtenemos las diagonales del cuadrado. Imágenes del autor

2. Proyección de las generatrices sobre el plano del suelo. Obtenemos líneas rectas y paralelas. Imágenes del autor

¹⁸ La proyección de las generatrices de un paraboloides hiperbólico sobre un plano horizontal, perpendicular al eje principal, da como resultado rectas paralelas entre sí.

¹⁹ El sistema constructivo no es exclusivo de las bóvedas. Candela empleó métodos similares para las estructuras laminares que realizó en México con encofrados de madera.

3. Proyección sobre el plano del suelo

5. Encofrado formado por las generatrices del paraboloides hiperbólico.

4. Montantes encofrado y arcos parabólicos.

6. Bóvedas de arista a partir de paraboloides hiperbólicos. Se muestran las generatrices y parábolas de los paraboloides hiperbólicos.

Bóvedas del mercado de la Merced.
Imágenes del autor

San Antonio de las Huertas.
Fotografía de Villasana Torres

Embotelladora Bacardí. Fuente: exposición
en el Depósito del Canal de Isabel II,
Madrid, 1994. Miguel Seguí

Interior San Antonio de las Huertas. Fotografía de Guillermo Zamora

Sección San Antonio de las Huertas

4.2.3.6. Apoyos

*"He llegado al convencimiento de que el éxito de la mayor parte de mis obras estriba principalmente en el detalle del modelado de las patas o apoyos, y en la discreción o disimulo con que están dispuestos los refuerzos o nervaduras, es decir, en algo que no tiene mucho que ver con la forma general del cascarón en sí o con su cálculo."*²⁰ (Carta de Félix Candela a Carlos de Miguel, Octubre 1959)

Si observamos la obra completa de Félix Candela, podemos apreciar como la preocupación por la manera de apoyar las cubiertas se mantiene como una constante. En el caso que nos ocupa, el análisis de estos tres proyectos, los soportes se reducen a como apoyar bóvedas de arista a partir de la geometría de paraboloides hiperbólicos.

En todas las obras realizadas bajo esta geometría, los apoyos mantienen características comunes. La continuidad entre la cubierta y los soportes, al tratarse los soportes como una continuación de la geometría del paraboloide de la cubierta; el aspecto de ligereza que le confieren los soportes a las grandes cubiertas; la gran separación entre soportes, que coincidirá con los módulos de bóvedas empleados en cada caso.

Si nos limitáramos al campo estructural, los soportes utilizados en unos proyectos serían adecuados para otros.

"Puesto que para la elección de estos detalles hay siempre muchas posibilidades igualmente satisfactorias desde el punto de vista estático, volvemos a mi vieja afirmación de que el diseño

²⁰ CANDELA, Félix. Octubre 1959. "Félix Candela". Revista Nacional de Arquitectura, 28. Madrid

*estructural tiene mucho más de arte que de ciencia.*²¹ (Carta de Félix Candela a Carlos de Miguel, Octubre 1959)

Comenzando por la iglesia de San Antonio de las Huertas, en la planta superior las bóvedas de arista apoyan directamente en el forjado sin necesidad de generar un apoyo intermedio. Los esfuerzos serán transmitidos por los soportes del nivel inferior hasta la cimentación.

Aun pareciendo ésta la solución más sencilla desde el punto de vista geométrico, se trata de una solución atípica en la obra de Candela, pues en la mayoría de las ocasiones utilizará soportes intermedios entre la cubierta y el plano del suelo.

En el nivel inferior de la iglesia aparecen unos soportes estrellados, necesarios para recoger cada uno de los nervios de las bóvedas estrelladas. Los soportes son necesarios en el nivel inferior para poder elevar las cubiertas y generar la altura deseada.

Los soportes de la embotelladora Bacardí no son muy diferentes, a pesar de presentar una forma totalmente distinta. La diferencial principal estriba en que la geometría de las bóvedas de la embotelladora está recortada, siendo los soportes una parte de la geometría del paraboloide hiperbólico y no un añadido a la bóveda. La continuidad entre los soportes y la cubierta es absoluta, ya que forman parte de un mismo paraboloide.

La complejidad del proyecto para el mercado de la Merced, y el uso de diferentes módulos, obligan a la realización de diferentes soportes. Es necesario mencionar que la información disponible sobre el proyecto es insuficiente para determinar la configuración exacta de los apoyos,

Recorte de la geometría en una bóveda de arista. Geometría similar a embotelladora Bacardí. Dibujo por Carmen García Reig

Embotelladora Bacardí. Dibujo por Carmen García Reig

²¹ Ídem

Apoyos y recortes. Embotelladora Bacardí

Soporte estrellado. Proyecto mercado 1956. Imágenes del autor.

por lo que las hipótesis planteadas se basan en las diferentes soluciones que Candela ha utilizado en la obra construida.

Los apoyos interiores podrían estar realizados mediante soportes estrellados, similares a los que utilizó en el nivel inferior de San Antonio de las Huertas. Necesarios para recoger las ocho aristas de las cuatro diferentes bóvedas que soporta cada apoyo. Bajo las bóvedas perimetrales, de menor altura, los soportes podrían ser de cuatro lados, recogiendo una de las aristas en un lado del soporte, posible debido a la regularidad de estas bóvedas, todas con las misma altura y curvatura.

Los soportes perimetrales, así como los situados bajo la gran bóveda central reciben cargas en una sola dirección, por lo que se desplazan siguiendo la curva parabólica de las bóvedas. Recogen cinco aristas de las bóvedas, y se encuentran en un punto conflictivo, donde la estructura adquiera su mínimo grosor.

La diferencia entre los apoyos de los tres proyectos, no deriva de la geometría de las bóvedas (que es la misma, cambiando las proporciones y dimensiones), sino de la altura a la que se colocan dichos soportes siguiendo la geometría de los paraboloides.

Mientras que en el proyecto para el mercado los soportes aparecen debajo del plano horizontal que contiene los puntos de intersección de los arcos parabólicos (fruto de la intersección de los cuatro lóbulos de cada bóveda) de las diferentes bóvedas, en la embotelladora Bacardí los soportes se sitúan por encima de dicho plano (que coincidirá con el plano del suelo), siendo el recorte en la geometría de las bóvedas lo que permite reconocer a los apoyos. En el caso de San Antonio, no existen soportes como elemento independiente, apoyando las cubiertas directamente sobre el plano del suelo.

La información que existe sobre el proyecto del mercado no permite conocer como serían los soportes exactamente. Los tres tipos de soportes están dibujados a partir de los planos y dibujos de Candela e hipótesis extraídas de otros proyectos realizados por él mismo.

Planta de soportes. Imágenes del autor

Reconstitución del mercado de la Merced.
Imágenes del autor

Cubiertas sobre apoyos. Imágenes del autor

4.3. Estructuras laminares mediante paraguas invertidos.

4.3.1. Paraguas invertidos en la obra de Félix Candela. Proyectos clave en su evolución.

*“El paraguas puede considerarse como una de las estructuras más representativas en la obra de Candela y, sin ninguna duda, la estructura que usó más frecuentemente”.*²²

Félix Candela consideraba a estas formas estructurales como su mayor aportación a la arquitectura, debido a su bajo coste y alto rendimiento. Mediante un soporte, un único paraguas podía cubrir más de doscientos metros cuadrados. Más del 90% de las estructuras laminares que realizó Cubiertas Ala se llevaron a cabo mediante la estructura de paraguas invertido. El motivo principal fue económico, pues en México, durante los años 50 y principios de los 60, los paraguas ofrecían la opción más económica para cubrir grandes superficies. El uso principal al que se destinaron estas construcciones fue industrial.

El antecedente a la geometría del paraguas invertido se encuentra en el esquema de F. Aimond de 1936. Candela optimizó el sistema constructivo para elaborar paraguas a los medios de que disponía en México, por aquel entonces su país de residencia. Fue en este país en el que construyó literalmente cientos de estos paraguas, experimentando con múltiples variaciones sin encontrar una solución más eficiente.

La persistencia de Candela le permitió realizar estas estructuras en Estados Unidos y Europa, empleando sistemas constructivos más sofisticados que los desarrollados en México. Sin embargo,

Esquema de F. Aimond, 1936

Estructura de paraguas, 1942. Publicado en Candela the Shell Builder (Colin Faber)

²² BASTERRA, Luis Alfonso. "The behavior of the umbrella as a recurring theme in Félix Candela's work". Journal of the international association for shell and spatial structures, vol 51, p.47. Marzo 2010. Madrid.

Segundo paraguas construido por Candela, 1942. Fotografía de Carlos Recamier.

Almacenes de Río en Lindavista, 1944

a pesar de los intentos por sistematizar la construcción de paraguas fuera de México, su uso solo tuvo cabida en contadas ocasiones.

“El camino más adecuado para capacitarse en el diseño y construcción de cascarones de hormigón armado no necesitaba apoyarse en los ya entonces farragosos y complejos sistemas analíticos matemáticos, sino que conociendo las inmutables leyes de la Naturaleza (Estática, Mecánica y Resistencia de Materiales), el camino era la experimentación directa mediante la construcción de modelos.”²³

Fue así como Candela realizó en 1949 su primera estructura laminar, mediante un modelo a escala real. Evitaba así las complicaciones derivadas del cambio de escala. Durante los años treinta, Eduardo Torroja ya había comenzado con el diseño de modelos a escala reducida. Para desarrollar estos, sin embargo, era necesario tecnología que Candela no poseía, así como tiempo en adquirir conocimientos para ponerlos en práctica.

El primer paraguas invertido que realizó Candela se produjo de la misma manera, mediante un modelo a escala natural en agosto de 1952. Fue construido en una parcela de la colonia Tecamachalco (México D.F.) con las dimensiones exactas de 10,06 x 10,06 metros, con una flecha de 1,01 metros y espesor uniforme de 38 milímetros. Sin embargo, el resultado no fue satisfactorio, pues las deformaciones en las esquinas de las láminas fueron bastante acusadas, llegando a los 5 centímetros.

Mientras llevaban a cabo la construcción de otra obra, los andenes ferroviarios de las Aduanas en Vallejo, Candela realizó su segundo paraguas invertido. Se trataba de otro modelo a escala natural:

²³ CASSINELLO, Pepa. Centenario de Félix Candela, la conquista de la esbeltez. “Félix Candela en el contexto internacional de la Aventura Laminar de la Arquitectura Moderna: Thin Concrete Shells”. Fundación Juanelo Turriano, p. 74. Madrid

“Cuando estábamos construyendo las Aduanas, Félix me pidió permiso para hacer un experimento y le dije que claro que sí. Se llevó algunos albañiles a una parte del terreno y levantó un paraguas chaparrito. Cuando hubo que descimbrarlo, ninguno quiso entrarle pues pensaban que se iba a venir abajo, entonces él tomó un mazo y empezó a tirar los polines; ya que vieron que aguantaba se pusieron a ayudarlo (...) cuando todos estaban arriba yo agarré la cámara y saqué la foto que luego se publicó en todas partes”²⁴.

Para este segundo paraguas Candela redujo sus dimensiones, siendo de 7,92 x 7,92 metros su proyección en planta con una flecha de 0,71 metros. Además, aumentó el espesor de la lámina a 83 milímetros, sin embargo, las deflexiones en las esquinas fueron similares a las del primer paraguas. Tras aumentar la carga subiéndose 25 operarios a la estructura, las deformaciones se mantuvieron constantes.

Mediante el método experimental –sin necesidad de realizar los complejos cálculos que caracterizaban a las estructuras laminares- Candela llegó a la conclusión de que la manera de disminuir las deformaciones en las esquinas era aumentando la flecha del paraboloide.

El primer proyecto en el que Candela emplea la forma geométrica del paraguas invertido de manera masiva fue en 1954, para los almacenes de Río en Lindavista (México D.F.). El arquitecto de esta obra era su amigo y antiguo compañero Arturo Sáenz de la Calzada, con quien desembarcó en el “Sinaia” y trabajó en “Vías y Obras”.

A partir de este momento, los paraguas invertidos se convirtieron en la estructura más solicitada de Cubiertas Ala. Candela experimentó con sus dimensiones, flecha, inclinaciones para dejar paso a la luz natural y planteó variaciones que sacrificaban parte de su eficiencia.

Variaciones del paraguas invertido. Publicado en Candela, the Shell builder (Colin Faber)

²⁴ Entrevista a Carlos Recamier Montes realizada por Juan Ignacio del Cueto. CUETO, Juan Ignacio del. Félix Candela 1910-2010, pp.92-93. Ministerio de cultura. 2010. Valencia

Mercado de Abastos Jamaica. 1956. Fotografía de Armando Salas

Maqueta para el palacio presidencial en la Habana. Sert y Candela. 1957. "Candela, the Shell builder" (Colin Faber).

Estación de metro la Candelaria, 1963. "Candela, the Shell builder" (Colin Faber).

Proyecto para la catedral de Villahermosa, 1960. "Candela, the Shell builder" (Colin Faber).

Ese mismo año, en 1954, comienza la construcción de la fábrica textil High Life en Coyoacán. Sobre la superficie laminar se introducen prismas de vidrio, generando un mosaico²⁵ que permitía el paso de la luz solar. Pese a la belleza del mismo y las ventajas lumínicas que ofrecía, nunca se repitió esta solución debido al calor que se generaba en el interior.

En 1956 Candela lleva a cabo el paraguas de mayores dimensiones que jamás construirá para el mercado de Abastos Jamaica, con una proyección en planta de 18 x 18 metros²⁶. Según escribe Colin Faber²⁷, la flecha de los paraguas se limitó a 3 metros, muy poco para su tamaño, al generar una curvatura insuficiente. Para conseguir la rigidez necesaria, Candela optó por dividir la superficie en ocho fragmentos de hypar con aristas curvas adicionales, en lugar de los cuatro fragmentos que acostumbraba. Sin embargo, las esquinas de la lámina de hormigón se deformaron. El proyecto se mantuvo en pie hasta que un terremoto en 1985 lo derribó.

Aunque la solución del mercado no fue del todo satisfactoria, Candela volvió a emplear esta división en ocho fragmentos de hypar para el Palacio Presidencial en la Habana en 1957 junto con Josep Lluís Sert. En este caso se emplea una flecha exagerada para evitar deformaciones²⁸.

En 1960 Candela, junto con el arquitecto Jorge Creel, presenta una propuesta para la catedral de Villahermosa que analizaremos a continuación. Se vuelve a repetir la división en 8 fragmentos de hypar. La escala monumental de la obra abandonaba la eficiencia característica de los paraguas. De haberse llegado a construir el proyecto, hubiera supuesto la construcción de los paraguas de mayores dimensiones de Félix Candela, superando los 30 metros de altura, unas dimensiones de

Variaciones del paraguas invertido
Imágenes del autor

²⁵ La cubierta se usó como portada del libro Félix Candela: Engineer, Builder, Structural Artist, de María E. Moreyra Garlock y David P. Billington

²⁶ El proyecto no construido de la catedral de Villahermosa igualará esta luz, aumentando considerablemente la flecha, y el proyecto no construido para el aeropuerto de Murcia la superará, salvando 24 metros de luz.

²⁷ FABER, Colin. Candela: The Shell builder, p. 137. 1963, Reinhold, Nueva York.

²⁸ Ibídem., p. 145.

Arriba: exterior e interior de “John Lewis Warehouse, Stevenage New Town”, 1963

Texas instrument campus

Emblema de la “Great Southwest Corporation”

18 x 18 metros en los paraguas cuadrados y algo más de 20 metros de diámetro para los paraguas hexagonales. Los soportes están formados por estrellas de seis puntas que se invierten la parte superior, dando lugar a doce superficies de hyperboloides.

Candela reaprovecha la geometría de la catedral en un proyecto más modesto, la estación de metro de la Candelaria en 1963. Para este proyecto realiza 22 paraguas de planta cuadrada con gran flecha y curvatura. Los soportes son parecidos a los diseñados para la catedral, aunque la parte inferior está formada por hexágonos que gradualmente se transforman en estrellas de punta según ascienden.

A nivel internacional, Candela no llegó a construir los paraguas de manera masiva. A pesar de que defendía que sus soluciones eran económicamente superiores también fuera de México, Candela alegaba que los contratistas no le creían²⁹.

Fue en 1958, en el apogeo de su carrera, cuando Candela construyó su primera estructura de paraguas invertido en Estados Unidos para la “Great Southwest Corporation”. Se trataba de tres paraguas que servirían de emblema para la empresa³⁰, además de varios almacenes. Los artesanales encofrados de madera fueron sustituidos por encofrados metálicos, pues el coste de la mano de obra en Estados Unidos era mucho mayor que en México.

No sería hasta 1963 cuando Candela construiría su primer proyecto en Europa, también haciendo uso de la estructura de paraguas invertido para el almacén John Lewis, “mediante el uso de métodos de construcción más sofisticados que los usados convencionalmente en México”³¹.

²⁹ DE GARAY, Graciela. Entrevista al arquitecto Félix Candela realizada en su domicilio en Riley, North Carolina. por Graciela de Garay. 9 agosto 1994

³⁰ La icónica construcción ha sido posteriormente adaptado por Foster para la empresa Repsol

³¹ MENDOZA, Marisela. “Felix Candela’s first European Project: The John Lewis Warehouse, Stevenage New Town”. Architectural Research Quarterly, pp, 149-160. Junio 2015.

Interior de la fábrica textil High Life, 1954

Sistema constructivo de un paraguas en México.

Iglesia de la Medalla de la Virgen Milagrosa, 1953-1955.
Publicado en Candela the Shell builder (Colin Faber)

De entre las variaciones de paraguas que Candela realizó destaca sin duda la iglesia de la Medalla de la Virgen Milagrosa (1953-1955). *“En realidad, la idea para la iglesia provino de un texto de ingeniería francesa, donde vi una estructura como ésta, con picos y cuatro paraboloides formando cuatro caras, muy apuntada, y me dio la idea de que con paraboloides podría hacer estas formas de tendencia ascendente, que es en realidad Gótico, y es lo que se considera arquitectura religiosa en Occidente”*³². A partir de esa idea, Candela partió de la geometría de un paraguas invertido hasta llegar a la solución, generando cuatro pórticos que envolvían a un espacio interior sobrecogedor. Algunos autores la han denominado como una interpretación goticista tardía que puede situarse en la tradición del expresionismo alemán³³.

Gran parte del éxito de las estructuras laminares de Candela en México se debe a que supo adaptar este tipo de construcciones a las condiciones socio-económicas del país. Para la iglesia de la Milagrosa, *“todos los vertidos de hormigón se realizaron a mano, mediante operarios que transportaban en latas de gasolina y otros precarios recipientes la masa fresca, ascendiendo por las superficies encofradas, en ángulos casi verticales, mediante provisionales elementos de apoyo”*.³⁴

Son muchas las construcciones y variaciones de paraguas invertido que Candela desarrolló, siendo este uno de los aspectos más difundidos en publicaciones referentes al arquitecto³⁵. No es, sin embargo, objeto de la presente tesis repetir la información ya existente en este ámbito, sino completar la información a partir de los proyectos no construidos.

³² Ídem

³³ CAPITEL, Antón. Arquitectura europea y americana, p.466

³⁴ BASTERRA OTERO, Luis Alfonso. Las estructuras arquitectónicas de Félix Candela: Una revisión actual. Tesis doctoral, ETSAV, departamento de construcción, p. 76. 1998, Valladolid.

³⁵ Cabe destacar los estudios realizados por Luis Basterra Otero publicados en el vol. 51 de “Journal of The International Association For Shell and Spatial Structures”, pp-47-57. 2010. Madrid.

4.3.2. Variaciones geométricas de la estructura de paraguas invertidos tras el declive de Cubiertas Ala.

Tras 1964, la alteración de los salarios mínimos y el incremento del coste de la madera, afectó a la construcción de todas las estructuras laminares en México, provocando el comienzo del declive de Cubiertas Ala³⁶.

La reacción de Candela no se hizo esperar, y ese mismo año presentó una propuesta para el concurso del Crystal Palace de Londres en la que adaptaba la geometría de sus ya icónicos paraguas invertidos a una estructura arbórea formada por una retícula metálica.

Una solución similar fue empleada para la zona de exposiciones y muestras que se situaría junto a la cúpula del Palacio de los Deportes para las Olimpiadas de México en 1966.

Tras un largo periodo en el que Candela abandonaría la geometría del paraboloide hiperbólico, fue de la mano de Fernando Higueras, en 1982, cuando ambos arquitectos realizaron una variación magistral de la geometría del paraguas invertido para la terminal del aeropuerto de Murcia.

Ninguno de estos proyectos se llegó a construir, y serán objeto de estudio de la tesis.³⁷

Proyecto para la zona de ferias y exposiciones. Anexo del Palacio de los Deportes de México, 1966. Archivos de la Avery Architectural and Fine Arts Library

Proyecto para aeropuerto en Murcia, 1982. Archivo Higueras del Colegio de Arquitectos de Madrid.

³⁶ En el capítulo V de la tesis se detallan estos aspectos

³⁷ Estos proyectos serán analizados en los capítulos V y VI.

4.3.3. Catedral de Villahermosa, 1960

“No considero lícito, sin embargo, buscar esta belleza alterando la forma natural de una estructura, en aras de un escandaloso sensacionalismo, pero no hay razón económica que nos impida moldear de manera arbitraria la configuración particular de cada elemento... Hay campo más que sobrado en este tratamiento sensitivo de los detalles para expresar la propia personalidad y talento sin tener que recurrir a soluciones extravagantes que estén en desacuerdo con las inmutables Leyes de la Estática”.³⁸

En 1960 Félix Candela y Jorge Creel llevan a cabo una propuesta que no se llega a materializar para la catedral de Villahermosa. Los paraguas ganan en este proyecto una escala monumental, alejándose de la eficiencia económica con la que éstos fueron concebidos.

Se trata de un proyecto que apenas ha recibido atención. La única publicación realizada se encuentra en el libro que Colin Faber publicó³⁹. En la selección de proyectos que Colin Faber incluyó tomó parte propio Candela. Un único dibujo fue publicado, aunque en el archivo Candela de la Avery Architectural & Fine Arts Library se conservan dos dibujos y una fotografía de la maqueta.

Dada la poca información del proyecto y la importancia del mismo, se ha decidido realizar una reconstitución gráfica a partir de la perspectiva conservada, que permita un análisis pormenorizado.

³⁸ CANDELA, Félix. En defensa del formalismo y otros escritos. “La obra de Pier Luigi Nervi”. Xarait ediciones. 1985, pp. 155-162

³⁹ FABER, Colin. “Las Estructuras de Candela”, 1969, Reinhold, México D.F.

Proyecto para la catedral de Villahermosa, 1960. Publicado en el libro "Candela the Shell builder" (Colin Faber)

4.3.3.1. Forma y geometría

La superficie de cubierta se lleva a cabo mediante veinte paraguas situados en cuatro filas, que generan las tres naves clásicas de las catedrales occidentales. La nave central se forma mediante paraguas con planta cuadrada, de 18 x 18 metros de lado, igualando así la luz máxima que Candela alcanzó en el mercado de Abastos Jamaica (1964). Sin embargo, su **altura es superior a los 30 metros, convirtiendo a éstos en los mayores paraguas que Candela diseñaría.**

Las naves laterales quedan delimitadas por dos hileras de paraguas de planta hexagonal que salvan la misma luz de 18 metros, permitiendo la modulación del proyecto.

La superficie de los paraguas de planta cuadrada se forma mediante ocho fragmentos de paraboloides hiperbólicos con una flecha de 5,5 metros. Se consigue así mayor curvatura en la lámina de hormigón, con su consecuente aumento de resistencia. De manera análoga, los paraguas de planta hexagonal se forman a partir de doce fragmentos de paraboloide hiperbólico.

Se trata de una subdivisión parecida a la que usó en los proyectos del mercado de Abastos Jamaica y en el palacio presidencial de la Habana, y que volverá a emplear para la estación de metro la Candelaria.

Reconstitución de la catedral de Villahermosa. Perspectiva lateral. Imágenes del autor.

Reconstitución de la catedral de Villahermosa. Perspectiva frontal.
Imágenes del autor.

Reconstitución de la catedral de Villahermosa. Bóveda central de crucería. Imágenes del autor.

4.3.3.2. Unidades espaciales y conectores.

La modulación del proyecto permite que a lo largo de eje longitudinal la distancia entre los soportes sea la misma (18 metros), yuxtaponiéndose los paraguas uno a continuación del otro. Aparece un ritmo marcado y homogéneo, en el que los paraguas perimetrales se intercalan con los de la nave central, rompiendo así el esquema de los pórticos tradicionales.

Sin embargo, en la dirección transversal, los paraguas se superponen, situándose los paraguas hexagonales a menor altura. De esta manera la nave central tiene mayores dimensiones y altura que las laterales, como acostumbraban las iglesias occidentales.

Las unidades espaciales quedan perfectamente definidas en la nave central, delimitadas por un cuadrado que surge al unir los soportes. Desde el interior, la cubierta de la nave central se percibe como una bóveda de crucería similar a las catedrales góticas, donde las nervaduras han sido sustituidas por ligeras hendiduras que marcan la intersección entre cada paraboloide hiperbólico.

En las naves laterales las unidades espaciales se disuelven, los pilares solo se alinean en una dirección, y la cubierta se forma por la yuxtaposición de dos elementos que no cierran herméticamente.

Los paraguas aparecen sin ningún tipo de elemento conector.

Reconstitución de la catedral de Villahermosa. Perspectiva frontal (II). Imágenes del autor.

Esquemas de los módulos.
Imágenes del autor

Esquemas de los módulos (II). Imágenes del autor

4.3.3.3. La luz

Si consideramos el proyecto abierto por su perímetro, la luz natural recorrería toda la planta con el único impedimento de los grandes soportes. Las grandes sombras que proyectarían sobre el plano del suelo ayudarían a marcar el ritmo

La abertura que se produce entre los paraguas hexagonales y cuadrados permite una entrada controlada de luz, que se deslizaría por la superficie parabólico-hiperbólica. Ya vimos en la iglesia de San Antonio de las Huertas los espectaculares resultados que la luz puede generar sobre estas superficies.

Planta de cubiertas. Imágenes del autor

4.3.3.4. El límite

Considerando el proyecto como aparece en los dibujos, no existe un límite ni físico ni visual entre el exterior y el interior.

El límite queda marcado por la línea de soportes y los voladizos de la cubierta, que generan un espacio de transición en todo su perímetro.

Al no existir un límite físico que impida el tránsito de personas, las tres naves longitudinales no marcan las direcciones de circulación, al igual que sucedía con el mercado de la Merced. El proyecto puede percibirse como un bosque de grandes palmeras por el que se puede circular libremente.

Planta de cubiertas y soportes.
Imágenes del autor

Soporte hexagonal y octogonal. Encuentro con las intersecciones de los hyper. Imágenes del autor

4.3.3.5. Apoyos

Nunca antes Candela había diseñado unos soportes de tan grandes dimensiones, aportando al proyecto una escala monumental apropiada para una catedral.

La sección de los apoyos genera una estrella de seis puntas para los paraguas hexagonales y de ocho puntas para los paraguas cuadrados, que varían según asciende. La forma cóncava de la estrella en la parte inferior se convierte en convexa en la parte superior. Se generan de este modo doce y dieciséis paraboloides hiperbólicos respectivamente, para formar cada soporte.

Al variar el número de vértices de los soportes, las curvas de intersección de los fragmentos de hyper de la lámina de la cubierta asientan perfectamente en los soportes.

Planta de soportes, proyección de cubierta.
Imágenes del autor

Alzados. Imágenes del autor

4.3.3 Otros proyectos mediante estructuras laminares a partir de paraboloides hiperbólicos.

Los documentos presentados a continuación pertenecen a los archivos de las universidades de Columbia, Princeton y la UNAM, a excepción de las reconstrucciones. Han sido previamente publicados en revistas, libros o exposiciones.

Variación paraguas de seis lados. Archivos de la Avery Architectural and Fine Arts Library

Reconstrucción. Perspectiva axonométrica.
Imágenes del autor

Anteproyecto para capilla en el Pilar, 1964.

Publicado en el catálogo de la exposición en el canal de Isabel II, Madrid. Miguel Seguí.

Reconstitución. Imágenes del autor

Anteproyecto para una iglesia.
Archivos de la Avery Architectural and Fine Arts Library

Anteproyecto para la iglesia de Nuestra Señora del Buen Consejo, México D.F.
Izquierda: archivos de la Avery Architectural and Fine Arts Library; derecho: revista Nacional de
Arquitectura.

Iglesia de San Esteban.

Publicado en el catálogo de la exposición en el canal de Isabel II, Madrid. Miguel Seguí.

Iglesia de San Antonio en Xotepingo. Archivos de la Avery Architectural and Fine Arts Library

Proyecto para un teatro universitario en el parque de Chapultepec. 1959. Izquierda: las estructuras de Félix Candela, una revisión actual, tesis doctoral de Basterra Otero; derecha: Candela, the Shell builder, por Colin Faber.

Combinaciones de hyperboloides.

Publicado en el catálogo de la exposición en el canal de Isabel II, Madrid. Miguel Seguí

Torres.

Izquierda: Torre Olivetti, 1963, fuente: las estructuras de Félix Candela, una revisión actual, tesis doctoral de Basterra Otero; derecha: Hemisfair Tower (Texas), 1964, fuente: las bóvedas de arista de Félix Candela, Juan Ignacio del Cueto.

Reconstitución de Hemisfair Tower.
Imágenes del autor

Capítulo V

Tercera etapa. Desde 1965- 1968 hasta 1972.

Grandes cúpulas con cerramiento de paraboloides hiperbólicos.

Palacio de los Deportes para las Olimpiadas de México en 1968.
Archivos de la Avery Architectural and Fine Arts Library

Logotipo para las Olimpiadas de México en 1968. Fuente:
Wikimedia commons (enero 2011).

5.1. De las estructuras laminares a las grandes cúpulas

“Soy una persona desplazada en el mundo actual y no sé lo que hacer ni si valgo para algo.”¹

Los motivos del cambio

En 1968 Félix Candela sorprendió al mundo con la construcción del Palacio de los Deportes para las Olimpiadas de México. El proyecto supone la materialización de un cambio trascendental en la trayectoria del arquitecto, que llevaba casi dos décadas realizando estructuras laminares siguiendo la geometría del paraboloide hiperbólico.

La construcción del estadio olímpico de México es el resultado de una serie de factores de motivación no únicamente arquitectónica, sino circunstancias económicas, personales y hasta políticas, que se remontan a principios de la década de los años 60.

Cuando se le preguntaba al propio Candela por los motivos de este cambio, el por qué no había utilizado una lámina de hormigón para el estadio olímpico, la respuesta era sencilla:

“las limitaciones del material (hormigón) le hacen, en general, poco apropiada para luces de estas dimensiones”²

¹ CANDELA, Félix. Octubre 1969. “El futuro del arquitecto” *Revista Nacional de Arquitectura*, Madrid.

² CANDELA, Félix. Febrero 1956. “Solución estructural del Palacio de los Deportes”, *Revista Nacional de Arquitectura*, Madrid.

Cierto es que la luz que salva el estadio olímpico de México (unos 150 metros de lado) es muy superior a las que había realizado hasta el momento mediante láminas auto-resistentes de hormigón, siendo de 30 metros (42,43 metros en diagonal) la máxima luz que se llegó a cubrir, en los proyectos de la embotelladora Bacardí y el restaurante “los Manantiales” en Xochimilco.³

Las premisas de eficiencia que menciona Félix Candela son un factor determinante en este cambio⁴, sin embargo, quedaban preguntas sin responder. El estadio se realizaría al margen de su empresa familiar (Cubiertas Ala), la geometría de los paraboloides hiperbólicos perdía su condición de estructura principal para pasar a ser el cerramiento, la geometría esférica se facetaba para incluir paraboloides hiperbólicos... pero sobre todo, ¿por qué durante los años siguientes Candela centraría su interés en la realización de grandes cúpulas y dejaría de lado las estructuras laminares que le dieron fama en todo el mundo?

A continuación se enumeran las diversas circunstancias que influyeron en este cambio de trayectoria de Félix Candela:

- Circunstancias económicas.
- El contexto internacional de las estructuras laminares.
- Nuevas influencias arquitectónicas. Emilio Pérez Piñero, Frei Otto, Buckminster Fuller, Praeger-Kavanagh-Waterbury.

Mercado de la Merced. México, 1956. Dibujo publicado en “Candela, the Shell builder”, Colin Faber.

³ Pese a que nunca construyó una estructura laminar que salvara una luz superior a 30 metros, en el proyecto no construido para el mercado de la Merced en México (1956) aparece una bóveda que salvaría una luz de 52 metros. Este proyecto es dos años anterior que la fábrica Bacardí.

⁴ Durante la realización de la fábrica embotelladora Bacardí en 1960, Candela reconoció que la eficiencia de sus “cascarones” de hormigón había llegado a su límite con luces de 30 metros.

- Circunstancias personales.
- La docencia universitaria.
- Nuevas ofertas laborales.
- Circunstancias políticas.

5.1.1. Circunstancias económicas.

En 1969, un año después de la construcción del Palacio de los Deportes para las Olimpiadas de México y veinte desde que realizara su primera estructura laminar, el mismo año en que abandonaría su empresa Cubiertas Ala, Félix Candela leyó en el auditorio de Kresge (MIT) un discurso titulado “el futuro del arquitecto”, un discurso que concluía con estas palabras:

“La verdad es que estoy tan perdido y desorientado como ustedes. Tengo cerca de sesenta años, me he pasado veinte de ellos como constructor y diseñador de estructuras, conozco el oficio de arquitecto tradicional razonablemente bien y no encuentro mercado ni uso para unas habilidades que me han costado muchos años conseguir. Soy una persona desplazada en el mundo actual y no sé lo que hacer ni si valgo para algo.”⁵

Estas palabras son el fruto de la frustración que sufría Candela ante las dificultades con las que se encontraba para seguir construyendo sus estructuras laminares de hormigón, las mismos que pocos años atrás se contaban en cientos.

En 1964 Gustavo Díaz Ordaz sustituye a Adolfo López Mateos como presidente de la república de México (1964-1970). Por primera vez se fijan los salarios mínimos profesionales y la mano de obra para la construcción asciende, con trágicas consecuencias para Cubiertas Ala (empresa presidida por Félix Candela). El salario mínimo pasó de 17,50 pesos en 1962 a 32 pesos en 1970⁶ (aunque estas cifras obedecen también a variaciones propias de la economía de un país).

El éxito de Félix Candela en México y la inmensa cantidad de estructuras laminares que construyó, se deben en gran medida a la superioridad económica de sus soluciones. Un sistema constructivo adaptado a la realidad social del México de mediados del siglo XX, un sistema que permitía un

Construcción de la iglesia de la Virgen Milagrosa, México 1953-1955. Archivos de la Avery Architectural and Fine Arts Library

⁵ CANDELA, Félix. Octubre 1969. “El futuro del arquitecto” *Revista Nacional de Arquitectura*. Madrid

⁶ CÁRDENAS OJEDA, Mauro; PERALTA, Carlos; CÁRDENAS HERNÁNDEZ, Mauro. Marzo 2008. “Salario mínimo en México”. México.

considerable ahorro en material (espesores de 4 cm con pocos apoyos, y principalmente la reducida cantidad de acero necesaria para las armaduras), pero que necesitaba más trabajadores que las estructuras convencionales para llevar a cabo los artesanales encofrados de madera y el vertido de hormigón. La geometría de los paraboloides hiperbólicos simplificaba este proceso constructivo, permitiendo realizar solo a partir de rectas los encofrados o las armaduras, pero su carácter artesanal seguía requiriendo gran cantidad de trabajadores, así como gran cantidad de madera.⁷

"No tiene, por otra parte, toda su justificación económica la cubierta laminar en este caso particular porque la disminución de materiales y mano de obra que lleva consigo a quedado compensada por el gran coste del andamiaje, ya que la cubierta se hizo a toda cimbra..."⁸

Sin embargo, la justificación económica no era el único motivo para la realización de estructuras laminares. En países con economías más fuertes que el México de mediados del siglo XX, la realización de estructuras laminares no suponía un ahorro, precisamente por el incremento en el coste final que suponía la mano de obra. El bajo salario que percibían los trabajadores mejicanos, así como la gran aceptación que tuvieron los "cascarones" de hormigón entre los arquitectos de dicho país, parece uno de los principales motivos por los que México posee el mayor número de estructuras laminares construidas de todo el mundo.

La rentabilidad económica de los "cascarones" de hormigón de Candela radicaba precisamente en el empleo de gran cantidad de "mano de obra barata" procedente de los flujos migratorios del

⁷ Eduardo Torroja explica como el elevado coste para la realización del encofrado para la cubierta laminar del frontón de Recoletos contrarresta el posible ahorro que se produciría en el hormigón. La geometría del paraboloide hiperbólico que utilizará Candela simplifica y abarata en gran medida la construcción de los encofrados.

⁸ TORROJA, Eduardo. 1936. "La cubierta laminar del frontón Recoletos". Manuscrito original archivo Torroja CEHOPU, página 11. Madrid.

campo a la ciudad, provocados por la incipiente industrialización de México. A partir de 1964 y debido a la intervención de Gustavo Díaz Ordaz, las estructuras laminares de Candela tendrán un aumento en su coste de ejecución, comenzando el declive de su empresa Cubiertas Ala.

Estos cambios afectaron no solo a Candela, sino a todos aquellos que se habían especializado en la construcción de estructuras laminares en México, fueran o no paraboloides hiperbólicos. Cada uno de ellos tuvo que buscar su nuevo “instrumento”, y en el caso de Félix Candela vendrá en forma de geometría esférica.

Fernando López Carmona lo expresa de esta manera:⁹

"(Hablando sobre las estructuras laminares) Todo esto nos da un instrumento, ahora ya tienes un violín, ahora ya puedes jugar a intentar ejecutar a Mozart, no imitar a Mozart, pero si ejecutarlo.

Díaz Ordaz crece el salario mínimo, saca los presupuestos del mercado (...) y nos deja sin violín.

*En ese momento aparece el premesa (...) nada más que los presdosados¹⁰ junto a los cascarones son un tambor junto a un violín. A tamborazos no puedes ejecutar a Mozart."*¹¹

Por su parte, Juan Antonio Tonda¹² busca el declive de las estructuras laminares de México en:

⁹ Fernando López Carmona, arquitecto mejicano que se especializó en estructuras laminares, colaboró con Félix Candela (junto a Enrique de la Mora) en proyectos icónicos como la bolsa de valores de México, la iglesia de San Antonio de las Huertas o la iglesia de Nuestra Señora de la Soledad.

¹⁰ Presdosados se refiere a trasdosados.

¹¹ LÓPEZ CARMONA, Fernando. 2008. "Entrevista a Fernando López Carmona". Aquella primavera creadora, cascarones de concreto armado en México, UNAM, IASS. Acapulco.

¹² Juan Antonio Tonda Magallón, arquitecto mejicano especializado en la construcción de estructuras laminares. Colaboró con Félix Candela en obras como la cubierta para el hotel casino de la selva.

"... aislamiento, falta de mano de obra para la ejecución de la cimbra. Ahora todo se quiere hacer con prefabricados, y el cascarón no es algo prefabricado."¹³

A su vez, en 1960 entró en vigor una nueva ley forestal que aumentaba la protección de los bosques de México, lo que perjudicaba la tala de árboles, e indirectamente encarecía los encofrados de madera necesarios para la construcción de las láminas de hormigón.

Como veremos más adelante, el declive de las estructuras laminares no será un caso aislado en México, sino que se producirá en todo el mundo, hasta el punto de que a partir de 1970 su construcción se reduce a casos singulares.

¹³ TONDA, Juan Antonio. 2008. "Entrevista a Juan Antonio Tonda". Aquella primavera creadora, cascarones de concreto armado en México, UNAM, IASS. Acapulco.

5.1.2. Los archivos de Cubiertas Ala S.A.

Los archivos de Cubiertas Ala, empresa familiar presidida por Félix Candela, muestran a través de sus números como los cambios realizados en los salarios mínimos influyeron de manera decisiva en el porvenir de dicha empresa.

Desde que en 1950 Félix Candela fundara la empresa junto con sus hermanos Antonio y Julia Candela, y los arquitectos Fernando Fernández, Raúl Fernández y Luis Certucha, hasta su disolución en 1976, aparecen varias fechas de vital importancia:

- Entre 1951-1952, la construcción del pabellón de rayos cósmicos otorga fama internacional a Félix Candela.
- También en 1952 Candela construye la primera estructura mediante paraguas invertidos. Más del 90% de las obras llevadas a cabo por Cubiertas Ala seguirán esta económica forma estructural. El porcentaje de obras de carácter industrial se sitúa por encima del 90% en 1954 y años posteriores.
- 1964, Gustavo Díaz Ordaz se convierte en el nuevo presidente de la república de México. Cambia los salarios mínimos profesionales.
- 1969, Félix Candela abandona la empresa.

Desde 1964 se produce un descenso drástico de las obras ejecutadas, y a partir de 1969 los números se aproximan a 0.

No sucede lo mismo con el número de encargos recibidos, que parecen mantenerse elevados gracias a la fama adquirida en años anteriores, por lo menos hasta 1969 cuando Félix Candela se desvincula de la empresa. La relación entre encargos y obras construidas desciende tras 1964.

Felicitaciones de Navidad de la empresa Cubiertas Ala.
Archivos de la Avery Architectural and Fine Arts Library

Proyectos de la empresa Cubiertas Ala S.A.						Félix Candela
AÑO	Encargos	Obras	Sumatorio obras	Proyectos industriales		Acontecimientos importantes en la vida de Félix Candela
				Nº	%	
1950	30	18	18	12	66,70%	Construcción del pabellón rayos cósmicos (51-52)
1951	70	43	61	28	61,10%	Construcción primer paraguas experimental (1952)
1952	58	38	99	26	68,40%	Primera salida a Estados Unidos (1952)
1953	50	37	136	27	73,00%	Construcción primera bóveda de arista mediante hypar
1954	46	34	170	33	97,10%	
1955	77	58	228	54	93,10%	
1956	97	74	302	71	95,90%	
1957	130	110	412	109	99,10%	
1958	99	71	483	71	100,00%	Exposición universal Bruselas
1959	87	69	552	67	97,10%	Conoce a Emilio Pérez Piñero
1960	107	71	623	70	98,60%	
1961	81	59	682	58	98,30%	Fallece Eladia Martín, esposa de F. Candela
1962	68	41	723	40	97,60%	Cambio salarios mínimos profesionales. Cristal Palace.
1963	64	32	755	32	100,00%	Asociación Cutting-Prager-Candela
1964	70	12	767	12	100,00%	Primera propuestas Universidad Brown
1965	83	36	803	36	100,00%	Boda F. Candela con Dorothy Candela. Expo univ Montreal
1966	66	17	820	17	100,00%	Palacio de los Deportes olimpiadas Méjico El escándalo de la ópera d Sidney
1967	48	26	846	26	100,00%	F. Candela abandona la empresa. Ciudad deportiva Kuwait.
1968	40	16	862	16	100,00%	Propuesta Universidad Brown. Plaza de toros Orizaba
1969	28	12	874	12	100,00%	Traslado de F. Candela a Estados Unidos.
1970	11	6	880	6	100,00%	Velódromo Anoeta. Fallece E Pérez Piñero. Disolución asociación CPC
1971	11	8	888	8	100,00%	Fin de esta etapa
1972	6	2	890	2	100,00%	
1973	7	3	893	3	100,00%	
1974	3	2	895	2	100,00%	
1975	1	1	896	1	100,00%	
1976	1	0	896	0	0,00%	
	1439	896	896	839	93,60%	

Fuente de las obras y encargos a Cubiertas Ala: cronografía de Félix Candela, por Miguel Seguí; las estructuras arquitectónicas de Félix Candela, una revisión actual, por Luis Basterra Otero (Germenos Salum); catálogo de la exposición Félix Candela 1910-2010, por Juan Ignacio del Cueto; Revista Nacional de Arquitectura, varios. Consultar bibliografía para más detalles.

No es coincidencia que tras 1964 Cubiertas Ala se dedique exclusivamente a la realización de arquitectura industrial mediante la estructura de paraguas invertidos (la más económica realizada por la empresa), abandonando las demás variaciones sobre la geometría del paraboloide hiperbólico que Candela había explorado años atrás. Este es un dato que podría extrañar a aquellos familiarizados con la obra de Candela, pues éste sigue construyendo iglesias, estaciones de metro o edificios como el ya mencionado Palacio de los Deportes para las Olimpiadas, entre 1964 y 1969. El dato no es erróneo, y la explicación es sencilla: Félix Candela se había convertido en uno de los arquitectos más famosos de México, y recibía encargos personales sin pasar por la empresa familiar Cubiertas Ala. Estos encargos conferían a Félix Candela una mayor autonomía con respecto a la empresa, abriéndole una nueva posibilidad como arquitecto independiente.

Está escrito que Félix Candela realizó más de 1400 proyectos, de los cuales construyó casi 900. Estas cantidades parecen tener su fuente en las números de la empresa Cubiertas Ala, que exactamente se fijan en 1439 y 896.

Sin embargo, parece necesario concretar esta información, ya que no es del todo correcta. 1439 es el número de encargos que recibió la empresa Cubiertas Ala, no el número de proyectos que se realizaron; muchos de los encargos fueron posteriormente cancelados sin ni siquiera llegar a concretarse un proyecto. La cifra de obras construidas se corresponde con las de la empresa Cubiertas Ala; Félix Candela abandonará dicha empresa siete años antes de su cierre, y realizará proyectos sin dicha empresa.

A su vez, es necesario aclarar que la mayor parte de los proyectos ejecutados por Cubiertas Ala (más del 90%), se realizaron siguiendo la forma estructural del paraguas invertido mediante paraboloides hiperbólicos sostenidos por un único soporte (la estructura de hormigón más barata de México hasta 1964) con la finalidad de uso industrial. Rara vez se utilizó otra geometría para la realización de proyectos industriales, ya que en estos primaba la necesidad de ofrecer una ventaja económica. Caso excepcional es la embotelladora Bacardí, realizada mediante bóvedas de arista, al tratarse de un adinerado propietario.

Estructura de paraguas invertido mediante paraboloides hiperbólicos. Sección y planta. Archivos de la Avery Architectural and Fine Arts Library

Construcción de un paraguas invertido. Los cuatro paraboloides convergen sobre un único soporte. Archivos de la Avery Architectural and Fine Arts Library

Compatibilizando el trabajo con sus hermanos en Cubiertas Ala y sus encargos personales, en 1965 se asocia con la firma Cutting-Prager-Candela, que influirá decisivamente en el posterior desarrollo de su obra (aspecto que trataremos más adelante). El declive desenfrenado de Cubiertas Ala y las nuevas oportunidades laborales que encontró desembocarán en su separación definitiva de la empresa en 1969. El propio Félix Candela comenta que abandonó la empresa para proteger a sus hijas de posibles endeudamientos de su hermano Antonio.

Si bien es cierto que su separación de Cubiertas Ala no es un factor decisivo para explicar los cambios en su trayectoria, esta ruptura se produce en los momentos de este cambio, y le permitirá desvincularse de México para poder establecer su residencia dos años más tarde en Estados Unidos.

5.1.3. Las estructuras laminares en su contexto internacional. Auge y declive.

Acabamos de ver como los cambios en los salarios mínimos producidos en México tras 1964 aceleraron el declive de las estructuras laminares de Félix Candela, y en general en todo este país.

Sin embargo, el declive de las estructuras laminares no es un caso particular de México, sino un hecho que se produce a nivel mundial. La década de los años 50 del siglo XX fue la de máximo esplendor para este tipo de estructuras, y se prolongó durante los primeros años de los 60.

Las obras más representativas realizadas bajo este sistema estructural se condensan entre estas dos décadas. En 1958 con motivo de la exposición de Bruselas, Le Corbusier realiza el pabellón Philips. En este mismo año Saarinen realiza la terminal TWA en Nueva York, y un año antes, en 1957 la ópera de Sydney de Utzon es anunciada como el diseño ganador que se iba a construir. Aparecieron a su vez sistemas mixtos que combinaban estructuras laminares con cables, como es el caso del mencionado pabellón Philips o los pabellones olímpicos que realizará Kenzo Tange para las Olimpiadas de Tokio.

Las estructuras laminares de hormigón estaban en pleno auge, y el pabellón Philips muestra que incluso Le Corbusier, uno de los máximos exponentes de la arquitectura funcionalista, estaba interesado en ellas. La complejidad volumétrica del Pabellón Philips que utilizaba la misma geometría de paraboloides hiperbólicos que Candela popularizó, nada tenía que ver con un juego de volúmenes sencillos bajo la luz.

Rafael García García, escribe acerca de las láminas plegadas de hormigón:

"... éstas se aprietan mayoritariamente entre comienzo de los años 50 y el final de los 60 del siglo XX. Singularmente puede certificarse su final con el Congreso de la Internacional Association for Shell Structures (IASS) celebrado en Viena en 1970. En él se presentaron las

Terminal TWA en Nueva York, Saarinen. 1957.

Pabellón Philips para la exposición internacional de Bruselas, Le Corbusier. 1958