

GERARDO PÁEZ

Arquitecto, (Universidad Veracruzana, México, 1992). Magíster Scientarium en Desarrollo Tecnológico de la Construcción (IDEC-FAU-UCV, 2002). Doctor en Arquitectura (2013, Facultad de Arquitectura y Urbanismo-UCV). Investigador A-2 del PEI ONCTI (2016). Profesor Instituto de Ingeniería Agrícola, Facultad de Agronomía-campus Maracay, UCV.

DE LA UTOPIA GEOMÉTRICA A LA REALIDAD ARQUITECTÓNICA: VIVIENDAS CON PARABOLOIDES HIPERBÓLICOS EN LA DÉCADA DE LOS CINCUENTA, POR CATALANO EN ESTADOS UNIDOS Y CANDELA EN MÉXICO

FROM GEOMETRIC UTOPIA TO ARCHITECTURAL REALITY: ANALYSIS OF HOUSES BUILT WITH HYPERBOLIC PARABOLOIDS IN THE FIFTIES, BY EDUARDO CATALANO IN THE UNITED STATES AND FELIX CANDELA IN MEXICO

RESUMEN

Como si fuese una utopía geométrica los arquitectos no siempre proponen paraboloides hiperbólicos como solución espacial y estructural para viviendas. No obstante, otra es la realidad: algunos casos donde fueron empleados se convirtieron en hitos arquitectónicos. El objetivo general de este artículo es analizar en particular dos experiencias constructivas de los años cincuenta: la Casa Raleigh (Catalano, 1953, Carolina del Norte) y un urbanismo popular las "Casas japonesas" (Candela, 1957, Monterrey, México). La metodología aplicada permite estudiar comparativamente estos ejemplos diferentes, distantes, pero muy relevantes. Los resultados obtenidos determinan los años de formación de ambos diseñadores, sus prácticas previas y el estado actual de estas edificaciones.

Descriptores

Félix Candela "Casas Japonesas"; Casa Raleigh, Eduardo Catalano; paraboloides hiperbólicos.

ABSTRACT

As if it was a geometric utopia, architects do not always hyperbolic paraboloid proposed as a formal solution, spatial and structural housing. Yet another is the reality: in some cases where they were applied are experiences that became architectural landmarks. In this article the following constructive experiences are analyzed: the Casa Raleigh (Catalano, 1953, North Carolina) and urbanism of social interest called the "Japanese Houses" (Candela, 1957, Monterrey, Mexico). Different, distant, but very relevant examples are studied comparatively, determining the formative years of the two designers, their previous practices and the current state of these geometric-constructive proposals

Descriptors:

Félix Candela "Japanese Houses"; casa Raleigh Eduardo Catalano, hyperbolic paraboloid.



DE LA UTOPIA GEOMÉTRICA A LA REALIDAD ARQUITECTÓNICA: VIVIENDAS CON PARABOLOIDES HIPERBÓLICOS EN LA DÉCADA DE LOS CINCUENTA, POR CATALANO EN ESTADOS UNIDOS Y CANDELA EN MÉXICO

"La obra mejor es la que se sostiene por su forma y no por su resistencia"
Eduardo Torroja

Los casos de las viviendas que se analizarán –donde los paraboloides hiperbólicos (superficie alabeada de doble curvatura) fueron adoptados como solución formal, espacial y estructural– constituyen experiencias que se convirtieron en hitos arquitectónicos.

Dos arquitectos, dos ejemplos diferentes y geográficamente distantes pero muy relevantes: por una parte, la Casa Raleigh (1953, en Raleigh, Carolina del Norte, Estados Unidos), vivienda unifamiliar del arquitecto argentino Eduardo Catalano y, por otra, las "casas japonesas" (1957, en la colonia Cuauhtémoc, municipio de San Nicolás de los Garza, en Monterrey, México), un urbanismo de interés social de 1.333 viviendas para familias obreras promovido por la empresa privada FEMSA, diseñadas por el arquitecto español Félix Candela.

En ambos casos para esas viviendas se recurrió a la aplicación geométrica de la superficie alabeada de doble curvatura con ecuación matemática $z = xy$ bajo acepciones arquitectónicas, estructurales y constructivas distintas: Catalano empleó en la estructura un paraboloides hiperbólico, doblemente reglado, configurado en una sola unidad, construido con tableros de madera maciza para cubrir una luz de 28 metros, con dos apoyos ubicados uno en cada extremo. Mientras que Candela diseñó las viviendas ocupando para cada una un sistema estructural de paraboloides hiperbólicos de cuatro unidades, en forma de paraguas normal, fabricado en concreto armado, donde apenas una sola columna sostenía todo el techo.

ANTECEDENTES GEOMÉTRICOS Y CONSTRUCTIVOS DE LAS EDIFICACIONES CON PARABOLOIDES HIPERBÓLICOS

La innovación tecnológica que permitió que una superficie doblemente reglada se convirtiera en una estructura edificada

¿Cómo una superficie doblemente reglada se convirtió en una estructura edificada? Arquitectónicamente, ningún constructor había logrado aplicar los paraboloides hiperbólicos para solucionar algún tipo de proyecto, hasta la obra diseñada y construida por Gaudí (1852-1926), la Cripta de la Colonia Güell y las bóvedas de la Sagrada Familia cuando se construyeron las primeras estructuras de doble curvatura. Gaudí no dejó nada escrito acerca de cómo las concibió, sin embargo, esta experiencia debe ser considerada como un primer período en los antecedentes de fabricación con este tipo de superficies.

Un segundo período en la evolución de aplicaciones de los paraboloides hiperbólicos, esta vez sí empleando el concreto armado para vaciar la superficie, dio inicio en 1933 con la construcción de la primera cubierta de cuatro unidades de paraboloides hiperbólicos en doble cantiliver, en Dreux, Francia, por el ingeniero Bernard Lafaille (1900-1955). A él se atribuye la primera patente europea y un artículo publicado en 1935¹: "Memorias sobre el estudio general de las superficies alabeadas delgadas", que fue un escrito pionero en la determinación de las ecuaciones que describen el comportamiento estático de estas cubiertas.

Lafaille patentó una tipología de columna en forma de V que llevó su nombre y utilizada en algunas edificaciones con techos de doble

curvatura que se pueden observar en el presente. Tal es el caso de la iglesia de Notre Dame de la Paix (1955) resuelta en concreto armado, con la intersección de dos paraboloides hiperbólicos en la parte central de la edificación.

En este segundo período hubo un buen adelanto teórico gracias a los aportes de Issenmann Pilarsky, quien escribió en 1935 el primer libro: *Cálculo de cascarones en concreto armado* y de Fernand Aimond (1902-1984), quien en 1936 escribió el primer tratado: *Estudio estático de las bóvedas delgadas en paraboloides hiperbólicos trabajando sin flexión*². Ambos trabajos plasmaron los estudios estáticos para cubiertas de curvatura simple y de doble curvatura.

Culmina este período con los diseños, cálculos y una patente del ingeniero italiano Giorgio Baroni, quien ejecutó la primera experiencia de paraboloides hiperbólicos en forma de paraguas normales para la planta para ensamblaje de vehículos Alfa Romeo (destruida por bombardeos durante la II Guerra Mundial) y en el mercado público de la localidad de Tresigallo, provincia de Ferrara, Italia, los cuales aún se encuentran en pie.

En términos de innovación el tercer período fue el más importante. Es reconocido por Juan Antonio Tonda, en 2000, como la época dorada de construcciones de cascarones de concreto armado. Quedó signado por las innovaciones en cubiertas laminares emprendidas

por Félix Candela (1910-1997) en México que tuvieron inicio en el año 1950.

Cual si fuese una utopía los constructores debieron formularse esta pregunta: ¿Es factible emplear los paraboloides hiperbólicos, superficie de difícil comprensión geométrica, para solucionar estructural, espacial y formalmente las cubiertas de viviendas? Aun cuando ésta no había sido la principal aplicación de los paraboloides hiperbólicos sí se han dado algunas experiencias exitosas para generar las techumbres de viviendas; algunas de las cuales serán analizadas a continuación.

EDUARDO CATALANO

"Las superficies de curvatura positiva, que definen formas cerradas, y las negativas, que son abiertas e infinitas, generan estructuras espaciales. Ambas proveen gran rigidez y liviandad, a través de formas tridimensionales y no por la cantidad de material"

Eduardo Catalano

Eduardo Catalano (1917-2010) fue un arquitecto argentino, graduado en la Universidad de Buenos Aires en el año 1940. Vivió en Estados Unidos a partir de 1945, cuando arribó para cursar un Master en las Universidades de Pensilvania y Harvard, llegando a realizar aportes e investigaciones de las aplicaciones constructivas mediante el modelado, construcción y graficación de los paraboloides hiperbólicos.

Figura 1. Parador turístico Ariston, construido en 1948, y su estado actual



Fuentes: <http://pltfr.ma/1vpOnP0> y <http://www.estudiofunciona.com/Blog.asp?itmID=17265>

Años de formación y obras edificadas

Sus primeros años de vida profesional quedaron inmersos en las corrientes modernistas propiciadas por la Bauhaus. Un primer acercamiento de Catalano con estas tendencias fue plasmado, en 1948, con el diseño del Parador Turístico Ariston (figura 1), ubicado en el barrio La Serena, en Mar del Plata, Argentina; una obra del arquitecto húngaro Marcel Breuer³ (1902-1981), en la cual participó también el arquitecto argentino Carlos Coire.

La formación de Catalano fue signada además por la tendencia modernista en la Escuela de Diseño de Harvard producto de su relación como alumno de Walter Gropius (1883-1969), arquitecto alemán, fundador de la Escuela Bauhaus de Diseño. En 1946 Gropius creó *The Architects Collaborative, Inc.*, conocido como el TAC, grupo del cual no formó parte directa Catalano en virtud de que debió trasladarse a Carolina del Norte.

Otra influencia relevante en la formación de Eduardo Catalano provino de la presencia en Harvard de Sigfried Giedion (1888-1968), arquitecto, fundador de los Congresos Internacionales de Arquitectura Moderna-CIAM, quien además había alcanzado la cúspide de su obra escrita con: *Espacio, tiempo y arquitec-*

tura (Bermudez, 1993: 286) con el cual logró presentar la historia de la arquitectura moderna y el libro, *La mecanización toma el mando* (Bermudez, 1993: 286), con el que consiguió que la historia de la tecnología constructiva cobrara una nueva visual.

Entre los proyectos de Catalano no construidos se debe reconocer también el diseño de la Universidad de Tucumán (1946) junto a Horacio Caminos (1914-1990. También integró el equipo que proyectó “la ciudad frente al río”, bajo la dirección de Jorge Ferrari Hardoy y realizó para la municipalidad de Buenos Aires un proyecto de auditorio para 20.000 espectadores” (Dias y Adriá, 2003:116).

Catalano llevó adelante el anhelo de muchos arquitectos: ver completada su actividad profesional con múltiples proyectos y edificaciones construidas de una importancia relevante (cuadro 1).

En la Architectural Association School of Architecture, Catalano logró completar su formación hasta que en 1951 recibió la invitación del arquitecto y Decano Henry Kamphoefner (1907-1990) para ejercer como profesor de Arquitectura de la Escuela de Diseño de la North Carolina State University (NCSU).

Cuadro 1. Edificaciones más emblemáticas diseñadas por Eduardo Catalano



1947. Edificio del Plata. Diseñado junto con Oscar Crivelli, en Buenos Aires.

Fuente: <http://www.lanacion.com.ar>



1960. Pabellones II y III en asociación con Horacio Caminos. Ciudad universitaria de Buenos Aires.

Fuente: <http://www.flickr.com/photos/wikichaves/286938129>



1966. Centro de estudiantes Stratton en el MIT, ubicado en Cambridge, Massachusetts.

Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/Campus_of_the_Massachusetts_Institute_of_Technology

Cuadro 1. Edificaciones más emblemáticas diseñadas por Eduardo Catalano (Continuación)



1968. Escuela de música Juilliard School, ubicada en en el Lincoln Center. Proyecto ejecutado junto a Pietro Belluschi
Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Escuela_Juilliard

Fuente: commons.wikimedia.org/



1967. Torre Eastgate en el MIT, torre residencial ubicada en Cambridge, Massachusetts.

Fuente: commons.wikimedia.org/



1968. Escuela de música Juilliard School, ubicada en en el Lincoln Center. Proyecto ejecutado junto a Pietro Belluschi

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Escuela_Juilliard



1970. Biblioteca pública de Boston. Sucursal ubicada en Charlestown.

Fuente: commons.wikimedia.org/



1975. Embajada de Estados Unidos en Buenos Aires.

Fuente: www.turismocasual.com

Fuente: elaboración propia

Aportes del arquitecto Eduardo Catalano a los conocimientos geométricos y constructivos de las superficies alabeadas de doble curvatura

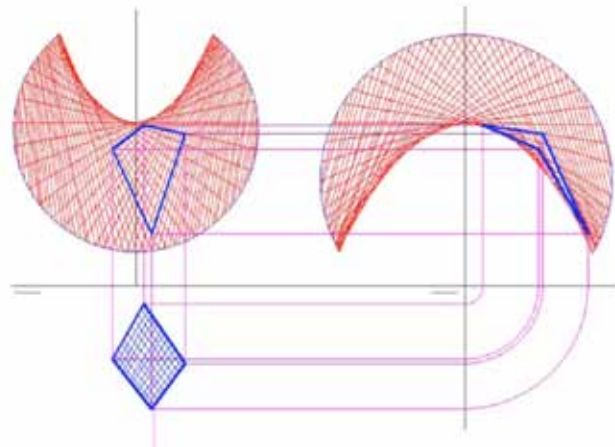
Catalano fue profesor de arquitectura en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) entre los años 1956-1977. En medio de ese ejercicio docente elaboró el libro: *Estructuras de superficies alabeadas* (Fuentes, 214: 79), uno de los textos que se emplean en el estudio de las superficies doblemente regladas para generar espacios construidos, donde propone una

clasificación de paraboloides hiperbólicos con base en agrupaciones de diferentes unidades de estas superficies (figuras 2 y 3; cuadro 2).

Una experiencia habitacional inédita: la casa Raleigh

La casa Raleigh, también llamada Ezras Meirs House⁵ estuvo ubicada en el n° 1467 de la calle Drivers Caminos, en Carolina del Norte en Estados Unidos. Fue diseñada en 1943 y construida por Eduardo Catalano en 1953.

Figura 2. Paraboloide hiperbólico con el eje z paralelo a los planos xz y yz



Fuente: elaboración propia con base en Catalano, 1963, p. 8.

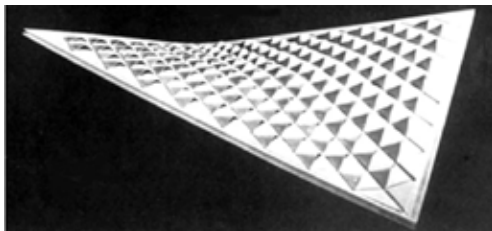
Figura 3. Paraboloides hiperbólicos de cuatro unidades configurado con el eje z en posición vertical para la modelación de cúpulas cuadrangulares



Fuente: Catalano, 1963, p. 12 (extraído con fines didácticos).

Cuadro 2. Sistemas estáticos emblemáticos de configuraciones espaciales con cubiertas de paraboloides hiperbólicos propuestos por E. Catalano

Bordes rectos/ inclinados sobre dos apoyos



Estructura planta cuadrada de una sola hoja.

Bordes rectos/ horizontales sobre cuatro apoyos



Estructura de planta cuadrada, basada en la combinación de cuatro elementos cada uno formado por dos unidades de paraboloides hiperbólicos.

Inclinados sobre cuatro apoyos



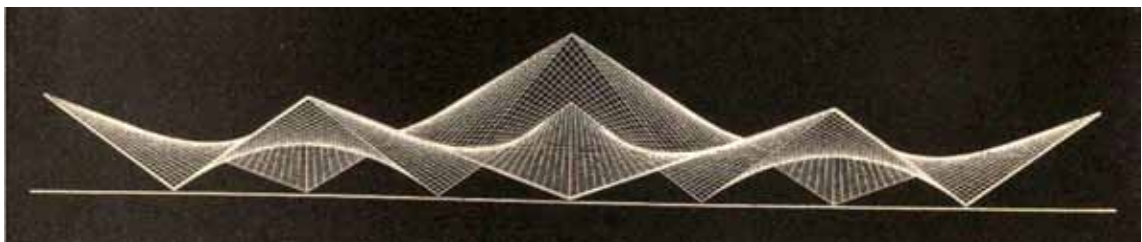
Vista frontal de una estructura, de planta cuadrada, formada por 16 unidades de paraboloides hiperbólicos.

Bordes horizontales sobre cuatro apoyos



Estructura de 12 unidades inscritas en una planta cuadrada con bordes perimetrales horizontales.

Bordes rectos inclinados sobre doce apoyos



Vista frontal de estructura con 18 unidades de paraboloides hiperbólicos, planta hexagonal

Fuente: Catalano, 1963. Reproducido por el autor con fines didácticos.

La casa Raleigh (figura 4) no fue su primera experiencia en cuanto a diseños con paraboloides hiperbólicos. Ya en 1945 Catalano había participado en un concurso para una sede de la General Motors⁶.

En la biblioteca de la Escuela de Diseño de la NCSU conservan la maqueta que sirvió de modelo a escala para el diseño de la casa Raleigh (figura 5). Un paraboloides hiperbólico de la forma que responde a la ecuación cartesiana $z=xy$ (figura 6) construido con tableros de madera de 1" máxima de espesor sirvió de cubierta para generar un espacio confortable que es separado de las terrazas exteriores por paredes de cristal traslúcido.

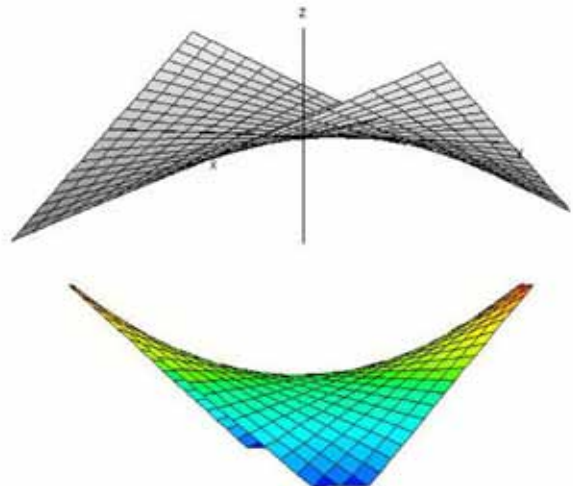
Las fases de construcción de la techumbre de la casa Raleigh fueron encargadas a empresas privadas con un personal muy bien capacitado. Concebir como un hecho práctico un paraboloides hiperbólico como superficie anticlástica doblemente reglada para 1954 era comprendido sólo por muy pocos arquitectos en todo el mundo. El hecho de construirlo con tres capas de madera encolada (figuras 7 y 8) significó un salto innovador de la lógica estructural y se complementó con la originalidad tecnológica ya que hasta entonces los paraboloides hiperbólicos se resolvían comúnmente con concreto armado.

Figura 4. Maqueta de la Casa Raleigh



Fuente: www.trianglemodernist.com/catalano

Figura 5. Modelación gráfica del paraboloides hiperbólico con ecuación cartesiana $z=xy$



Fuente: elaboración G.P.

Figura 6. Vista exterior de la cubierta de doble curvatura del paraboloides hiperbólico fabricado por Eduardo Catalano para su vivienda en Carolina del Norte



Fuente: www.jetsetmodern.com/catalano



Figuras 7 y 8. Montaje de la cubierta de paraboloides hiperbólico de la Casa Raleigh



Fuente: www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1297877&page=2

Refiriéndose a los años cincuenta, la casa Raleigh fue catalogada y aceptada como “la casa de la década” y se convirtió en el modelo de vivienda más importante del siglo XX en Carolina del Norte (EE.UU.). Esta fue una caracterización que hoy en día continúa despertando controversias debido al auge industrial que adquirió la construcción de nuevos urbanismos donde se alojaban las mejores representaciones de diseño para las familias de clase media americana en esa época.

El área de la vivienda era de 160 m². Un punto crítico fue la escogencia del partido arquitectónico, el cual fue modesto y comprendía tres habitaciones, sala cocina-comedor (figura 9), con un diseño que privilegió los paños de cristal en sus fachadas y la presencia de

sus moradores en las terrazas semi-cubiertas y jardines al aire libre que ocupaban 211,67 m² para complementar los 371,67 m² de área construida (equivalenta a 4 mil pies²).

Estructuralmente, el paraboloides hiperbólico propuesto por Catalano fue un reto tecnológico que ha sido difícil de igualar en proyectos de viviendas. Las fundaciones salvaron una luz libre de 28 m. entre los únicos dos apoyos al piso. La viga de riostra o contratrase se resolvió mediante un concreto armado post tensado cuyos amarres quedaron a la vista en los extremos de la vivienda (figura 10). Los otros dos vértices en voladizo demostraban el equilibrio estable que otorga la doble curvatura a estas superficies geométricas cuando se someten a esfuerzos de flexocompresión.

Figura 9. Plano de la Casa Raleigh



Fuente: <http://arxiubak.blogspot.com/2015/11/casa-raleigh-eduardo-catalano.html>

Figura 10. Detalle de las fundaciones de la Casa Raleigh



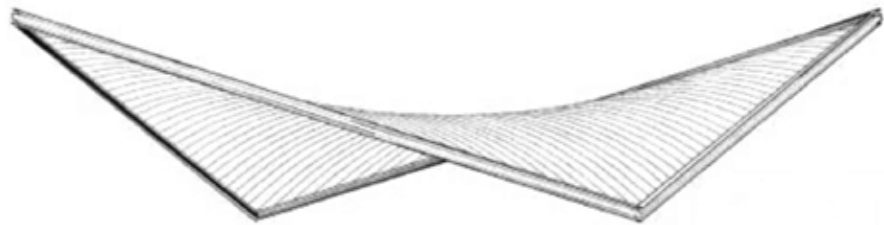
Fuente: www.ncmodernist.org/catalano.htm

La casa Raleigh estuvo además en la lista de las diez mejores viviendas de toda la unión americana de la época de la postguerra. El diseño de Catalano fue elogiado por Frank Lloyd Wright en un escrito que apareció en la revista *House & Home* de agosto de 1955 (figura 11). Dijo Wright "Es refrescante ver que el refugio, que es el elemento más importante en la arquitectura doméstica, ha sido tan ima-

ginativa y hábilmente tratada como en esta casa de Eduardo Catalano" (<http://news.mit.edu/2010/catalano-obit>).

La casa Raleigh fue ocupada como vivienda por el arquitecto Eduardo Catalano, junto a su familia, solo por muy pocos años, tres a lo sumo (figuras 12, 13 y 14). Posteriormente fue adquirida por Ezra y Violeta Meir en septiembre de 1957 quienes la ocuparon hasta 1966.

Figura 11. Diagrama de paraboloides hiperbólicos, *House & Home*, agosto 1955.



Fuente: www.jetsetmodern.com. Ilustración que apareció en la revista *House & Home* de agosto de 1955, en la cual vio luz un artículo de Frank Lloyd Wright donde analizaba positivamente las cualidades de la Casa Raleigh.

Figura 12. Terrazas de la Casa Raleigh en los años en que fue ocupada por Catalano



Fuente: www.trianglemodernist.com/catalano.

Figura 13. Catalano en los jardines de la Casa Raleigh en los años en que ocupó la vivienda



Fuente: www.trianglemodernist.com/catalano.

Figura 14. Vistas internas de los espacios de la Casa Raleigh



Fuente: www.trianglemodernist.com/catalano.

En 1978 la casa fue adquirida por su último ocupante el abogado Arch Lynch Jr, quien la habitó hasta 1996. Desde 1996 hasta 2001 la casa Raleigh permaneció desocupada y en franco deterioro.

Acciones de vandalismo, inclemencia del tiempo, pudrición y degradación de las piezas de madera que conformaban la cubierta, todo ello aunado a un incendio por cortocircuito eléctrico que comprometió la estructura condujeron a que el daño se tornara irreparable desde el punto de vista financiero.

La casa Raleigh (figura 15), que para su construcción en 1953 había alcanzado un precio de 40 mil dólares americanos, comenzó a ofertarse a mediados de la década de los noventa, por parte de la fundación para la Preservación de Carolina del Norte, por nueve veces dicha cifra, a la espera de que algún particular

se interesara en adquirirla para su restauración según el diseño original. Tal cometido resultó imposible de alcanzar. Fue así como Lynch, finalmente, vendió a una inmobiliaria la casa en marzo de 2001, la cual fue demolida en su totalidad ese mismo mes.

El predio donde alguna vez estuvo la casa Raleigh (figuras 29 y 30) fue adquirido por una empresa inmobiliaria que construyó, para ofertar en venta, dos viviendas unifamiliares para clase media (figura 16).

La calle que se denominaba Drivers Camino continúa siendo una calle privada que finaliza en el predio donde antes estuvo la vivienda proyectada por el arquitecto argentino pero ahora se identifica como Drivers Catalano en homenaje a quien en vida aportó con sus diseños un realce a la arquitectura de Carolina del Norte (figura 17).

Figura 15. Restos de la Casa Raleigh meses antes de ser demolida



Fuente: www.trianglemodernist.com/catalano.

Figura 16. Construcciones que fueron levantadas en el predio donde estuvo la Casa Raleigh



Fuente: maps.google.com

Figura 17. Final de la calle Drivers Catalano donde estuvo la Casa Raleigh



Fuente: maps.google.com

FÉLIX CANDELA, EL AUGE DE LAS ESTRUCTURAS LAMINARES DE CONCRETO ARMADO

"La arquitectura o, lo que es lo mismo, el problema artístico o expresivo comienza cuando todos los detalles técnicos han sido resueltos, hasta pudiéramos decir que es totalmente independiente de ellos"
Félix Candela

Félix Candela nació en Madrid, el 10 de enero de 1910. Vivió en España, donde cursó estudios de arquitectura. Candela en sus estudios de arquitectura conoció las fórmulas de F, Aimond para el cálculo estructural de paraboloides hiperbólicos.

Aunque en 1936 optó por una beca para Alemania que no se concretó debido al estallido de la Guerra Civil española, estudiaría bajo la tutela de los ingenieros Ulrich Finsterwalder (1897-1988) y Franz Dischinger (1887-1953). De este último adquirió quizás la usanza de ensayar las estructuras posando con sus colaboradores encima de ellas para demostrar su resistencia.

Al presentarse el conflicto de la Guerra Civil española se alistó como Capitán de ingenieros del lado de los republicanos y luego, durante cuatro meses, permaneció en un campo de concentración francés para más tarde, ante la finalización del conflicto en 1939, ser acogido por México en calidad de refugiado.

Junto a los arquitectos mexicanos Fernando y Raúl Fernández Rangel, fundó en 1950 la empresa Cubiertas Ala de México, acompañándolo como socios dos de sus hermanos: Julia y Antonio: "...en Cubiertas Ala se elaboraron 1.439 proyectos y de ellos se materializaron 896" una cantidad pocas veces vista en la vida profesional de un arquitecto (Tonda, 2000: 23). Aunque la compañía Cubiertas Ala de México se mantuvo en ejercicio hasta 1976, Candela permaneció al frente de ella como diseñador, calculista y contratista sólo hasta 1969. A partir de ese año quedó su hermano al frente de la ejecución de los proyectos.

Desde mediados de los años cincuenta hasta el momento de su muerte, acaecida en 1997, mediante la construcción de miles y miles de metros cuadrados de cubiertas Candela comprobó que los paraboloides hiperbólicos, además de ser un excelente negocio, significaban también la evolución tecnológica más importante del siglo XX de estructuras laminares en concreto armado, con un bajo espesor que reducía los costos y tiempos de edificación.

Para 1950 Candela resolvió con éxito el encargo del Arq. Jorge González Reyna para diseñar y construir su primer cascarón reglado de doble curvatura: el Pabellón de Rayos Cósicos en la Ciudad Universitaria en Ciudad de México (figuras 18 y 19).

Figura 18. Vista externa del Pabellón de Rayos Cósicos, ciudad universitaria en la ciudad de México



Fuente: www.revistadelainiversidad.unam.mx/6909/cueto/69cueto02.html

Figura 19. Vista interna del Pabellón de Rayos Cósicos, ciudad universitaria en la ciudad de México



Fuente: www.urbipedia.org/index.php?title=Pabell%C3%B3n_de_los_Rayos_C%C3%B3smicos

La propuesta fue un paraboloides hiperbólico, con ecuación cartesiana, erigido sin cálculos estructurales previos:



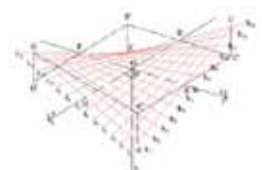



$$\frac{y^2}{b^2} - \frac{x^2}{a^2} = \frac{z}{c}$$

De acuerdo con Faber, la condición explícita solicitada a Candela fue que “el techo de-

bía ser suficientemente delgado para dar paso a los rayos cósmicos: no más grueso que 15 mm. Tal dimensión era inusitada para la cubierta de concreto de un edificio permanente” (Faber, 1970: 51) ⁹.

Las estructuras de paraboloides hiperbólicos propuestas por Félix Candela se clasifican en seis modalidades diferentes (cuadro 3).

Cuadro 3. Modalidades estructurales de paraboloides hiperbólicos construidas por Félix Candela

| Tipología | Modelo gráfico | Descripción geométrico-estructural |
|------------------------------------|---|---|
| Descripción geométrico-estructural |  | Formado por cuatro mantos de paraboloides hiperbólicos unidos por rectas directrices que son comunes y diagonales que requieren refuerzos adicionales ya que trabajan a tensión. Al centro una sola columna que no requiere capitel y que sólo en el caso de paraguas invertidos, sirve a su vez para ocultar el bajante de aguas pluviales. La zapata aislada de fundación puede ser plana horizontal o como paraboloides hiperbólico. |
| Cúpulas cuadrangulares |  | Formado por cuatro mantos de paraboloides hiperbólicos unidos por rectas directrices que son comunes. Los bordes perimetrales son horizontales o pueden también ser inclinados. Cada vértice en las esquinas de la cubierta se apoya en una columna vertical |
| Eje z vertical |  | Paraboloides hiperbólicos generados a partir de “...dos sistemas de líneas rectas hn e in, cada sistema paralelo a un plano director y ambos planos formando un ángulo arbitrario .” (Faber, 1970: 27). |
| Eje z no vertical |  | Un paraboloides hiperbólico con el eje z inclinado, aun cuando, geoméricamente era conocido, constructivamente no había sido resuelto. Candela fue el primero en determinar su comportamiento estructural y los valores numéricos de las reacciones que se generan cuando el eje z está inclinado con respecto al plano en el cual se encuentran las rectas generatrices. |
| Bordes libres |  | De acuerdo con Faber “...el descubrimiento del borde libre data de la construcción del edificio de la Bolsa de Valores” para ese entonces 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” (Faber, 1970:198). |
| Bóvedas por aristas |  | Todo arquitecto tiene entre sus obras construidas alguna que resulte para él la más significativa. Esto resultó para Candela la cubierta del restaurant Los manantiales en Xochimilco, estado de México-1957-58. Es una bóveda por aristas octogonal, diseñada por los hermanos arquitectos Joaquín y Fernando Álvarez Ordoñez. Esta propuesta fue replicada en el parque Oceanográfico de Valencia España, junto a Calatrava; convirtiéndose en la obra póstuma de Candela |

Fuente: elaboración propia

Con el eje z vertical resolvió estructuras con paraguas (normales e invertidos), estos bajo novedosas modalidades como fue la de construirlos inclinados o con las unidades asimétricas. Construyó, además, cúpulas poligonales; luego las soluciones con el eje z inclinado, y aun cuando geoméricamente ya estaban concebidas, él fue el primero en resolverlas estructural y constructivamente.

Las tipologías de bóvedas por aristas y bordes libres nunca antes habían sido construidas y fueron innovaciones que se debieron al dominio geométrico de estas superficies y las aplicaciones prácticas en sistemas de cubiertas novedosas implantadas por Candela.

Respecto a la obra construida por Candela aquí sólo se menciona la que corresponde a sus aportes a la implantación de paraboloides hiperbólicos con énfasis en las soluciones aplicadas en viviendas aunque no se niega que otras edificaciones por él construidas y solucionadas con diferentes estructuras de cubiertas laminares también lograron modificar toda la concepción constructiva que se tenía para la época (ver cuadro 4).

Antecedentes de viviendas con cascarones construidas por Candela

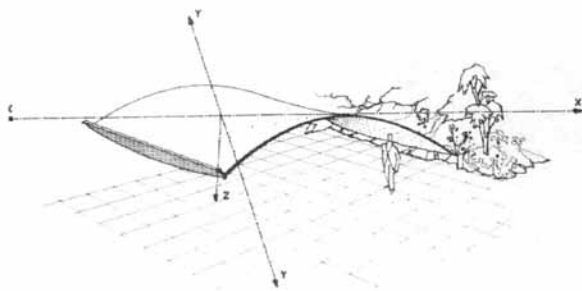
Después del Pabellón de Rayos Cósmicos, la segunda vez que Candela ocupó un paraboloides hiperbólico para un diseño fue en una vivienda para residencia del arquitecto Horacio Almada (1951-52), en la urbanización Jardines

del Pedregal en ciudad de México con cubierta en cantiliver del garaje (figura 20),

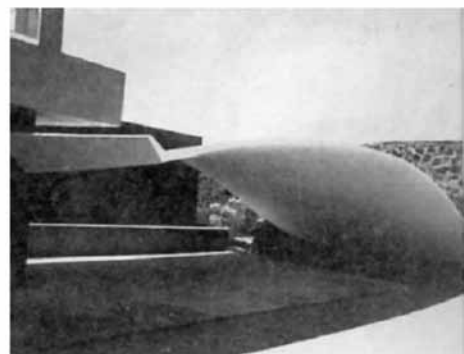
Candela siempre se mostró escéptico a solucionar viviendas con paraboloides hiperbólicos. De acuerdo con Tonda, “Candela siempre se resistió a usar las cubiertas en las residencias y, cuando él estaba construyendo la suya, señalaba a sus amigos que le habría parecido monstruoso introducir cascarones de forma paraboloides-hiperbólica en su casa. (...) la relativa falta de interés de Candela por la arquitectura propiciaron su negativa a usar las cubiertas en casas-habitación” (Tonda, 2000:12).

Pese a ello, a principios de la década de los cincuenta las estructuras cinco residencias ubicadas en la urbanización Jardines del Pedregal en México D.F. fueron encomendadas a la empresa Cubiertas Ala de México, para el sorteo semestral entre los suscriptores del periódico *Novedades*. Las tres primeras de ellas fueron resueltas por Candela con cascarones distintos a los paraboloides hiperbólicos: para la casa n° 1 ocupó un cilindro asimétrico de 20 m de luz, una distancia entre apoyos que por primera vez Candela se atrevía a construir. La casa n° 2 empleó una losa horizontal plegada, tipología que nunca antes había aplicado Candela en sus proyectos. Para la n° 3 un cascarón alabeado con el cual dispuso un doble voladizo conoidal. Y no fue sino hasta las casas n° 4 y 5 cuando resolvió las estructuras con paraboloides hiperbólicos. Según Faber describe: “La estancia de la casas

Figura 20. Vista de la cubierta de doble curvatura del garaje de la vivienda del arquitecto Horacio Almada



Fuente: extraída con fines didácticos de Faber, 1970:82.



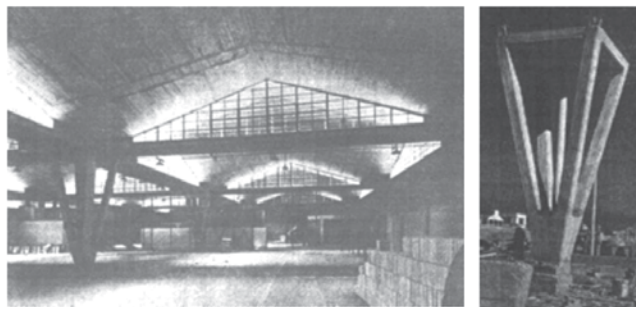
Fuente: www.pinterest.com/pin/99923685458304192



Cuadro 4. Edificaciones más emblemáticas diseñadas por Félix Candela



Paraguas invertido, concreto armado "...con dimensiones de 8 X 8 m y flecha de 60 cm." (Faber, 1970:84). Almacén de las Aduanas (1952), México, D.F.
Fuente: Faber, 1970



Cúpulas cuadrangulares de concreto armado sobre columnas cuádruples ubicadas en cada vértice de la cubierta. Cubierta de Almacenes Herdez 1955-1956.
Fuente: Faber, 1970.



Eje Z vertical. Iglesia de La Medalla Milagrosa (1954-1955), México, D.F., elaborado junto a los arquitectos Arturo Sanz y Pedro Fernández Miret.
Fuente: www.google.co.ve/imgres?q=iglesia+de+la+medalla+milagrosa+felix+candela



Eje Z no vertical. Capilla de San Vicente de Paúl en Coyoacán, México, 1959-1960. Arquitectos Enrique de la Mora y Fernando López Carmona.
Fuente: www.revistas.unam.mx



Bordes libres. Tres conjuntos de bóvedas independientes agrupadas 2 a 2. Planta Bacardí (1958-1960) junto al Ing. Luis Torres Landa. Cuautitlán, estado de México.
Fuente: <http://sitioaureo.blogspot.com/2010/08/felix-candela-y-la-arquitectura.html>



Bóveda por arista. Bóveda por arista de 8 pétalos formados por la intersección geométrica de 4 paraboloides hiperbólicos en concreto armado. Restaurant Los Manantiales (1958) diseño arquitectónico de los hermanos Joaquín y Fernando Álvarez Ordoñez, Xochimilco, estado de México.
Fuente: www.piterest.com

Fuente: elaboración propia. Referencias indicadas

No 4 fue techada con un paraguas asimétrico cuyo brazo más corto fue sujetado a una pared. La casa n° 5 quedó bajo un paraguas cuadrado de 7,5 m de lado, que tenía una segura flecha de 1,10 m" (Faber, 1970:84). Estos proyectos de casas a pesar de que resultaron exitosos tampoco incitaron en Candela el interés por solucionar viviendas con paraboloides hiperbólicos.

Otros diseños habitacionales fueron solicitados a Cubiertas Ala, empresa que tenía a sus mejores clientes entre los arquitectos más renombrados de México, y fue así como el arquitecto Alonso Rebaque presentó el diseño de su casa-habitación (1962) ubicada también en Jardines del Pedregal, con un cascarón (figura 21) que fue calculado estructuralmente por Candela.

Candela, en materia de viviendas de interés social con cascarones reglados de doble curvatura, no realizó ningún aporte significativo sino hasta 1957, cuando desarrolló la propuesta estructural y constructiva para las casas de la colonia Cuauhtémoc en Monterrey, México, conocidas como las *casas japonesas* que veremos a continuación.

Un urbanismo solucionado con paraboloides hiperbólicos: "las casas japonesas"

No se tiene conocimiento de algún otro urbanismo de la magnitud de la Colonia Cuauhtémoc (Monterrey, México, 1957) donde las

casas, además de una iglesia y dos escuelas fueran construidas con propuestas estructurales para cascarones de paraboloides hiperbólicos en concreto armado.

Esas viviendas constituyen un antecedente de construcciones de casas económicas que no está suficientemente documentado. Faber en su texto escrito con la anuencia de Candela señaló: "Que el cascarón podría ser una solución práctica para viviendas de bajo costo fue demostrado por más de cien unidades erigidas en las llanuras de Monterrey. El paraguas invertido produjo un techo más atractivo que la losa plana acostumbrada en México en tales obras. La estructura usada en forma repetida resulta económica porque todas las cargas del techo se concentran en un solo punto, con los ahorros consiguientes en los cimientos de los muros que no son de carga. Sus habitantes les llaman 'las casas japonesas'" (Faber, 1970:147; el texto subrayado corresponde al autor del artículo).

El texto citado es el único párrafo que describe la construcción de las *casas japonesas* incluido en el libro de Faber. Es un escrito que siembra imprecisiones y errores. Señalar que fueron "más de cien unidades", una cantidad muy vaga. ¿Cuántas viviendas más fueron realmente construidas y por qué no se mencionó la cantidad total exacta?

Otra imprecisión que resulta inexplicable en el texto citado es la que se desprende cuando

Figura 21. Vista de la vivienda del arq. Alonso Rebaque, México D.F.



Vista interior

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



Vista exterior

Fuente: <https://www.pinterest.com/pin/175570085445832791/>

deduce que “El paraguas invertido produjo un techo más atractivo que la losa plana” cuando todas las viviendas construidas fueron solucionadas con la modalidad de paraguas normales.

Descifrar las razones que motivaron a Candela a aceptar que ésta fuese la única información para describir la obra de las viviendas construidas con paraboloides hiperbólicos en la colonia Cuauhtémoc –por lo demás muy escueta– conduce a inferir el modo particular con el cual él percibía a las estructuras laminares en concreto armado cuando estas eran empleadas para viviendas de interés social.

Tonda en 2000, arquitecto, calculista y constructor que trabajó junto a Candela y describe parte de su obra construida y la que dejó sin construir, no mencionó en algún apartado *el* urbanismo de las *casas japonesas* como experiencia exitosa en la edificación de viviendas de interés social solucionadas con cascarones de concreto armado.

Seguidamente se mencionarán las principales características de este urbanismo popular.

La Fundación Cuauhtémoc y Famosa, el más importante grupo de empresas de Monterrey, realizó en 1957, en un área de 90 Ha, un desarrollo urbano para trabajadores que inició

con 334 unidades habitacionales, unifamiliares, de interés social (figura 22), y alcanzó en total 1.318 viviendas (118 más que las que se proyectaron inicialmente)¹¹.

Esta experiencia fue ideada por los intereses filantrópicos del empresario mexicano Don Eugenio Garza Sada¹² (1892-1973), quien fue gerente y propietario de –entre otros– los grupos empresariales privados: Fábricas Monterrey (Famosa), Fomento Económico Mexicano (Femsa) y Cervecería Cuauhtémoc, los más destacados para la década de los años cincuenta en Monterrey y, además, fundador del prestigioso Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey.

La adjudicación a los propietarios consistió en una venta simple, al costo, con un plan de financiamiento para un lapso de 20 años, con amortización de intereses absorbida por la Fundación que él presidió, la cual se encargó del desarrollo urbanístico, generando además los espacios y equipamientos urbanos para recreación y cultura, deportes, educación y zonas verdes.

Su idea –por demás exitosa– de otorgar las viviendas a los trabajadores en tan favorables condiciones, sentó las bases que motivaron al

Figura 22. Colonia Cuauhtémoc en Monterrey, México



Plano de la Colonia Cuauhtémoc
Fuente: wikimapia.org



Vista aérea de la construcción de la 1ª etapa

Estado mexicano a crear en 1972 el Instituto del Fondo Nacional para la Vivienda de los Trabajadores (INFONAVIT) y un importante número de institutos estatales de viviendas que plantearon planes fiduciarios similares para la construcción y adquisición de viviendas de interés social con base en la experiencia de las casas japonesas.

La Colonia Cuauhtémoc está ubicada en el municipio San Nicolás de los Garzas, en la zona metropolitana de Monterrey, que es la capital del nortero estado de Nuevo León en la república mexicana. Las calles perimetrales que bordean la poligonal de la Colonia Cuauhtémoc son al norte la avenida de La Juventud; la avenida Cristina de Treviño (poniente), Nogalar Sur (sur, sur-este) y San Nicolás (oriente). Las dos últimas convergen al sur (figura 23). De acuerdo con googlemaps.com las coordenadas de ubicación geográfica de la colonia Cuauhtémoc son 25°44'8"N y 100°18'35"W.

Las viviendas fueron construidas con la participación de los hermanos arquitectos Javier y Fernando García Narro y una filial denominada Cubiertas Ala del Norte.

Los predios de buen tamaño, con un área de 345 m², sirvieron para que los propietarios realizaran ampliaciones futuras de una y dos plantas, algunas de las cuales no requirieron de la demolición de la cubierta de paraboloides hiperbólicos.

La estructura de las *casas japonesas* no podía ser más simple. Una sola columna de concreto armado de 20-25 cm, de sección cuadrada (figura 24), sostenía toda la techumbre que no sobrepasaba los 4 cm de espesor al igual que todos los cascarones de concreto armado realizados por Candela. La fundación central para la estructura portante de la cubierta fue una zapata aislada cuadrada (no se conocen planos estructurales que contengan una descripción de los detalles de armado ni dimensiones de esta cimentación).

Geoméricamente los techos de estas viviendas estaban constituidos por un sistema espacial de 4 mantos de paraboloides hiperbólicos doblemente reglados, configurados como paraguas normal, que conforman una disposición mediante directrices comunes (figura 25).

Figura 23. Poligonal y calles perimetrales de la Colonia Cuauhtémoc en Monterrey, México

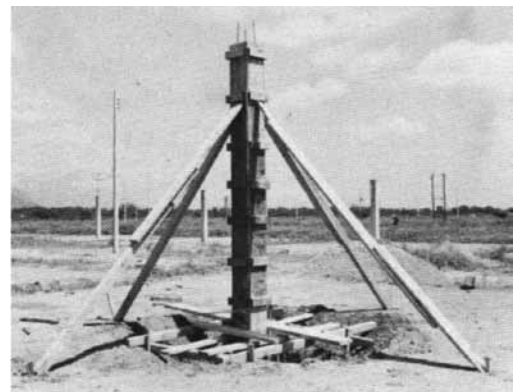


Poligonal de la Colonia
Fuente: wikimapia.org



Identificación de las calles perimetrales
Fuente: googlemaps.com

Figura 24. Columna que servía de apoyo a la estructura de las casas japonesas



Fuente: Faber, 1970: 146 (extraída con fines didácticos, G.P.).



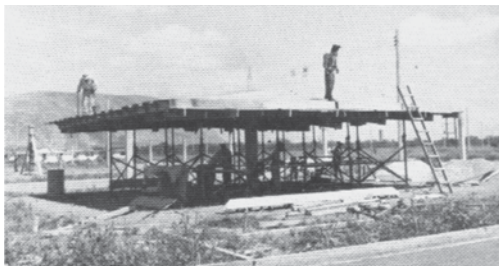
Las paredes de la vivienda (figura 26) fueron desplantadas desde un firme de concreto que sirvió como losa de fundación y a su vez cumplía la función de ocultar todas las instalaciones eléctricas e hidrosanitarias. No existían elementos de amarre vertical lo cual llevó a trabar los mampuestos en las esquinas.

Una vez terminadas las viviendas (figura 27) se observaba que las paredes eran independientes de la cubierta de concreto armado del techo de paraboloides hiperbólicos. Esta separación no contribuía en nada al aislamiento térmico de la vivienda cuestión que no era favorable para el clima de la zona. Las *casas japonesas* a nivel de la entrada principal contaban con un pequeño volado horizontal (losa plana) independiente de toda la estructura de la cubierta de doble curvatura, pero que que-

daba al ras del borde horizontal con una junta en frío a la cubierta del cascarón.

Los habitantes actuales de la Colonia Cuauhtémoc no reconocen sus viviendas como "casas japonesas". Si alguna vez fueron designadas así ya no existen muchos vestigios de los techos a "cuatro aguas de paraboloides hiperbólicos". No se logra determinar con precisión quiénes mantienen una tradición de propiedad o son descendientes de sus legítimos dueños. Existen algunas viviendas que a 60 años de distancia de la fecha en la que fueron construidas aún conservan la estructura original total o parcialmente (figura 28). En comunicación electrónica de fecha 7/2/2014, el Arq. Marco Aurelio Estrada Marín informó la existencia únicamente de dos de las "casas japonesas" que aún pudiesen estar en pie.

Figura 25. Fase inicial de construcción de las paredes y apuntalamiento de la cubierta de las casas japonesas



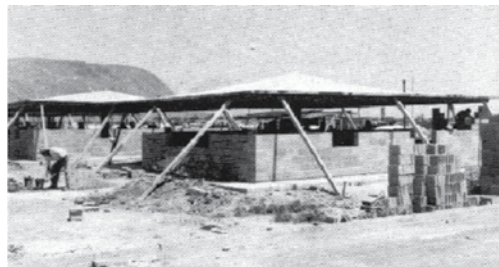
Fuente: Faber, 1970: 146 (extraída con fines didácticos, G.P.).

Figura 27. Vista exterior de las viviendas de paraboloides hiperbólicos una vez finalizada su construcción



Fuente: Faber, 1970: 146 (extraída con fines didácticos, G.P.).

Figura 26. Fase de construcción de las paredes y apuntalamiento final de la cubierta de las casas japonesas



Fuente: Faber, 1970: 146 (extraída con fines didácticos, G.P.).

Figura 28. Otra vista exterior de las viviendas de paraboloides hiperbólicos una vez finalizada su construcción



Vista exterior de la vivienda ubicada en la calle Titán n° 13. Conserva el techo de la estructura original de paraboloides hiperbólicos.
Fuente: maps.google.com



Vista exterior de la vivienda ubicada en la calle Gaviota n° 119. Conserva parte de la estructura original de techos de paraboloides hiperbólicos diseñados por Félix Candela.

La construcción de las *casas japonesas* no cobró para Candela mayor relevancia. Sin embargo, en la misma poligonal de este urbanismo, una edificación de carácter religioso sí alcanzó un auge que rebasó las fronteras de México y que ha sido estudiada y analizada por numerosos investigadores, la iglesia de Jesús Obrero (figura 29) un diseño de Enrique de la Mora y Fernando López Carmona (1957). Las imágenes de las fases de construcción de esta iglesia tienen como fondo el paisaje del cerro de La Silla, símbolo natural de la ciudad de Monterrey y las casas de interés social con techos de cascarón que modificaron el perfil urbano con viviendas para trabajadores construidas con criterios de economía y de un alto valor estético.

Algunos que han estudiado la iglesia de Jesús Obrero, incluyendo a Faber, en su texto sobre la obras de Candela la describe sin relacionarla con la existencia de las viviendas.

Candela siguió dando muestras del más alto dominio estructural de construcciones de paraboloides hiperbólicos en concreto armado. Los paraguas normales que otrora ocupó para las *casas japonesas* fueron aplicados esta vez de forma asimétrica rectangular con dimensiones de 14 x 7 m (figura 30) para solucionar treinta cabañas tipo bungalows del hotel Casino de la Selva (demolido en 2001 para dar paso a un centro comercial en medio de incontables manifestaciones públicas) en Cuernavaca, estado de Morelos en México.

Figura 29. Iglesia San José Obrero en la Colonia Cuauhtémoc en Monterrey, México



Iglesia San José Obrero. Al fondo el urbanismo de las casas japonesas

Fuente: Faber, 1970: 233.



Vista reciente de la cubierta de doble curvatura de paraboloides hiperbólicos para la iglesia San José Obrero.

Fuente: maps.google.com

Figura 30. *Bungalows* del hotel Casino de la Selva en Cuernavaca, México (1959-1960)



Construcción de *bungalows*

Fuente: www.pinterest.com/pin/341077371752032820/



Vista exterior

Fuente: <http://lnx.costruzioni.net/wp-content/uploads/2009/01/F%20C3%A9lix-Candela-Costruttore-di-sogni.pdf>



CONCLUSIONES

Desde el siglo V antes de Cristo hasta 1914, año en el cual Gaudí empleó las primeras bóvedas con estructuras de doble curvatura, debieron transcurrir 2.500 años para que algún constructor convirtiera estas superficies en espacios construidos.

Candela supo interpretar la geometría de estas superficies, clarificar las fórmulas y ecuaciones de Aimond y Pilarsky e innovar con las distintas modalidades de paraboloides hiperbólicos que fueron aportes que él logró resolver en dos décadas de trabajo.

Lo que para muchos arquitectos y constructores resultaba imposible de edificar, para Candela, gracias a la comprensión estructural y geométrica que poseía, era sencillo de solucionar. Aun cuando en muchos de los casos tardaba mucho tiempo en dar una respuesta fehaciente y cuando la lograba plasmar estaba plagada de errores que debían resolverse en el transcurso de la obra.

En la década de los cincuenta no hubo muchas experiencias de viviendas concebidas geométrica y estructuralmente con paraboloides hiperbólicos. Algunos de los ejemplos más emblemáticos se convirtieron en hitos arquitectónicos. Sin embargo, las viviendas de la Colonia Cuauhtémoc fueron la demostración más fiable de que una idea por simple que fuera no debía ser desestimada ya que podría resultar la más válida. Para cuando Candela resuelve la estructura para estas viviendas de

interés social conocidas como *casas japonesas*, ya Catalano había alcanzado un connotado prestigio por su diseño de la Casa Raleigh.

Entre las razones que justificarían el porqué Candela no hizo mayor alusión a la propuesta de las *casas japonesas* se pueden enumerar las siguientes:

- Estructuralmente, para las *casas japonesas* fueron aplicados paraguas normales que no constituyeron una innovación como tal de Candela. Estos ya habían sido aplicados por primera vez por Giorgio Baroni en los techos del mercado popular de Tresigallo en Italia.
- La utopía geométrica se hizo realidad. Si la Casa Raleigh, construida por Catalano para los años cincuenta fue reconocida como “la casa de la década”, las *casas japonesas* debieron ser reconocidas como “el urbanismo de la década”. No existe ningún otro urbanismo con tantas viviendas donde con apenas una sola columna central, apoyada apenas en una sola zapata cuadrada con dimensiones mínimas, se alcanzaran techar unos 64 m², con los respectivos ahorros en tiempo, costos y un valor agregado que sólo allí se logró para la época: las viviendas modificaron el medio ambiente natural con casas de un alto valor estético. Aun así la experiencia de Candela con viviendas de interés social construidas en Monterrey con cubiertas de paraboloides hiperbólicos sigue siendo poco documentada.

NOTAS

- 1 *Memoires sur l'Étude générale des surfaces gauches minces* (Memorias sobre el estudio general de las superficies alabeadas delgadas). En: Publications, Internacional Association for Bridges and Structureal Engineering, Vol. III, Zurich.
- 2 “*Étude statique des voiles minces en paraboloide hyperbolique travaillant sans flexion*” (Estudio estático de las bóvedas delgadas en paraboloide hiperbólico trabajando sin flexión. Éste es publicado en los Boletines, de la IABSE en el Vol. IV, (Catalano, 1962:7, Pilarsky, 1935:136).
- 3 Según Guido Bermúdez en 1993 el arquitecto húngaro Marcelo Breuer (1902-1981) estudió en la Bauhaus de Weimar, dirigida por Walter Gropius. En 1946 se radicó en Nueva York. Breuer fue diseñador, entre otros edificios, del proyecto para la sede de UNESCO en París en 1953, en colaboración con Pier Luigi Nervi y Bernard Zehrfuss, la Embajada de Estados Unidos en Holanda, el Convento de la Anunciación en Bismarck, el Centro IBM en La Grande, el Museo Withney, el Museo Cleveland y otros.

- 4 Respondiendo a la usanza de colocar el apellido del propietario, algunos autores (Dias, 2003, entre otros) han designado a la Casa Raleigh como *Casa Catalano*. Sin embargo, en la tradición de los registros de propiedad de inmuebles de Carolina del Norte, nunca apareció mencionada así. La que se conoce como *Eduardo Catalano House* es la vivienda ubicada en el n° 44 de la calle Grozier Rd, en Cambridge, Massachusetts propiedad que él habitó y que fue vendida en 2010 (<http://www.ncmodernist.org/catalano.htm>).
- 5 Catalano vivió junto a su familia en la Casa Raleigh apenas tres años. Luego la casa fue ocupada por Esraz Meirs quien pasó a ser el propietario del inmueble durante 9 años.
- 6 En cuanto al diseño propuesto por Catalano para General Motors no se conocen más que menciones en fuentes electrónicas sin que se logre dar con planos o maquetas que señalen el aporte de esa iniciativa. Por ejemplo en la fuente electrónica *trianglemodernist* se establece la siguiente afirmación: "In 1945, he entered a General Motors design competition using a hyperbolic paraboloid, and won second place out of 914 entries." De ser así se estaría ante un hito que marca un antecedente importante en virtud de que la actividad de diseño, registro de patentes y construcción de cubiertas con paraboloides hiperbólicos se había detenido por la Guerra en Europa.
- 7 Ha sido infructuosa la búsqueda de uno de los ejemplares de la revista *House & Home* de agosto de 1954, que contiene el reportaje con la cita textual de F. Lloyd Wright. Sin embargo, son varias las fuentes electrónicas que hacen mención del elogio (jetset.com; trianglemodernist.com y otras). Además, Dias en 2003 también hace lo mismo sin describir siquiera el número de la edición de la mencionada revista.
- 8 Candela, mencionado por Faber en 1970, atribuyó a Aimond el discernimiento de las ecuaciones y el método de cálculo estructural para los paraboloides hiperbólicos en forma de paraguas invertidos.
- 9 ¿Realmente la cubierta del Pabellón de Rayos Cósmicos de la UNAM fue construido con 15 mm de espesor? Al parecer esto es un mito y realmente resultó como todos los cascarones de Candela con 4 cm de espesor. El autor del presente artículo planteó esta interrogante, en 2007, a algunos especialistas. La arquitecta Carolina Carmona, en comunicación electrónica de fecha 23/11/2007, respondió que no pudo haber sido ese el espesor definitivo por razones de recubrimiento de los armados "...el espesor es de 4 cm, nunca se atrevieron a hacer cascarones de menor espesor..."
- 10 Faber, en 1970, quien contó con la aprobación de Candela para realizar la agrupación de su obra de construcción de paraboloides hiperbólicos, colocó en una misma categoría los paraguas simples y las cúpulas (triangulares, rectangulares, pentagonales, hexagonales y otras). No obstante, sólo deben ser considerados como *paraguas* los que disponen de un solo apoyo en la parte central. Y, de tal modo, otra categoría diferente es la conformada por los tipos de cubiertas de *cúpulas* que disponen de apoyos hacia el suelo en cada uno de los vértices de la cubierta.
- 11 Los datos definitivos del número de viviendas con techos de paraboloides hiperbólicos construidos por Candela en Monterrey, México, fueron aportados por la arquitecta mexicana Annette Arámulo en comunicación electrónica de fecha 2/7/2014. Con base en el contenido inédito para esa fecha de una conferencia dictada en la Universidad Nacional Autónoma de México, relacionada con la presencia de los arquitectos del exilio español en México, el cual es a su vez su tema de investigación doctoral.
- 12 La actividad visionaria de Don Eugenio Garza Sada, además de inspirar la creación del INFONAVIT, también propició la creación del Instituto Mexicano del Seguro Social.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bermúdez, G. (1993). *Diccionario del arquitecto*. Editorial M.A. García e hijos. Caracas.
- Catalano, E. (1963). *Estructuras de superficies alabeadas*. Editorial Universitaria. Buenos Aires.
- Dias, C. Y Adriá, M. (2003). *La casa latinoamericana moderna: 20 paradigmas de mediados del siglo XX*. Gustavo Gili. México.
- Faber, C. (1970). *Estructuras de Candela*. Editorial Continental. México.
- Fuentes, O. (2011). Raleigh house 1954-2001 - Eduardo Catalano. 1:100 número 34, septiembre 2011, pp 78-81. Buenos Aires. Recuperado de <http://arqa.com/actualidad/documentos/revista-1100-n34.html>
- Tonda, J. (2000). *Félix Candela*. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, México.