

LA EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA EN LOS APORTES GEOMÉTRICO-ESTRUCTURALES DE FÉLIX CANDELA PARA CASAS-HABITACIÓN

Fecha de Recepción
19/04/23

Fecha de Aceptación
15/08/23



Rafael Gerardo Páez

Universidad Central de Venezuela
arkitectoniko@gmail.com
Venezuela

ORCID ID

Arquitecto, Especialista en Gerencia de Proyectos de Investigación y Desarrollo; Magister Scientiarum en Desarrollo Tecnológico de la Construcción, Doctor en arquitectura, Doctorando del programa en Gestión de Investigación y Desarrollo, Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, UCV. Premio Nacional de Investigación en Vivienda (Venezuela-2003). Profesor del Instituto de Ingeniería Agrícola, Facultad de Agronomía; allí es investigador responsable de la línea de investigación: Gestión del conocimiento para la innovación tecnológica en procesos edificatorios. Ejercicio particular (México y Venezuela) con diseño, cálculo y construcción de proyectos de edificación. Actualmente desarrolla, como innovación tecnológica, una máquina para prensar arcos con madera laminada encolada.

Resumen

El objetivo general de esta investigación es analizar, descriptivamente, los aportes geométricos en diseño y construcción de residencias unifamiliares solucionadas por el arquitecto Félix Candela. La metodología admitió estudiar distintas modelaciones; subdividiéndolas en dos diferentes niveles de evolución geométrica y estructural: un 1er nivel (1939-1949) emplea techos planos (inclinados y horizontales) iniciando con las casas de la colonia Santa Clara (Chihuahua-1939). El 2do nivel (1949-1968) comprende innovaciones en dos grupos; grupo uno, residencias con cascarones de simple curvatura: comienza con la «vivienda mínima con bóveda funicular» (1949, San Bartolo Naucalpan, Estado de México); su primer diseño de estructura laminar con arcos catenarios; luego la casa Romero y las casas 1-2 y 3 del diario Novedades. Posteriormente; el grupo dos, con estructuras alabeadas de doble curvatura, empleando la geometría de paraboloides hiperbólicos, se describen: la casa Almada, las casas 4-5 de Novedades; casa San Ángel, la colonia Cuauhtémoc (Monterrey-México), la casa Tlacopac, residencia particular de Candela (Ciudad de México) y la casa Rebaque. Los resultados permiten caracterizar y jerarquizar cronológicamente transformaciones de conceptos geométricos y estructurales materializados en distintas modalidades de casas-habitación unifamiliares. Como conclusión se determina una complicada línea de tiempo con diferentes grados de dominio geométrico-estructural en las viviendas unifamiliares de Candela, con cascarones de simple y doble curvatura, para distintas épocas cronológicas. Este artículo destaca la línea de Investigación: Procesos de Investigación, desarrollo e innovación para asimilación y dominio tecnológico; Postgrado de Gestión de Investigación y Desarrollo, Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, Universidad Central de Venezuela.

Palabras clave: Casas-habitación; Estructuras laminares; Félix Candela; Cascarones; Paraboloides hiperbólicos; Simple y doble curvatura.

THE CHRONOLOGICAL EVOLUTION OF FELIX CANDELA'S GEOMETRIC- STRUCTURAL CONTRIBUTIONS FOR SINGLE-FAMILY HOMES

L'ÉVOLUTION CHRONOLOGIQUE DES CONTRIBUTIONS GÉOMÉTRIQUES ET STRUCTURELLES DE FÉLIX CANDELA POUR LES MAISONS D'HABITATION

Abstract

This research aims to descriptively analyze the geometric contributions of architect Félix Candela's design and construction of single-family homes. The methodology proposed to study different models, subdividing them into two different levels of geometric and structural evolution: the 1st level (1939-1949) uses flat roofs (sloping and horizontal), beginning with the homes of the Santa Clara neighborhood (Chihuahua-1939). The 2nd level (1949-1968) includes innovations in two groups; group one, homes with simple curvature shells that begin with a «minimum house with a funicular vault» (1949, San Bartolo Naucalpan, State of Mexico); his first design for a laminar structure with catenary arches; then the Romero home and Diario Novedades's homes 1-2 and 3. Subsequently, group two is described, with warped structures of double curvature using the geometry of hyperbolic paraboloids: the Almada home, Novedades's homes 4-5; the San Ángel home, the Cuauhtémoc neighborhood (Monterrey-Mexico), the Tlacopac home,

Résumé

L'objectif général de cette investigation est d'analyser de manière descriptive, les contributions géométriques dans la conception et la construction de maisons unifamiliales résolues par l'architecte Félix Candela. La méthodologie a permis d'étudier différents modèles en les subdivisant en deux niveaux différents d'évolution géométrique et structurelle : un premier niveau (1939-1949) utilise des toits plats (inclinés et horizontaux) à partir des maisons de la colonie de Santa Clara (Chihuahua-1939), le deuxième niveau (1949-1968) comprend des innovations en deux groupes. Le premier groupe est celui des résidences avec de simples coquilles courbes : à commencer par la "vivienda mínima con bóveda funicular" (1949, San Bartolo Naucalpan, État de Mexico), son premier projet de structure laminaire avec des arcs caténaux; puis la maison Romero et les maisons 1-2 et 3 du journal Novedades. Ensuite, le deuxième groupe, avec des structures gauchies à double courbure, utilisant la géométrie des

Candela's private residence (Mexico City) and the Rebaque home. The results allow us to characterize and chronologically rank transformations of geometric and structural concepts materialized in different forms of single-family homes. In conclusion, a complicated timeline is determined with different geometric-structural domain degrees in Candela's single-family homes, with shells of simple and double curvature for different chronological periods. This article highlights the Research line: Research, development, and innovation processes for assimilation and technological mastery; Postgraduate in Research and Development Management, Faculty of Economic and Social Sciences, Universidad Central de Venezuela.

Key words: Homes; Laminar structures; Félix Candela; Hyperbolic paraboloids; simple and double curvature

paraboloïdes hyperboliques, décrit : la maison Almada, les maisons 4-5 de Novedades ; la maison San Ángel, la colonie Cuauhtémoc (Monterrey-Mexique), la maison Tlacopac, la résidence privée de Candela (Mexico City) et la maison Rebaque. Les résultats nous permettent de caractériser et de classer chronologiquement les transformations des concepts géométriques et structurels matérialisés dans différentes modalités de maisons unifamiliales. En conclusion, une chronologie complexe est déterminée avec différents degrés de dominance géométrique et structurelle dans les maisons unifamiliales Candela, avec des coques à simple et double courbure, pour différentes périodes chronologiques. Cet article met en évidence la ligne de recherche : Processus de recherche, de développement et d'innovation pour l'assimilation et la maîtrise de la technologie ; troisième cycle en gestion de la recherche et du développement, Faculté des sciences économiques et sociales, Universidad Central de Venezuela.

Mots-clés: Maisons d'habitation; Structures laminaires; Felix Candela; Coquilles; Paraboloïde hyperbolique; Courbure simple et double

Introducción

El presente estudio tiene como objetivo general analizar, de forma descriptiva, la evolución cronológica de algunos aportes geométricos y estructurales en diseño y construcción de residencias unifamiliares solucionadas por el arquitecto mexicano de origen español Félix Candela (Madrid, 27 de enero de 1910 - Durham, Carolina del Norte, 7 de diciembre de 1997).

Como enfoque original de esta investigación se elabora un estudio en una línea de tiempo determinada por la geometría como punto de partida en las innovaciones estructurales de Candela. Estas aplicaciones evolucionaron cada vez hacia un mayor grado de dificultad en los aspectos gráficos y matemáticos que las regían.

La metodología empleada permitió clasificar y jerarquizar cronológicamente las propuestas geométricas y estructurales de Candela organizadas en dos diferentes niveles de evolución:

Un 1er nivel (años 1939-1949), en el que Candela resolvió proyectos habitacionales ocupando solamente losas planas; principalmente inclinadas, con distintos tipos de pendiente y acabados. Este nivel dio inicio con la participación de Candela en el diseño y construcción de viviendas para los exiliados españoles en Chihuahua, México.

El 2do nivel se analiza como un período signado por las innovaciones constructivas en dos grupos geométricos:

- Grupo uno del 2do nivel: en el cual Candela empleó estructuras geométricas de curvatura simple; que comprende proyectos habitacionales con los siguientes modelos de cubiertas: bóvedas catenárias, bóvedas cilíndricas, losas sinusoidales, conoidales y losas prismáticas (plegadas rectas). Cronológicamente fue un lapso que inició en 1949 con la construcción de la «vivienda mínima de bóveda funicular» resuelta mediante una estructura laminar experimental de arcos catenarios en la localidad de San Bartolo Naucalpan, Estado de México.
- Grupo dos del 2do nivel: doble curvatura; corresponde a las casas unifamiliares donde

prevaleció la aplicación de estructuras alabeadas con la geometría de paraboloides hiperbólicos. Cronológicamente inició en 1951 cuando Candela resolvió la estructura y construcción de la techumbre para el garaje de la residencia de la familia del arquitecto Horacio Almada (Ciudad de México).

Entre los resultados se determina la importancia que revisten los proyectos de vivienda en los cuales Candela participó como diseñador, consultor, calculista, empresario-inversionista o constructor directo; fueron aplicaciones de superficies geométricas a las estructuras laminares; cada vez de mayor envergadura.

Algunos de los escritos previos de otros autores que se consideraron para el presente estudio son: el libro Estructuras de Candela (Faber, 1970); que es el primer registro cronológico de la obra construida por Félix Candela.

Juan Antonio Tonda (2000) escribió una semblanza de la vida profesional de Candela donde precisa el desinterés que manifestaba Candela por construir techos alabeados para residencias.

Ha sido considerado a su vez como un antecedente reciente de la investigación el contenido del artículo arbitrado publicado por Páez, en 2016, donde se analizan desde una visual geométrica y arquitectónica las viviendas construidas por Candela con paraboloides hiperbólicos en la década de 1950.

Como conclusión de esta investigación se torna difícil definir una línea de tiempo precisa, debido al empleo combinado y simultáneo de diferentes modalidades y niveles de comprensión geométrica y estructural, en distintas épocas cronológicas, dando esto mayor importancia a la obra arquitectónica de Félix Candela.

Los aportes de Candela en cuanto a la geometría de las estructuras no estriban primordialmente en soluciones habitacionales. Pese a que una significativa cantidad de

unidades, construidas bajo su patrocinio, fue en proyectos residenciales; es menester decir que no fueron éstas las aplicaciones que lo llevaron a cobrar relevancia en el ámbito de la arquitectura mundial.

Félix Candela, esbozo de sus años de formación académica

Félix Candela cursó estudios en la Escuela Superior de Arquitectura, en Madrid; allí demostró dominio del cálculo estructural y geometría descriptiva (Vicente, 2007: 250). Esto influyó en las destrezas que más tarde le permitirían desarrollar nuevas ideas en cuanto a la concepción espacial de los cascarones de concreto armado.

En 1936 Candela presentó en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, la tesis “La Influencia de las Nuevas Tendencias en las Técnicas de Concreto Armado sobre la Forma Arquitectónica” (Faber, 1970: 13) con la cual obtuvo una beca, seleccionando viajar a Alemania.

El estallido de la Guerra Civil española, acaecida entre los años 1936 a 1939, truncó el inicio de la beca y Candela se alistó del lado republicano alcanzando el grado de Capitán de ingenieros. Al finalizar este conflicto bélico fue recluido por cuatro meses en el campo de concentración francés para refugiados de Saint Cyprien.

Félix Candela: breve semblanza de sus primeros pasos como arquitecto en México

El viernes 13 de junio de 1939 arribó al puerto de Veracruz el buque Sinaia; había zarpado tres semanas antes (24 de mayo) desde el puerto francés de Sète con 1599 pasajeros y sus familiares en calidad de exiliados de la Guerra Civil española. Entre ellos llegaba Félix Candela quien fue acogido por México y de inmediato comenzó a ejercer la profesión de arquitecto.

Realizó su primer trabajo como Director de obras de la Colonia Agrícola Santa Clara en Chihuahua, que sería uno (el más importante) de los nuevos asentamientos agrarios que se crearía para los exiliados españoles.

Surgieron conflictos internos entre los exiliados españoles y el experimento social de la Colonia Santa Clara–Chihuahua, a lo sumo después de un año y medio de iniciado, alcanzó su fin.

Candela dio por terminada su participación en ese asentamiento dejando construidas las casas del poblado Ojos Azules (analizadas en el presente estudio) y haber realizado proyectos para una hospedería, una escuela, el palacio municipal y un hospital.

A partir de 1941 se establece en Acapulco y en sociedad con el contratista español González Brigas desarrolla, entre otros proyectos, diecisiete cabañas de hospedaje para el Hotel Papagayo en Cuernavaca (Vicente, 2007: 250).

El arquitecto español Jesús Martí había constituido, en 1940, la empresa Vías y Obras S.A. y en ella ejerció Félix Candela durante cinco años como arquitecto y calculista. En ese período desarrolla, entre otras obras, el proyecto de edificio de usos mixtos de Guamúchil-Sinaloa (1946); un proyecto que será analizado en esta investigación.

En 1946 Candela logró llevar a México a su hermana Julia (junto a su madre). Más tarde hizo lo mismo con su hermano Antonio, quien había ejercido en dirección de obras en Madrid (Blanco, 2016: 93). Los hermanos Candela iniciaron contratos de edificación entre los que destaca la construcción del hotel Catedral-1948, ubicado en la calle Donceles de México D.F. (aún en funcionamiento).

Candela conformó, en 1950, la constructora Cubiertas Ala S.A.; junto a sus hermanos Antonio (dirección de obras) y Julia (administradora); en sociedad con los hermanos (mexicanos) arquitectos Fernando y Raúl Fernández Rangel, quienes estarían a cargo de gestionar los proyectos (Blanco, 2016: 94). La sociedad con estos últimos duró sólo tres años; a su vez, Félix Candela se separó en 1969 y quedó al frente su hermano Antonio hasta 1976, año en el que la empresa cerró de manera definitiva.

En Cubiertas Ala se “elaboraron 1439 proyectos y de ellos se materializaron 896” (Tonda, 2000: 23) una importante cifra; si se considera que Candela, toda vez que cobró

fama internacional, logró expandir su sociedad con sucursales creadas en distintos países que realizaron bajo su égida contratos edificatorios de índole industrial, comercial, religiosos, deportivos y administrativos. No obstante, de esta cantidad de proyectos ejecutados los de arquitectura para viviendas unifamiliares representaron la menor cantidad.

En 1949 Félix Candela construyó la “vivienda mínima con bóveda Ala” (de arcos catenarios). Fue con una vivienda, precisamente, que inició la designación comercial de lo que más tarde se convertiría en su empresa particular. Con esa empresa familiar logró alcanzar las mayores contribuciones de geometría al campo de la construcción de estructuras laminares de concreto armado que se dio en el siglo pasado.

El aporte del presente estudio consiste en la determinación de los niveles de evolución de los conocimientos geométricos y estructurales en las soluciones habitacionales realizadas por Félix Candela.

Materiales y Métodos

La presente investigación fue de tipo documental, exploratoria-cualitativa con análisis comparativo de casos, para las distintas tipologías de cubiertas en edificaciones habitacionales planteadas por Félix Candela; que se estudiaron clasificándolas en niveles de evolución geométrica y estructural comprendidas en distintos períodos cronológicos.

La metodología permitió analizar, agrupar y describir las diferentes tipologías geométricas que Candela ocupó para proyectos residenciales (en algunos de los casos estudiados, con el uso simultáneo y combinado para más de un modelo) de acuerdo con los siguientes niveles de evolución:

- 1er nivel de evolución en el que se estudiaron propuestas de viviendas con losas planas inclinadas y horizontales. Un lapso de diez años que inició a partir de la llegada, en 1939, de Félix Candela a México.
- Fue analizado un 2do nivel, correspondiente al período cronológico, que inició en el año 1949, cuando Candela construyó la primera cubierta laminar para una vivienda

mínima (San Bartolo de Naucalpan, Estado de México). Este segundo nivel fue, a su vez, subdividido en dos grupos geométricos según el tipo de curvatura aplicada en los techos construidos:

- a. Grupo 1 corresponde al lapso marcado por diseños con cubiertas de simple curvatura que comprende aportes geométricos con el empleo de bóvedas de catenarias, techos sinusoidales, bóvedas prismáticas y bóvedas cilíndricas.
- b. Grupo 2, un período que abarcó los años 1951-68 en el que Félix Candela elevó los conceptos geométricos y estructurales a propuestas de cascarones de doble curvatura mediante la aplicación de estructuras de paraboloides hiperbólicos.

El estudio realizado contó con una revisión documental de la bibliografía, tesis doctorales, fotos, videos, ponencias y páginas webs existentes, estableciendo como punto de partida esencial los siguientes instrumentos:

El texto de Faber (1970), que es el registro publicado más completo que se haya realizado con escritos y descripción de planos, cálculos, fotografías de procesos constructivos y acabados de las obras construidas por Candela en el período de los años 1939-1963.

Otro escrito considerado fue el ensayo redactado por Tonda, en 2000, donde se manifiesta claramente el desinterés de Candela por construir techos alabeados para residencias, incluyendo la solución arquitectónica de su vivienda particular.

Páez, en 2016, publicó un artículo donde describe, comparativamente, las características geométricas, arquitectónicas, estructurales y constructivas de la obra de Candela con la del arquitecto argentino Eduardo Catalano respecto a viviendas en la década de los años 50 del siglo pasado. Este artículo constituye una primera aproximación a los análisis que describen los procesos de diseño y construcción de casas-habitación con cubiertas de paraboloides hiperbólicos.

Hubo limitaciones para recabar información documental y gráfica, al existir pocas

posibilidades de acceso a la información y material inédito de consulta contenida en los Archivos de Candela que se hallan en resguardo de instituciones académicas, gubernamentales y culturales de México y Estados Unidos.

Resultados y discusión

Los niveles en los que se clasifican los aportes geométricos y estructurales de Félix Candela en propuestas habitacionales son los siguientes:

1er nivel de evolución de las propuestas geométricas y estructurales de Candela: losas planas para proyectos arquitectónicos de casas-habitación

El 1er nivel inició el 4 de septiembre de 1939 fecha en la cual llegó a Chihuahua, procedente de Veracruz, un ferrocarril con el primer contingente de 350 españoles exiliados. Esta cifra fue ampliada posteriormente y “para 1940 comprendía ya a 789 individuos entre hombres, mujeres y niños” (Casa Chihuahua, 2014).

Desde el punto de vista de las aplicaciones geométricas y estructurales realizadas por Candela el 1er nivel de evolución fue un lapso signado por el empleo de losas planas (figura N° 1). Cronológicamente, abarca los años 1939-49; una década con desempeños profesionales en Chihuahua, Acapulco (Guerrero), Guamúchil (Sinaloa) y ciudad de México¹.

1 Félix Candela no limitó las aplicaciones constructivas con losas planas horizontales para viviendas solo para este periodo cronológico. Más tarde, las emplearía también en la Casa Romero (1951) y luego en su propia residencia familiar de Tlacopac (1957).



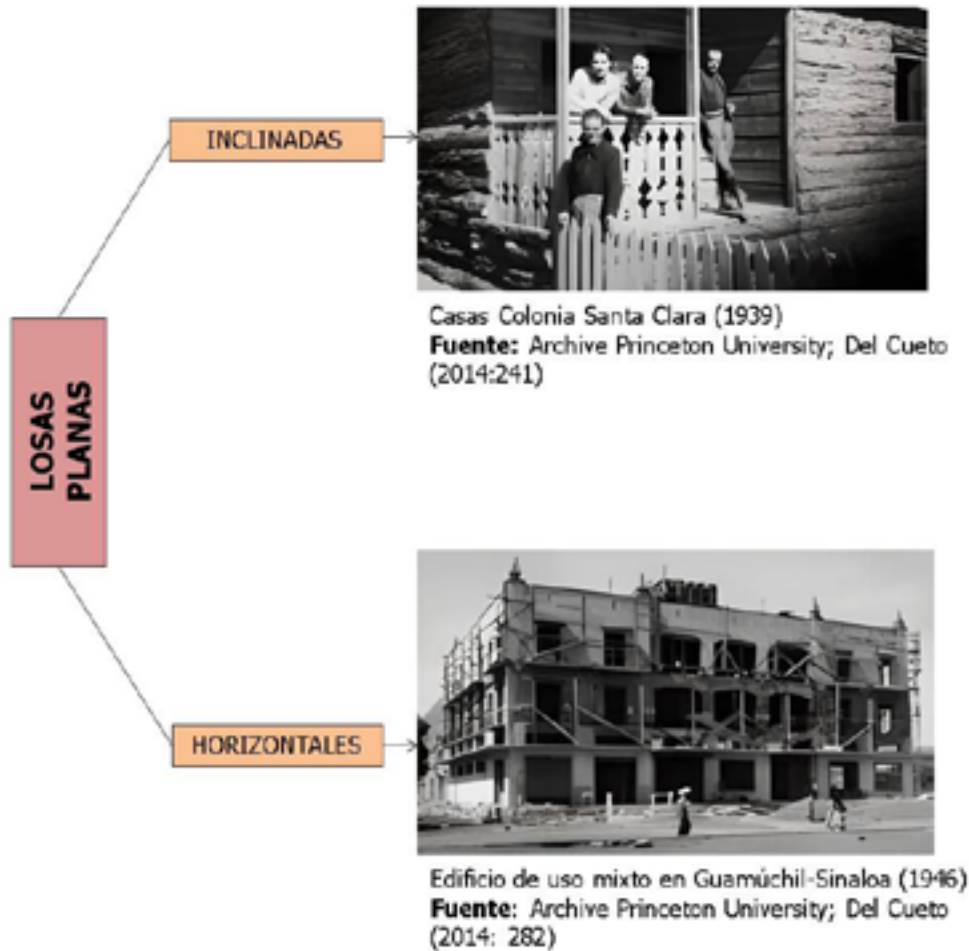


Figura N° 1: 1er nivel de evolución en las propuestas geométrico-estructurales de Félix Candela para solucionar viviendas unifamiliares con losas planas. Período cronológico: 1939-1949

Fuente: Elaboración propia (2023), de acuerdo a referencias indicadas.

1er nivel de evolución Losas planas (inclinadas): Casas en el poblado de “Ojos Azules”, (1939)

Jesús Martí (arquitecto del exilio español) pertenecía a la directiva del Comité Técnico de Ayuda a los españoles en México (CTAEM); “Fue director general del proyecto de la Colonia Agrícola Santa Clara” (Del Cueto, 2014: 221).

Martí solicitó a Candela su participación para adecuar un pueblo para los exiliados

españoles, al que llamaron “Ojos Azules” en la colonia Agrícola Santa Clara; municipalidad de Namiquipa, Chihuahua. Para ello “el Comité Técnico de Ayuda a los Republicanos Españoles (CTARE) compró al Sr. David S. Russek los terrenos de la hacienda Santa Clara” (Casa Chihuahua, 2014).

Candela intervino con el diseño y construcción de las viviendas unifamiliares (figuras 2 y 3), que él describió así:

“Las casas son de madera en manzanas de cinco viviendas, en las que hay alojadas unas cincuenta familias, más unos cien obreros sin ellas. Nos hemos decidido por la construcción en madera por la urgencia con que era necesario resolver el problema de alojamiento [...]” (Carta de Candela a Miguel Bertrán de Quintana, 19 de marzo de 1940)a.



Figura 2. Perspectiva de Félix Candela de las Casas para exiliados españoles en el poblado Ojos Azules-Chihuahua (1939).

Fuente: Archive Princeton University; Blanco, (2016: 90)



Figura 3. Planta de la Casa para exiliados españoles en el poblado Ojos Azules-Chihuahua (1939).

Fuente: Elaboración propia con base en Archive Princeton University; Blanco, (2016: 90)

1er nivel de evolución Losas planas (horizontales): Edificio de Guamúchil-Sinaloa (1946)

Una edificación de uso mixto (figura 4) en la cual se combinaban un conjunto de distintas funciones. Fue descrita así por Candela: “[...] tengo una obra en el estado de Sinaloa [en la ciudad de Guamúchil], bastante importante porque se trata de un cine, hotel y casa de apartamentos con un presupuesto de más de un millón de pesos” (carta a Fernando Savater mencionada por Del Cueto, 2014: 282)b.

Aunque este no fue un proyecto, exclusivamente, de vivienda unifamiliar es importante mencionar que hubo una acertada adopción del sistema de marcos (trabes-columnas) en combinación con una estructura portante de muros de cargas.

Candela resolvió también los cálculos, pero construyó a distancia, por medio de correspondencia, colocando un residente de obras (también del exilio español) lo cual le permitía extender las visitas por espacios de seis meses (Del Cueto, 2014: 282).



Figura 4. Edificio de uso mixto en Guamúchil-Sinaloa (1946).

Fuente: Archive Princeton University; Del Cueto (2014: 282)

Félix Candela no limitó las aplicaciones constructivas con losas planas horizontales para viviendas solo para este período. Más tarde, las emplearía también en la Casa Romero (1951) y luego en su propia residencia familiar de Tlacopac (1957).

2do nivel de evolución

El 2do nivel de evolución es un período que inició en el año 1949 y finalizó en la década de los años 60. Considerándose que, en 1968, Candela ejecutó su última gran cubierta en México para el Palacio de los Deportes. Fueron años en los que Félix Candela generó una arquitectura en torno a distintas entidades geométricas divididas en dos agrupaciones: el 1er grupo reúne los aportes geométricos e innovaciones tecnológicas emprendidas en torno a estructuras laminares de concreto armado con simple curvatura y un 2do grupo conformado por las aplicaciones estructurales de doble curvatura; donde prevaleció la geometría de los techos alabeados de paraboloides hiperbólicos.

2do nivel de evolución. 1er Grupo: Estructuras geométricas de simple curvatura

Las curvas planas fueron empleadas por Candela para solucionar espacios comerciales, industriales y viviendas con bóvedas de simple curvatura (figura 5). Este 1er grupo,

correspondiente al 2do nivel de la evolución de conceptos geométricos revela un grado de comprensión que no determinó definitivamente su obra construida.

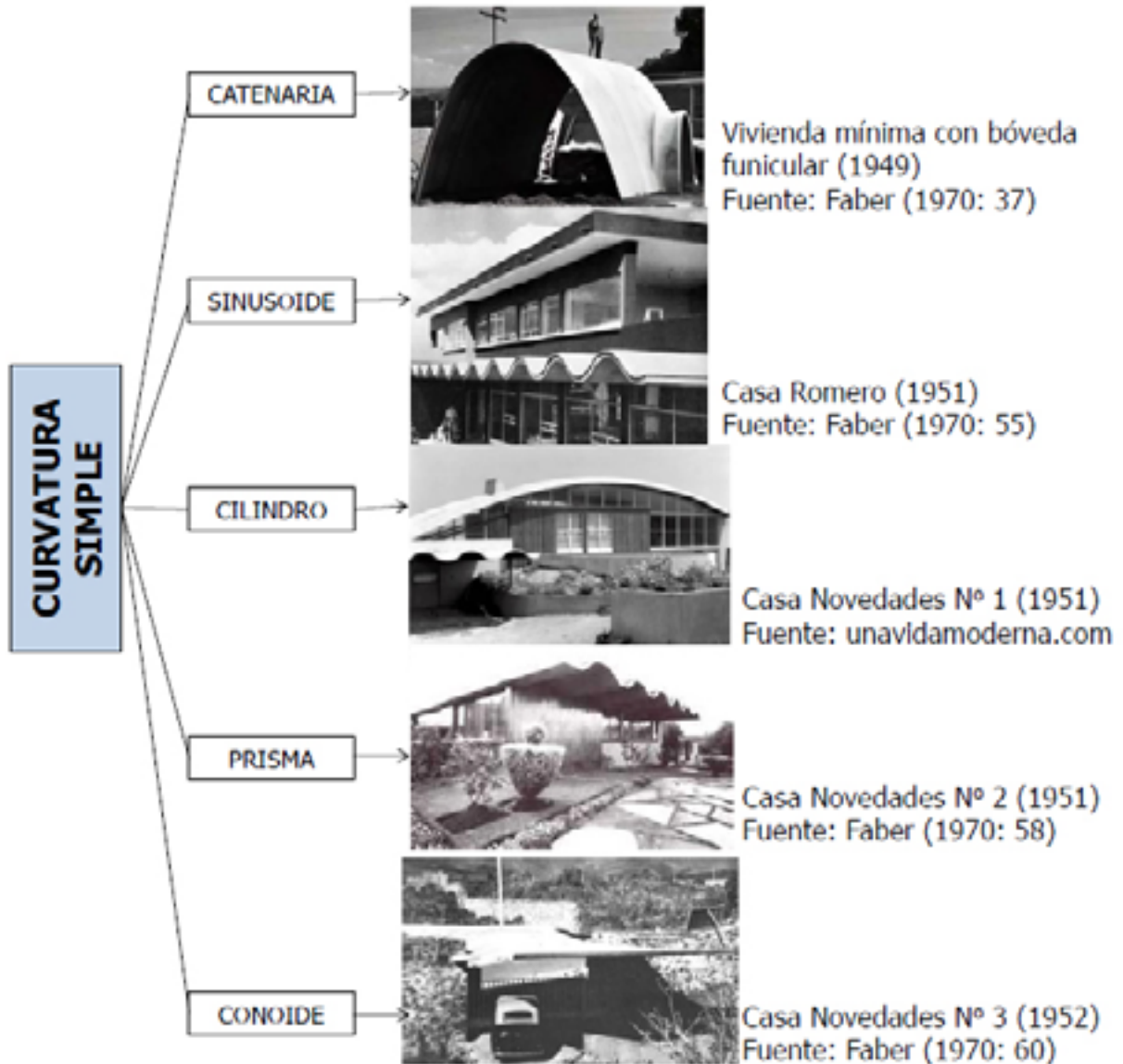


Figura N° 5: 1er grupo-2do nivel de evolución en las propuestas geométrico-estructurales de Félix Candela con losas de simple curvatura para viviendas unifamiliares. Período 1949-1951

Fuente: Elaboración propia (2023), de acuerdo a referencias indicadas.

2do nivel de evolución: 1er Grupo: Estructuras geométricas de simple curvatura **Bóveda Catenárica: Vivienda mínima de San Bartolo Naucalpan (1949)**

El primer antecedente de un cascarón experimental de simple curvatura construido por Candela (figura 6) se registra en 1949, para una vivienda mínima con «Bóveda funicular» en San Bartolo Naucalpan, Estado de México.

La morfología de esta bóveda construida por Candela es la de una catenaria, que es concebida geoméricamente como la curva que describe una cadena sujeta por ambos extremos y colgando libremente.

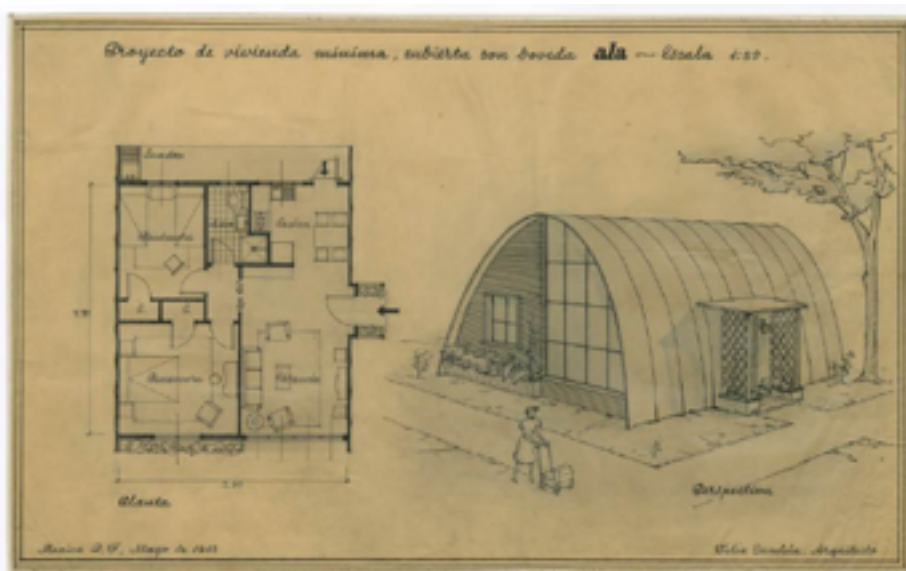


Figura 6. Primera vivienda diseñada por Félix Candela con estructura laminar

Fuente: Con licencia del Archivo de Arquitectos Mexicanos de la UNAM

Para formar el “arco catenario” se configura en posición invertida. Esto otorga a la estructura un incremento en las propiedades físico-mecánicas, bajo condiciones de equilibrio estable.

Candela, citado por Faber, expresó que la vivienda fue erigida con una estructura laminar de arcos catenarios, similar a las que calculó y construyó Kurt Billig en Europa (figura 7) basadas a su vez en la solución estructural de la bóveda Ctesiphon, un monumento arqueológico, aún en pie, de Taq Kasra cerca de Bagdad, Irak; siglo III d.C (Faber, 1970: 37).



Figura 7. Bóveda de arcos catenarios con tela de yute y concreto diseñada por Kurt Billig

Fuente: Billig (1948: 548)

El sistema constructivo, replicado por Candela, fue ideado por Billig al estirar “[...] una cubierta de tela de yute sobre el esqueleto de acero y se fija a él para formar una piel ajustada a la forma exacta del almacén diseñado” (Billig, 1948: 546). Seguidamente, según lo explicado por Billig; tras humedecer la tela se colocaban, una a una, finas capas de mortero (cemento-arena) hasta alcanzar el grosor y la rigidez esperada en la membrana.

2do nivel de evolución: 1er Grupo: Estructuras geométricas de simple curvatura. Losas planas y sinusoidales: Casa Romero (1951)

La losa sinusoidal es un término geométrico, empleado acertadamente por Candela, para describir el tipo de techo que presenta semejanza gráfica con la senoide que geoméricamente es la gráfica de la función seno y coseno.

En 1951 Candela dio forma a algunas ideas geométricas que se cristalizaron en la edificación de losas sinusoidales.

La Casa Romero estuvo ubicada en la calle de la Lluvia No 212, Jardines del Pedregal, México, D.F.

La mayor cantidad de área de esta vivienda fue resuelta con losa plana. Sin embargo, el

arquitecto Raúl Fernández, como diseñador, aceptó la propuesta de una losa sinusoidal para cubrir una porción de la planta baja de la vivienda (figura 8).



Figura 8. Fachada de la casa Romero, losas plana y sinusoidal

Fuente: Faber (1970: 55)

La losa sinusoidal sería replicada posteriormente en una de las alas de la casa de Novedades No 1, lo cual podría significar que esa modalidad geométrica marcó los inicios de techos para viviendas solicitados a Candela en la década de 1950.

En la década de los años 50 del siglo pasado el periódico Novedades (Ciudad de México) realizó cinco sorteos semestrales de viviendas entre los suscriptores. Estas residencias ubicadas en la urbanización Jardines del Pedregal, México, D.F. fueron encomendadas a la empresa Cubiertas Ala. Las tres primeras de ellas fueron resueltas con cascarones de simple curvatura.

2do nivel de evolución: 1er Grupo: Estructuras geométricas de simple curvatura. Bóveda cilíndrica asimétrica y losa sinusoidal: Casa de Novedades No 1 (1951)

Estuvo ubicada en la calle del Risco, Jardines del Pedregal, México–D.F. fue resuelta con una bóveda cilíndrica asimétrica que salvaba 20 m de luz (figura 9). Fue diseñada por el arquitecto Raúl Fernández y Candela intervino como calculista-constructor.

Además de la solución geométrica del cilindro, se dispuso como acceso peatonal una

cubierta sinusoidal en voladizo (figura 9); una propuesta que venía planteando Candela con antelación para otras edificaciones y que se perfilaba, junto a las losas plegadas, como la estructura formal para sus edificaciones.

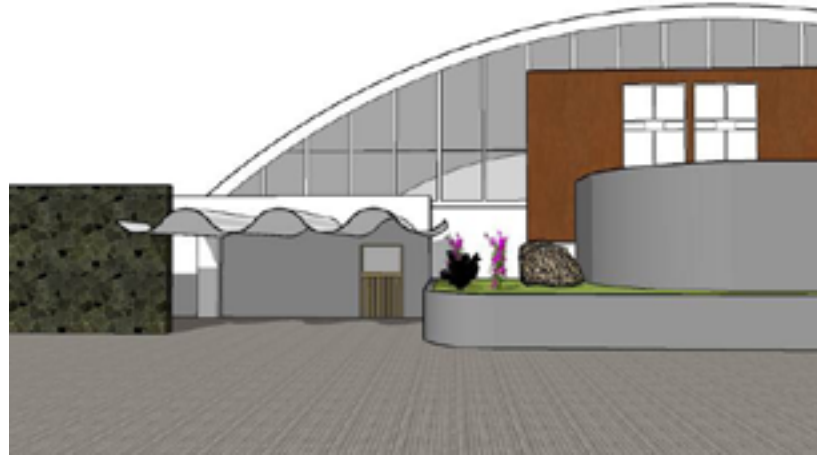


Figura 9. Acceso principal, Casa de Novedades No 1. Bóveda cilíndrica y losa sinusoidal

Fuente: Colaboración del Arq. Víctor Ayala con base en pinterest.com

El techo curvo de la casa de Novedades No 1 (hoy demolida) debió reforzarse con un tirante de 5 barras de 7/8 pulgadas (figura 10) que en la estancia era horizontal; pero debió inclinarse hacia la columna de la fachada para no estorbar en una habitación, exigiendo ubicar una columna adicional en el proyecto para tal fin (Faber, 1970: 59).

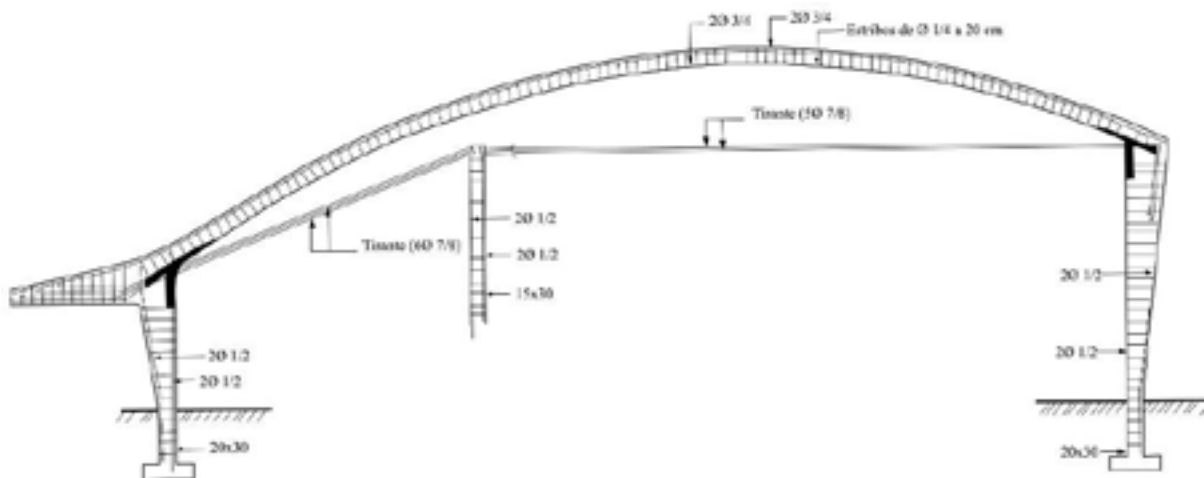


Figura 10. Corte estructural de la casa de Novedades No 1

Fuente: Elaboración propia con base en Faber (1977: 58)

2do nivel de evolución: Grupo 1: Estructuras geométricas de simple curvatura Losa plana y cilíndrica: Casa de Novedades No 2 (1951)

Quedó ubicada en la calle del Risco, Jardines del Pedregal, México–D.F. Fue un diseño de los arquitectos Raúl Fernández y Félix Candela quienes emplearon la combinación de losas planas y, por vez primera, una losa horizontal plegada (que generaba un cilindro) como solución estructural (figuras 11-12).

Candela señaló que la sencillez lograda en esta casa No 2 era consecuencia de las pérdidas financieras producidas en la casa anterior (Faber, 1970: 59).

La Casa de Novedades No 2 contaba con una cubierta a la que Candela llamó “losa prismática” (figura 11). Fue una de las tipologías que ocupó como sello de su quehacer arquitectónico en el diseño de aulas para escuelas públicas y edificios comerciales.

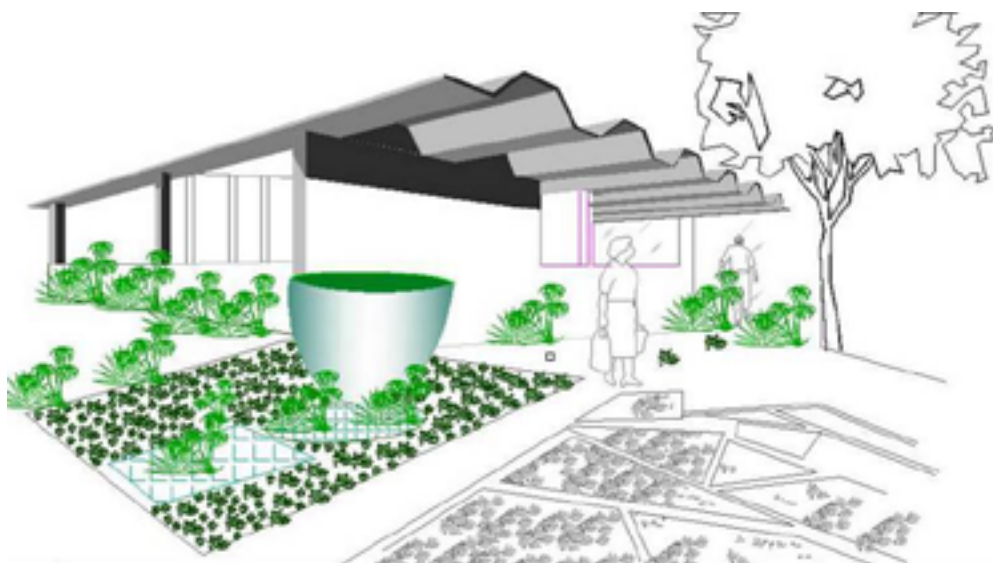


Figura 11. Cubierta prismática vista desde la fachada posterior de la Casa de Novedades No 2

Fuente: Elaboración propia con base en Faber (1970: 58)

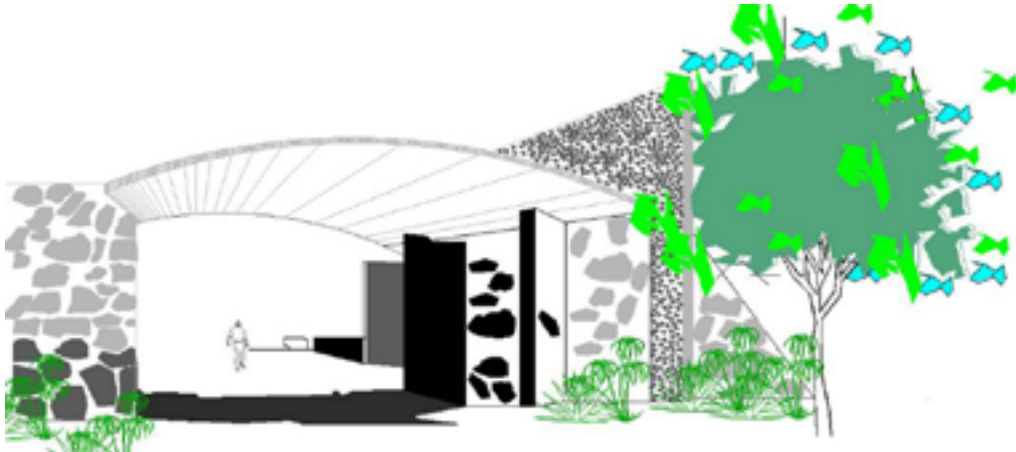


Figura 12. Cascarón cilíndrico. Entrada principal de la casa de Novedades No 2, México, D.F.

Fuente: Elaboración propia con base en Faber (1970: 58)

2do nivel de evolución: Grupo 1: Estructuras geométricas de simple curvatura. Conoide y losa prismática: Casa de Novedades No 3 (1952)

Nuevamente en sociedad con el arquitecto Raúl Fernández, Candela diseñó esta vivienda unifamiliar. Estuvo ubicada en la calle del Risco, Jardines del Pedregal, México–D.F.

Para el acceso de la casa (figura 13) diseñó “un hermoso y poco común cascarón alabeado. Dispuesto como un doble voladizo conoidal liso, se proyecta 6 m a cada lado de los muros de piedra, que lo soportan en los extremos de su directriz curva.” (Faber, 1970: 60).



Figura 13. Cascarón conoidal con doble voladizo. Acceso de la casa Novedades No 3

Fuente: Faber (1970: 60)

Esta vivienda presentó dificultades constructivas. El desencofrado, al tercer día de vaciar el concreto, conllevó a maniobras imprevistas; surgieron en la losa grietas que hubiesen conllevado a la demolición del techo en su totalidad. En este caso no fue así. Con la instalación de gatos automotrices lograron llevarla a su posición original, aplicándole morteros en las fisuras que, al fraguar, lograron la estabilidad de la estructura sin fallas aparentes (Faber, 1970: 60).

La Casa de Novedades No 3 había alcanzado el resultado esperado sin que se ocasionaran pérdidas financieras importantes, al menos Candela no lo mencionó como tal. Lo que si se observó fue: la relación arquitecto-constructor con su maestro de obras que en conjunto lograban dar respuestas rápidas y precisas a los imprevistos.

La techumbre de doble curvatura del acceso de la casa de Novedades No 3 (figura 14) cubría un espacio rectangular de 6x12 metros (72 m²) con un espesor máximo de 12 cm que se reducía hasta alcanzar los 3 cm y disponía de volados de 4.80 metros.

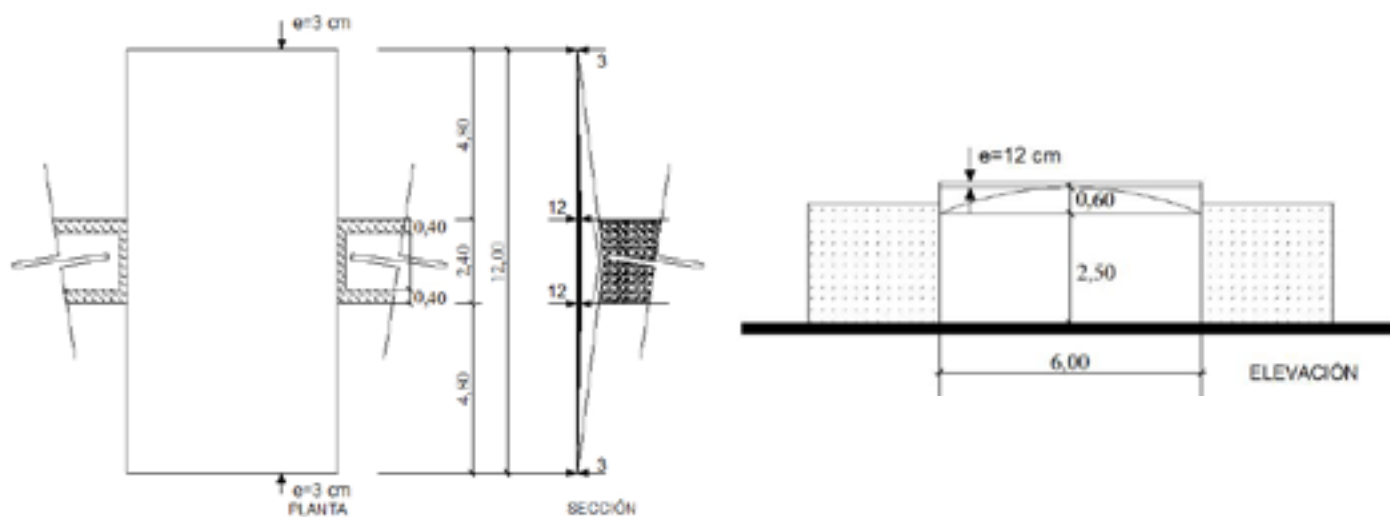


Figura 14. Cascarón conoidal con doble voladizo. Acceso de la casa Novedades No 3

Fuente: Elaboración propia con base en Faber (1970: 61)

2do nivel de evolución. Grupo 2: Estructuras de doble curvatura: Aplicación de los paraboloides hiperbólicos para residencias construidas por Candela

Candela diseñó, calculó y construyó edificaciones con estructuras de paraboloides hiperbólicos; una superficie geométrica doblemente reglada que tuvo sus orígenes matemáticos en la antigua Grecia y está incluida en el conjunto de las cuádricas. Algebraicamente se obtienen mediante un polinomio que está elevado al cuadrado (segunda potencia) y gráficamente basan su representación tridimensional en un sistema de coordenadas x,y,z (hiperespacio).

Félix Candela, en su práctica profesional, mostró niveles de dominio teóricos y prácticos de conocimientos matemáticos que cristalizaron más allá de lo meramente estructural y constructivo. Alcanzó propuestas que enriquecieron la geometría diferencial y la teoría membranal en el campo del estudio de las estructuras laminares. Esta tipología refiere a aquellas que poseen un espesor tan bajo que podría ser despreciable al compararlo con el largo y ancho del componente). Por ejemplo, él fue el primero en lograr la materialización constructiva de los paraboloides hiperbólicos con el eje z inclinado; para lo cual Candela en sus inicios aseveró que “Nunca ha sido publicado el análisis de este caso general en forma trabajable” (mencionado por Faber, 1970: 28).

Las modalidades geométricas que empleó Candela para las casas-habitación con sistemas estructurales de doble curvatura que han sido analizadas en el presente estudio fueron las siguientes:

- **Sistema geométrico con generatrices y directrices curvas:** gráficamente es representado como una superficie de traslación de un sistema de parábolas “que se mueve paralelamente a si misma a lo largo de una parábola principal invertida” (Candela mencionado por Faber, 1970: 28).
- **Paraguas (normales e invertidos):** constituyen un sistema geométrico espacial doblemente reglado (de generatrices y directrices rectas), que comprende las tipologías que conforman cuatro mantos de paraboloides hiperbólicos; con ecuación paramétrica

$z=xy$. Estos se unen entre sí por medio de las directrices comunes y en el vértice central poseen una sola columna que les da apoyo al piso.

- **Bordes libres curvos:** son estructuras geométricas que denotan un alto grado de dificultad donde priva la imaginación del diseñador para la obtención de la forma final. Candela expresó que “La significación real de las condiciones de borde, nunca explicada claramente en la mayoría de los textos fue finalmente clara para mí” (mencionado por Faber, 1970: 198).

Intersecar dos o más paraboloides hiperbólicos, doblemente reglados de un solo manto ($z=xy$); con planos inclinados permite obtener bordes curvos en secciones de parábolas. Si la configuración fuese simétrica la determinación de esfuerzos podría simplificarse; pero se torna difícil cuando la asimetría geométrica de las cúpulas conlleva a desigualar las cargas. Esto aumenta cuando se dejan dichos bordes sin arcos de rigidez. Algo que Candela alcanzó a solucionar con éxito para edificios públicos y solamente aplicó en el caso de una residencia, tal como fue en 1962 para la vivienda particular del arquitecto Alonso Rebaque.

Las tipologías geométricas y estructurales de paraboloides hiperbólicos empleados por Félix Candela como cubiertas para proyectos residenciales (Figura N° 15) analizadas en esta investigación son las siguientes:

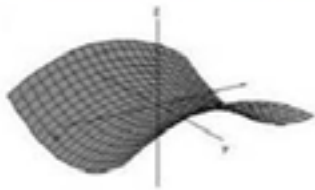
Generatrices y directrices curvas: Casa Almada		
		
Doblemente regladas		
		
Paraguas normales: Casas Japonesas	Paraguas invertidos: Casa San Ángel – Casa Tlacopac	
Casas de Novedades N° 4 y N° 5		Bordes libres curvos Casa Rebaque

Figura 15. Clasificación del caso de estudio N° 3. Tipología geométrico-estructural de los paraboloides hiperbólicos y viviendas analizadas

Grupo 2 del 2do nivel de evolución en las propuestas geométrico-estructurales de Félix Candela con doble curvatura para solucionar viviendas (1959-1968)

Desde el punto de vista de las aplicaciones geométricas y estructurales realizadas por Candela este Grupo 2 del 2do nivel de evolución es un lapso signado por el empleo de cubiertas de doble curvatura con soluciones geométricas que significaron la cúspide de proyectos con aplicaciones geométrico-estructurales de paraboloides hiperbólicos (ver figura 16). Cronológicamente dio inicio en el año 1951 con la construcción de la cubierta para el garaje de la residencia del arquitecto mexicano Horacio Almada.

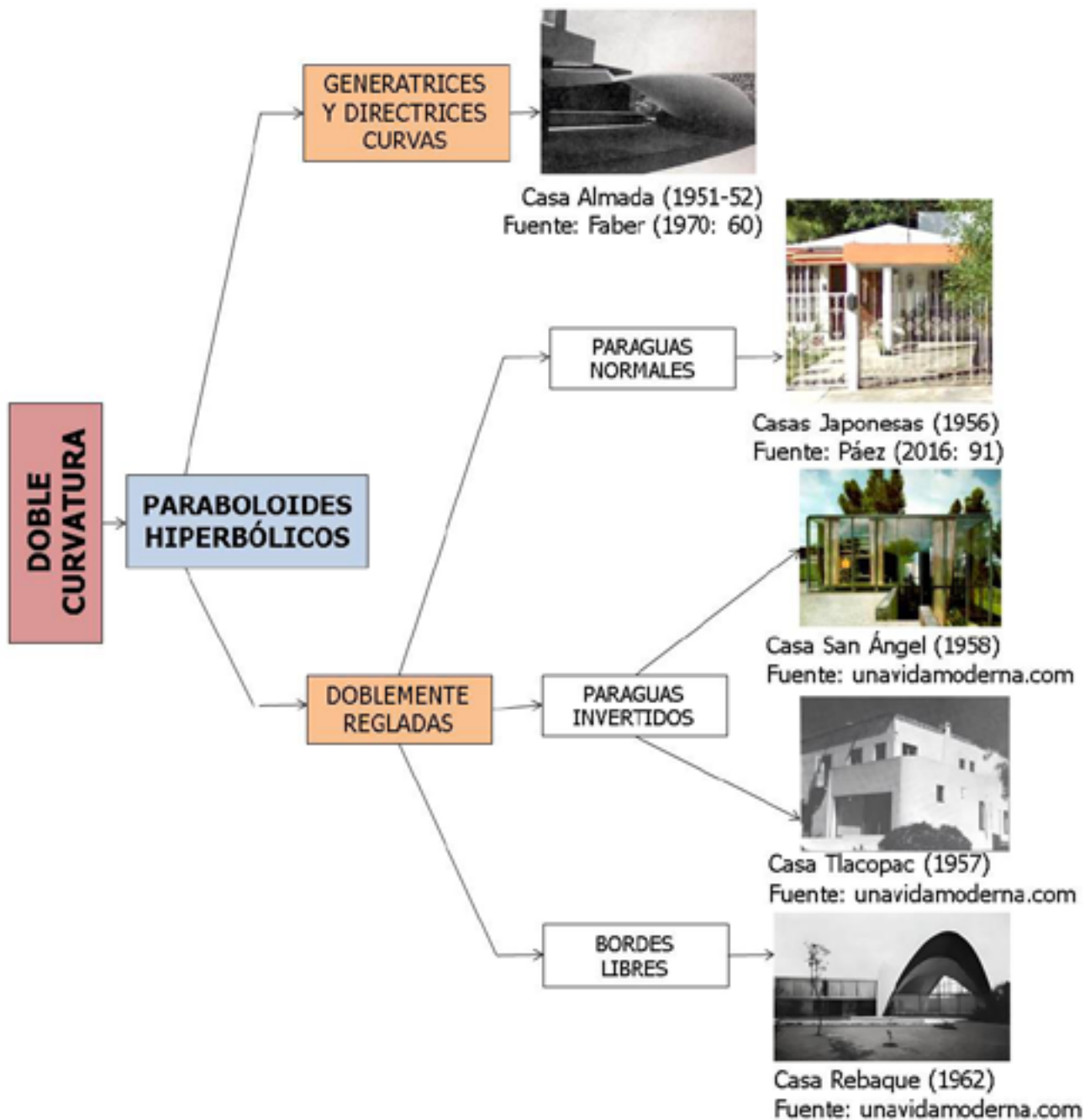


Figura 16. 2do nivel de evolución en las propuestas geométrico-estructurales de Félix Candela con doble curvatura para solucionar viviendas (1959-1968)

Fuente: Elaboración propia (2023). Referencias indicadas.

2do nivel de evolución. Grupo 2: Estructuras de doble curvatura La casa Almada: Primera vivienda unifamiliar con paraboloides hiperbólicos construida por Candela

Faber, en 1970, determinó que la segunda vez que Candela ocupó un paraboloides hiperbólicos para un diseño arquitectónico, después del Pabellón de Rayos Cósmicos, fue en la cubierta del garaje para la casa Almada (1951-52); residencia del arquitecto Horacio Almada (figura 17) en la urbanización Jardines del Pedregal, ciudad de México (Pp. 82).

Los detalles estructurales para resolver el equilibrio estable de la cubierta no fueron nada sencillos. El modelo estructural empleado en esta cubierta de paraboloides hiperbólicos, con el eje z en posición vertical, aportaba dos innovaciones:

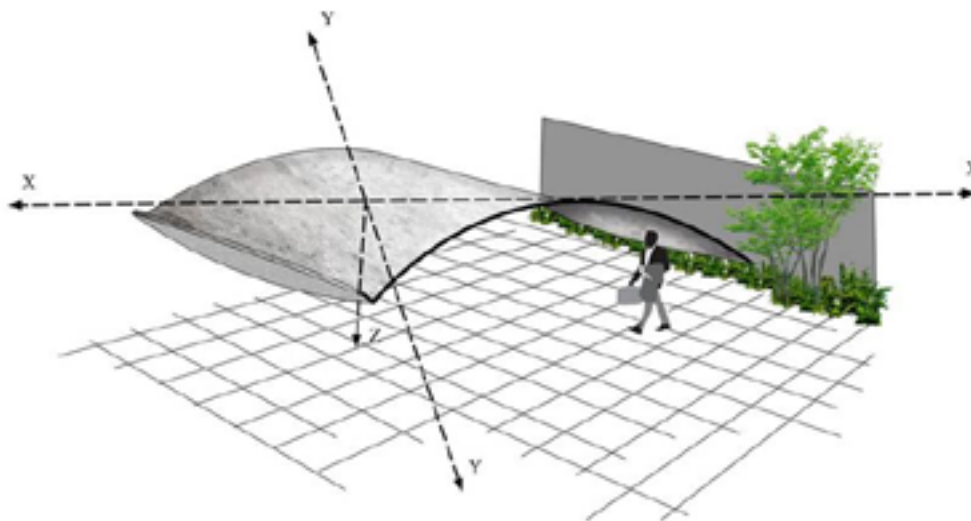


Figura 17. Cubierta de paraboloides hiperbólicos del garaje de la casa Almada

Fuente: Colaboración del Arq. Víctor Ayala con base en Faber (1970: 80)

Geométricamente la curva directriz de la cubierta desarrollaba una parábola que permitió disponer de un solo apoyo al piso en uno de los extremos y el otro extremo apoyado sobre un muro de concreto armado con “una viga de borde plana que trabaja como un doble voladizo” (Candela, mencionado por Faber, 1970: 82).

El otro aporte estructural consistió en que toda vez que se prescindió de los arcos de rigidez (que fueron empleados por vez primera en la cubierta del Pabellón de Rayos Cósmicos)

se buscó que la curva cóncava hacia arriba de la sección transversal generase “un considerable momento de inercia en ésta, capacitando al cascarón mismo para resistir cualquier momento de flexión resultante de la excentricidad de la línea de presiones con respecto a la directriz parabólica para cargas accidentales” (Candela, mencionado por Faber, 1970: 82).

2do nivel de evolución. Grupo 2: Estructuras de doble curvatura

Paraguas de paraboloides hiperbólicos: Casas de Novedades No.4 y No 5

Para las casas de Novedades No 4 y No 5 resolvió las estructuras con paraboloides hiperbólicos. Candela, mencionado por Faber describe lo siguiente:

La estancia de la casa No 4 fue techada con un paraguas asimétrico cuyo brazo más corto fue sujetado a una pared. La casa No 5 quedó bajo un paraguas cuadrado de 7.5 m de lado, que tenía una segura flecha de 1.10 m. (Faber, 1970: 84).

De estos proyectos para las casas de Novedades No 4 y No 5 hasta donde se ha investigado no se conocen publicadas fotos, planos, datos de construcción, ni cálculos estructurales.

Los diseños de Candela para viviendas unifamiliares –una vez terminadas las casas para los sorteos del periódico Novedades– se notaba que carecían del éxito con el cual se encaminaban sus propuestas de cubiertas alabeadas hacia otro tipo de edificaciones; a la par de que iba alcanzando un mayor dominio geométrico-estructural, que se traducía en innovaciones tecnológicas cada vez de mayor calidad.

2do nivel de evolución Grupo 2: Estructuras de doble curvatura

Paraguas normales de paraboloides hiperbólicos: Las “casas japonesas” (1956)

Las llamadas “casas japonesas” (figura 18), ubicadas en la colonia Cuauhtémoc, del municipio de San Nicolás de los Garzas, Monterrey; estado de Nuevo León-México fueron desarrolladas en 1956. Constituyen un antecedente de construcciones de casas económicas para trabajadores techadas aprovechando la geometría de los paraboloides hiperbólicos como superficies doblemente regladas (Páez, 2016: 88).



Los hermanos Fernando (1908-1991) y Javier García Sánchez Narro (1907-2017), arquitecto e ingeniero civil, respectivamente, formaron en la ciudad de Monterrey la empresa Cubiertas Ala del Norte; una de las filiales constituidas por Candela en México para difundir su obra y captar nuevos proyectos. A ellos les correspondió edificar 600 unidades del total de viviendas proyectadas en la colonia Cuauhtémoc.

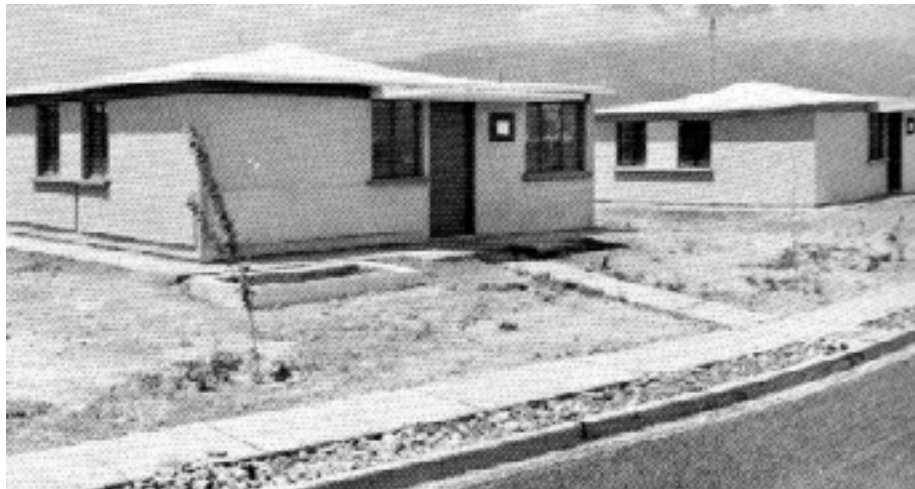


Figura 18. Vista parcial del conjunto de las casas de la colonia Cuauhtémoc

Fuente: Faber (1970: 146)

Páez (2016) menciona que Faber (1970) describió, de un modo inconsistente, dos aspectos relacionados con estas viviendas (Pg. 89)

- Uno se relaciona con la cantidad de casas construidas al determinar que el número de viviendas alcanzaba “más de cien unidades erigidas” (Faber, 1970: 147). La realidad es que este urbanismo inició con 334 casas unifamiliares, de interés social de un total de 1200 predios proyectados originalmente y alcanzó un total de 1318 viviendas en lotes de 345 m² (Arámbula, 2012).
- Otra imprecisión es cuando Faber (1970) describe los techos como “paraguas invertidos”; siendo que en realidad eran una tipología geométrica con un sistema espacial en forma de paraguas normal, fabricados en concreto armado de 4 cm de

espesor.

Según Cavazos (2021) “las dimensiones de la cubierta era de 8,80 x 8,50 metros” soportada en una sola columna central de sección rectangular de 40 x 50 cm apoyada en una zapata aislada (Pg. 49).

Candela proponía para las estructuras de paraguas una zapata en forma de paraboloides hiperbólico (Tonda, 2000: 13); que era vaciada sin encofrados, conformando con tierra la geometría alabeada del mismo paraboloides hiperbólico empleado como techo. Según Cavazos (2021) la zapata tenía 1.80 m de profundidad (Pg. 49)

Las techumbres de paraboloides hiperbólicos llevaban embutida en concreto armado las vigas de cerramiento que encajaban con exactitud en el trazo de las paredes divisorias de la vivienda.

Experimentalmente algunas de las casas de la colonia Cuauhtémoc, fueron encofradas, armadas y vaciadas en concreto al ras del piso y al fraguar eran elevadas con gatos automotrices para apuntalar y finalmente sellar el punto donde se ubicaba la columna que le servía de apoyo (Arámbula, 2012).

2do nivel de evolución. Grupo 2: Estructuras de doble curvatura. Losa plana y paraboloides hiperbólicos en forma de paraguas invertidos: Casa Tlacopac (1957)

Como reminiscencia a la arquitectura mediterránea Candela diseñó y construyó su residencia familiar (figura 19) que estuvo ubicada en la calle Benito Juárez No 14, Tlacopac, en Álvaro Obregón al suroeste de la Ciudad de México.

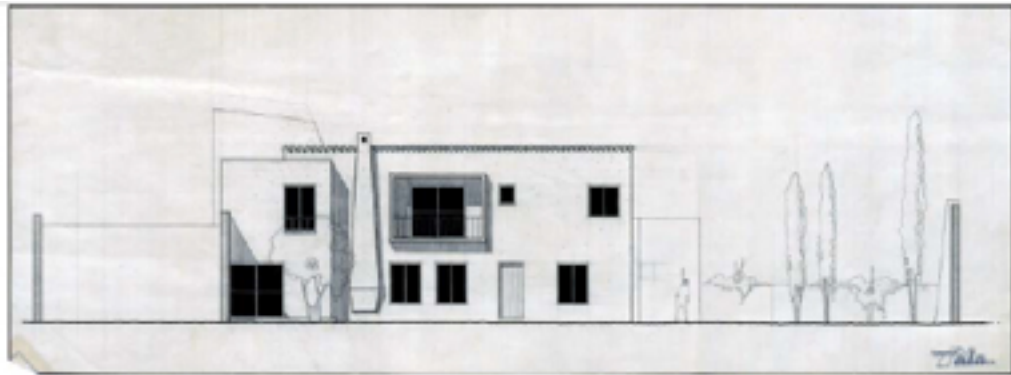


Figura 19. Fachada de la casa Tlacopac (1957)

Fuente: Vicente (2007: 149)

Por extraño que parezca, pese a que Candela gozaba de reconocimiento internacional por sus aportes a la construcción de cascarones, en esta residencia no los utilizó; indicando lo siguiente: “[...] no me atrevo a enseñar la casa a ningún arquitecto pues todos esperan que yo viviera en alguna monstruosidad con techos alabeados y paredes de vidrio” (Candela, carta dirigida a Julio Galán; mencionado por Giral, 1991)c.

Según Tonda (2002) Candela “[...] siempre se resistió a usar las cubiertas en las residencias y, cuando él estaba construyendo la suya, señalaba a sus amigos que le habría parecido monstruoso introducir cascarones de forma paraboloides-hiperbólica en su casa.” (Pg. 12-13). Señaló Candela, además, en carta a José Subirana en 1957: “[...] me estoy haciendo una casa de estilo mediterráneo, casi mora, para que rabien los arquitectos modernos” (mencionado por Del Cueto, 2014: 300)d.

Faber en 1970 describe que, sin embargo, sí hubo soluciones de paraboloides hiperbólicos en su residencia particular (figura 20) “uno trataría de encontrar cascarones y los hay: un paraboloides escondido por el pretil del tejado del garaje, un paraguas sobre el cuarto de juegos en el jardín, y otro paraguas como techo de los cuartos del servicio.” (1970: 17).



Figura 20. Félix Candela en los paraguas invertidos de paraboloides hiperbólicos de la casa Tlacopac (1957)

Fuente: <http://unavidamoderna.tumblr.com/>

Faber (1970) señaló que para Candela “la casa es tal como siempre la quiso, en un estilo que admira como «el tipo de arquitectura más funcional que existe», porque no hay reglas abstractas que dicten la colocación de puertas y ventanas.” (p. 17). Esta residencia construida por Candela para su esposa y cuatro hijas, menos que cualquiera de sus otras soluciones aportadas en materia de vivienda, tampoco sellaría su devenir estructural; el cual, en cada proyecto que participaba, quedaba caracterizado por la respuesta geométrica de aplicación de techos de paraboloides hiperbólicos.

2do nivel de evolución. Grupo 2: Estructuras de doble curvatura.

Paraboloides hiperbólicos paraguas invertido. Casa San Ángel, 1958

El arquitecto mexicano Jaime Ortiz Monasterio (1928-2001) propuso en 1958 el diseño de una residencia lujosa, ubicada en la avenida Las Flores No 502, San Ángel, México D.F.

La vivienda contaba con un volumen cuadrado en cristal traslucido que encerraba dos niveles. En el primer nivel: una sala o estancia familiar y en el segundo nivel: una amplia biblioteca (figura 21).



Figura 21. Vista interna de la estancia de la Casa San Ángel, Ciudad de México (1958)

Fuente: <http://unavidamoderna.tumblr.com/>

Estos detalles fueron convertidos en la porción más llamativa de la vivienda. Como techo la solución planteada fue resuelta por Candela: un paraguas invertido, simétrico, de cuatro unidades de paraboloides hiperbólicos en concreto armado de bajo espesor, sostenido por una sola columna central (figura 22).

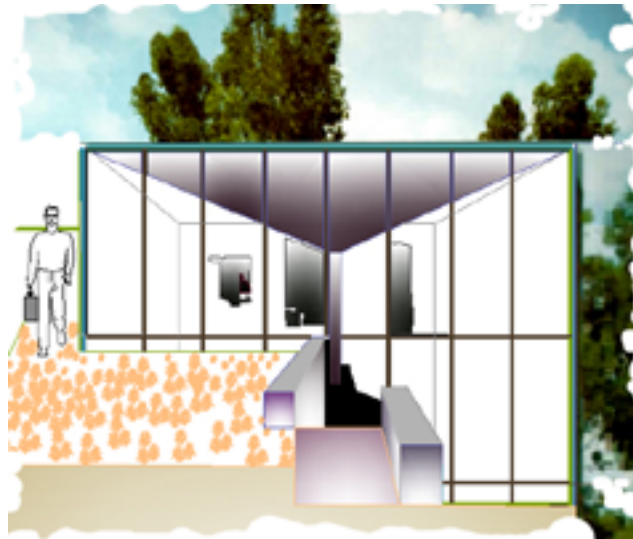


Figura 22. Vista exterior de la Casa San Ángel, Ciudad de México (1958)

Fuente: Elaboración propia con base en <http://unavidamoderna.tumblr.com/search/>

2do nivel de evolución. Grupo 2: Estructuras de doble curvatura.

Paraboloides hiperbólicos Bordes libres:

Casa Rebaque (1962)

El arquitecto Alonso Rebaque presentó a Candela el diseño de su casa-habitación (1962), para el cálculo estructural y construcción, ubicada en la calle Escarcha No 22, Jardines del Pedregal, Ciudad de México, con un cascarón cuya geometría era aplicada en edificios públicos pero que, aparentemente, no resultaba favorable para emplearlo en una vivienda (figuras 23 y 24).



Figura 23. Vista Interior de la casa del arquitecto Alonso Rebaque

Fuente: <https://www.pinterest.com/pin/571675746419772723>

La vivienda fue construida bajo la supervisión del arquitecto Manuel Medina, quien ha tenido también a su cargo otras seis intervenciones para remodelaciones posteriores (Medina, 2012).



Figura 24. Vista exterior de la Casa Rebaque, México, D.F.

Fuente: <http://unavidamoderna.tumblr.com/>

Medina, en 2012, señala que estas modificaciones consisten en: a) la construcción de un gimnasio de educación física, b) eliminación de la piscina, c) construcción de un estudio independiente en el jardín y d) modificaciones internas intentando conservar los acabados.

Tales intervenciones han contribuido a mantener los lineamientos programáticos que garantizan la estabilidad estructural del cascarón (Medina, 2012).

Conclusiones

El tiempo cronológico pareció haberse detenido y con él quedó el avance de las obras innovadoras de Candela.

Finalizó el siglo XX y Candela debió ser reconocido como el arquitecto que mayores aportes realizó, en el ámbito mundial, a la concepción geométrica y constructiva con estructuras laminares de hormigón, mediante la aplicación de superficies de simple y doble curvatura.

Desde el mismo año que Candela llegó a México, en 1939, se dedicó a ejercer la profesión de arquitecto. Inicialmente lo hizo diseñando y construyendo viviendas tradicionales. Parecía

ser que el destino le deparaba dedicarse profesionalmente a solucionar casas habitación; no obstante, no fue así.

Las propuestas más importantes de las estructuras laminares de Candela no fueron precisamente para construir casas. La geometría de Candela, aplicada a las estructuras de cascarones, fue progresando siempre de lo sencillo a lo más difícil. Por ello, ha sido relevante realizar un estudio cronológico de los niveles de evolución en torno a los aportes desarrollados por él para el diseño y construcción de viviendas unifamiliares. Esto, en mucho de los casos, significó un traslado de las ideas innovadoras que desarrollaba para edificaciones con otro carácter (industriales, religiosos comerciales, religiosas; etc) a las viviendas en las que participó.

La arquitectura mexicana quedó exaltada por los significativos aportes desarrollados por Candela, materializados en más de un millar de proyectos para distintos países. En las décadas de los años 1950-60 no se dieron tantas experiencias de viviendas concebidas con paraboloides hiperbólicos en comparación con las edificaciones con otros usos (principalmente las de uso industrial, comercial, religiosos y administrativos).

Fueron estudiadas en la presente investigación los casos de viviendas con cascarones de concreto armado diseñados por Candela. Se observa que a la par que evolucionaba su obra, hacia un dominio cada vez más complicado de las estructuras de superficies alabeadas de doble curvatura, en esa misma medida, se iba incrementando su desinterés por aplicar esas innovaciones en resolver techos para viviendas.

Como conclusión de esta investigación se determina la existencia de una complicada línea de tiempo, con diferentes niveles de percepción geométrico-estructural en los proyectos de viviendas unifamiliares donde intervino Candela con cascarones de simple y doble curvatura, para distintas épocas cronológicas.

Las construcciones con cascarones de concreto armado, iniciadas con las innovaciones

introducidas por Candela, en México y otros países, finalizaron y no surgió algún otro sistema constructivo que superara estas experiencias para dar como resultado las versátiles formas arquitectónicas que aportaron los techos de simple y doble curvatura que él logró aportar para exaltar los conocimientos de la arquitectura y la ingeniería.

Como contribución para futuras líneas de investigación este escrito reviste importancia en relación al estudio de los aportes geométricos de Félix Candela con otras superficies geométricas distintas a las que han sido analizadas y su aplicabilidad para solucionar diseños, cálculos estructurales y analíticos desarrollados por él para edificaciones de distintos usos (comerciales, religiosos, industriales, administrativos, educativos y deportivos).

Agradecimientos

El Autor desea agradecer las siguientes contribuciones:

- Dra. Lourdes Cruz González Franco, Coordinadora del Archivo de Arquitectos Mexicanos, al ceder los derechos de Autor para la figura 11 de esta investigación.
- Arq. Víctor Ayala por dos contribuciones: dibujar la fachada de la Casa Novedades No 1, ocupada en la figura 14; al igual que la cubierta de paraboloides hiperbólicos del garaje de la casa Almada, para la figura 29.

Referencias bibliográficas

Arámbula, A. (2012). Los hermanos García Narro y Cubiertas Ala del Norte. Simposio a 15 años de su muerte: Félix Candela, ayer hoy y mañana. https://www.youtube.com/watch?v=I_ovnJ8lLtU.

Billig, K. (1948). Corrugated Concrete Shell Structures. New Developments. "Preliminary Publications" of the Third Congress of I.A.B.S.E. Group IVc2, pg. 545—551. <https://www.e-periodica.ch/cntmng?pid=bse-cr-001:1948:3::61>

Blanco, F. (2016). La arquitectura no construida de Félix Candela. Evolución de la arquitectura de Félix Candela a partir de sus proyectos obras no construidos 1939-1997. Tesis Doctoral.

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.
https://oa.upm.es/45621/1/FEDERICO_LUIS_BLANCO_GARCIA_01.pdf

Casa Chihuahua. (2014). Santa Clara, 75 años del arribo de los republicanos españoles a Chihuahua. https://www.casachihuahua.org.mx/Boletines/140926_StaClara/140926_boletin_StaClara.php

Cavazos, V. (2021). Cubiertas Ala del Norte. La evanescente estela de Félix Candela en Monterrey. En: La estela de Félix Candela. Cascarones de concreto armado en México y el mundo. Pp 46-59.

Del Cueto, J. (2014). Arquitectos españoles exiliados en México. Ateneo Español de México.

Faber, C. (1970). Estructuras de Candela. 1ra edición (español). Editorial Continental.

Giral, A. (1991). La arquitectura de Félix Candela. En: El destierro español en América. VV AA. Ministerio de Cultura. Madrid.

Medina, M. (2012). Intervenciones a la Casa Rebaque. Simposio Félix Candela: ayer, hoy y mañana. https://www.youtube.com/watch?v=uilC_2NrODQ

Páez, R. (2016). De la utopía geométrica a la realidad arquitectónica: Análisis de viviendas construidas con paraboloides hiperbólicos en la década de 1950, por Catalano en Estados Unidos y Candela en México. Tecnología y construcción Vol. 32, No 2. Pp. -94 http://caelum.ucv.ve/ojs/index.php/rev_tc/article/view/14611

Tonda, J. (2000). Félix Candela. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, México.

Vicente, H. (2007). Arquitecturas desplazadas. Arquitecturas del exilio español. Ministerio de Vivienda. España. https://www.researchgate.net/publication/341176960_Arquitecturas_desplazadas_Arquitecturas_del_exilio_espanol

Notas: Cartas de correspondencia que han sido relacionadas en este artículo:



- a Carta de Félix Candela a Miguel Bertrán de Quintana (México, D.F.), 19 de marzo de 1940-Chihuahua. Archivo Candela, Avery Architectural & Fine Arts Library. Universidad de Columbia. Mencionada por Del cueto (2014: 243), Blanco (2016: 91).
- b Carta de Félix Candela a Fernando Savater mencionada por Del Cueto (2014: 282)
- c Carta de Félix Candela a Julio Galán mencionado por Giral (1991).
- d Carta de Félix Candela a José Subirana, en 1957, mencionado por Del Cueto (2014: 300).