

_ARTÍCULO

Jorge Montes, Edificio de rectoría, USAC,
detalle fachada poniente, USAC.
Fotografía de Romeo Flores, 2019.

TECNOLOGÍA EN ARQUITECTURA MODERNA CASCARONES DE CONCRETO EN GUATEMALA

*TECHNOLOGY IN MODERN
ARCHITECTURE CONCRETE
SHELL STRUCTURES IN GUATEMALA*

Victor Daniel Pozuelos Polanco y
Germán Antonio Meléndez Fuentes*
Egresados de la Escuela de Arquitectura

Fecha de recepción: 20 de febrero de 2018.
Fecha de aceptación: 15 de enero de 2019.

Resumen

Los cascarones de concreto reforzado en forma de paraboloides hiperbólicos ingresan en la escena nacional gracias a la intervención del Ingeniero Mauricio Castillo Contoux, a quien su interés por esta tipología constructiva lo lleva a asociarse con el arquitecto español Félix Candela, fundador de la empresa mexicana "Cubiertas Ala S.A." misma que se encargó de comercializar este tipo de cubiertas de concreto, es así que crean la empresa "Cubiertas Ala de Guatemala" la cual sería una ampliación de la empresa mexicana para atender el mercado Centroamericano.

El desarrollo de este tipo de cubiertas conlleva fuerte demanda de madera con el objetivo de lograr curvaturas en superficie con segmentos rectos, al mismo tiempo se necesita un estricto control de calidad durante la ejecución en busca de la expresión pura del concreto en una estructura monolítica y ligera, por ello la empresa de Mauricio Castillo adquiere la experiencia necesaria para ejecutar más de cuarenta proyectos en toda Centroamérica.

Los cascarones de concreto en forma de paraboloides hiperbólicos requerían un diseño de encofrado poco documentado en nuestro país, que bien puede ser objeto de innovación por lo que constituye el motivo para realizar un análisis del proceso constructivo que esta tipología requería.

Palabras clave:

Estructura, encofrado, cascarones de concreto, paraboloides hiperbólicos.

* Victor Daniel Pozuelos Polanco y German Antonio Meléndez Fuentes, son estudiantes con pensum cerrado en la Facultad de Arquitectura de la Universidad de San Carlos de Guatemala, USAC (2018); Su interés por la investigación y documentación del patrimonio moderno siempre fue notable durante su carrera, ahora con la oportunidad de recabar la información que durante varios años han investigado acerca de la obra de Mauricio Castillo Contoux y los paraboloides hiperbólicos en el país.

Abstract

Reinforced concrete shells enter the national scene thanks to the intervention of Engineer Mauricio Castillo Contoux, whose interest in this constructive typology leads him to associate with the Spanish architect Félix Candela, founder of the Mexican company "Cubiertas Ala S.A." which is responsible for commercializing these types of concrete roofs, so that they create the company "Cubiertas Ala de Guatemala" which would be an extension of the Mexican company to serve the Central American market.

The development of this type of roofing entails a strong demand for wood in order to achieve surface curvatures with straight segments, while strict quality control is required during execution in order to seek the pure expression of concrete in a monolithic structure and so the company of Mauricio Castillo acquires the necessary experience to execute more than forty projects throughout Central America.

Concrete shells required a formless formwork design in our country, which may well be the object of innovation, which is the reason to carry out an analysis of the construction process that this typology required.

Keywords:

Structure, formwork, concrete shells, hyperbolic paraboloid, shell structure.

Introducción

El estilo moderno fue uno de los movimientos más significativos en la arquitectura mundial, sus aportes en el ámbito formal, funcional y artístico no tienen precedente. A Guatemala el movimiento llega tarde, no obstante los arquitectos encargados de iniciar el nuevo estilo en el país consolidaron una fuerte presencia con sus diseños innovadores en la búsqueda de las nuevas formas que el estilo requería.

Para inicios de los años 50 Guatemala ya veía sus primeros edificios con la fuerte influencia del movimiento moderno traído al país por diferentes arquitectos graduados en el extranjero, quienes fueron alumnos de muchos de los grandes maestros del estilo. La llegada del movimiento al país coincidió con la exploración de nuevas formas en Latinoamérica como también los primeros experimentos de Félix Candela con estructuras laminares y cascarones de concreto en México.¹ (véase fig. 1)

La obra de Candela tuvo gran éxito en México, Latinoamérica y el Caribe, llegando a tener fuertes encargos de asesoría y diseños para cubiertas laminares con formas de paraboloides hiperbólicos. Dentro su larga carrera el arquitecto español² logra asociarse con varias empresas, entre ellas la firma de los hermanos Castillo Contoux en Guatemala, es así que nace en 1957, Cubiertas Ala de Guatemala, como una ampliación de la empresa de México para atender el mercado nacional y centroamericano.



Figura 1.
Paraguas experimental, Félix Candela, Experimental umbrella, D.F. 1953. Foto: Colin Faber, Candela: The Shell Builder. pp. 63

El artículo a continuación es una recopilación del análisis efectuado mediante un arduo trabajo de revisión del archivo de la familia Castillo Contoux, se procedió al análisis de la información recopilada, entre la que se encuentran cartas y correspondencia comercial, fotografías de ciertos procesos constructivos y otros tipos de documentos, generando una investigación centrada en proyectos de gran importancia para la escena constructiva y arquitectónica del país que hoy día bien pueden ser referencia importante de la técnica y el manejo de elementos escultóricos arquitectónicos y paisajísticos que conforman el amplio legado del movimiento moderno hasta nuestros días.

¹ Primer paraguas experimental, valle de México, 1953.

² Félix Candela Outeriño nace en Madrid, España, el 27 de Enero 1910.

Cubiertas Ala de Guatemala

Mauricio Castillo Contoux fue un polifacético ingeniero guatemalteco cuya carrera dejó una profunda marca en la construcción e ingeniería nacional. Su ansia de saber más y profundizar sus conocimientos lo llevó constantemente al estudio y a la investigación personal, debido a ello viaja a Francia para especializarse en estructuras y concreto pretensado. Años más tarde partió hacia la Universidad de Oklahoma para asistir a cursos avanzados en estructuras y posteriormente al Instituto de Desarrollo Económico del Banco Mundial a un curso general sobre proyectos.³

Mauricio conjuntamente con sus hermanos Roland y Pierre Castillo ya contaban con una empresa constructora llamada "Castillo Contoux – Robison, Ingenieros y Arquitectos", firma que posteriormente al concretar la sociedad con Félix Candela, cambiaría de nombre a "Cubiertas Ala de Guatemala" en 1957.

Su primer encargo grande sería el diseño y construcción del techo para el auditorio de la nueva sede de la facultad de ingeniería en la Universidad de San Carlos de Guatemala, diseño en el que Félix Candela tendría fuerte presencia como asesor.

Candela y Castillo tuvieron una estrecha amistad y a pesar que Félix nunca visitó Guatemala, Mauricio lo visitó en repetidas ocasiones en México. No obstante la comunicación fue constante mediante correspondencia, de la cual hoy en día se conserva en su mayor parte en buen estado en el archivo Castillo Contoux. Así pues en una carta del 4 de Septiembre de 1957, Mauricio comenta:

«El hecho de comenzar la primera cubierta de este tipo ha despertado mucho interés y ya hemos hecho varios anteproyectos para distintos usos. Al mismo tiempo, parece ser que varias otras firmas se ha atrevido a "pasar la línea" y en la misma Facultad de Ingeniería construirán algunos cascarones cilíndricos y han comenzado a hacer ofertas en varios lugares.»⁴

El paraboloides hiperbólico es uno de los tipos de construcción que más se presentan para el empleo eficiente de los materiales, radicando su fortaleza más bien en la configuración que en su masa. Su doble curvatura permite que las fuerzas sean transferidas a los apoyos enteramente por fuerzas directas, de modo que todo el material en la sección de la cascara queda sujeta a esfuerzos uniformes.⁵

Paraboloides Hiperbólicas denominados Paraguas de Concreto

Las cubiertas diseñadas con esta forma geométrica pueden clasificarse, a grosso modo, en dos grandes grupos: cascarones de borde recto y cascarones de borde

³ Joaquín Lottmann. "Mauricio Castillo como profesional de Ingeniería", Mauricio Castillo Contoux, Facultad de Ingeniería, USAC, pp. 7-9. Guatemala. 1972.

⁴ Carta escrita por Mauricio Castillo Contoux a Félix Candela, 4 de Septiembre de 1957. La carta pertenece al archivo de la correspondencia de la familia Castillo.

⁵ Portland Cement Association. "Elementary Analysis of Hyperbolic Paraboloid Shells". Boletín No. 35, 1960.

curvo. Entre las “variaciones” de Candela, el caso más desarrollado fue el del paraguas, elemento económico y versátil formado por cuatro segmentos de *hypar*⁶ que coinciden en un apoyo central que transmite las cargas al terreno.⁷ (véase fig. 2) La palabra paraguas se usa como una abreviación de “cascarones con forma de paraguas invertido” o en ingles, “shells with the shape of an inverted umbrella”. Y su nombre es debido su forma de paraguas invertido el cual tiene el objetivo de drenar el agua pluvial hacia adentro. Al momento de la creación de la sucursal de la empresa, Candela asesoraría y compartiría sus experiencias constructivas con Castillo, haciendo la comercialización del paraguas un éxito en Guatemala.

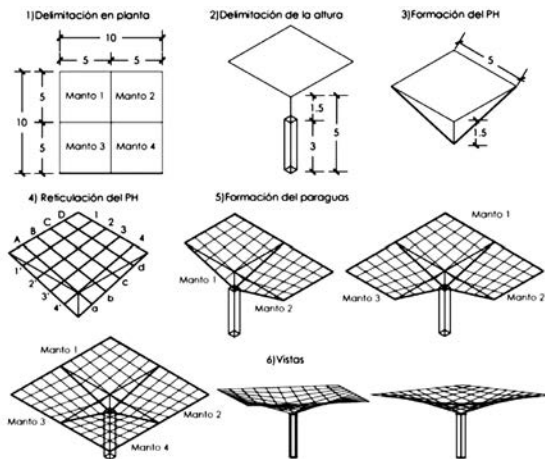


Figura 2.

Diseño aplicado de Paraguas.

1) Delimitación en planta

2) Delimitación de altura

3) Formación del paraboloides hiperbólico

4) Reticulación

5) Formación del paraguas.

Foto: tomada de la tesis de maestría. “Estudio sobre el diseño del paraboloides hiperbólico” presentada por Arq. Carolina Carmona Aparicio. México, UNAM. 2008.

El paraguas fue el elemento más construido por la empresa ya que éste contaba con la ventaja de ser producido en serie lo cual hacía una cubierta más económica, también tenía la característica de poder cubrir cerca de 200 m² por unidad. Este sistema fue utilizado de gran manera a lo largo de todo el país consiguiendo diferentes usos y aplicaciones. Dentro del ámbito industrial tuvo más presencia por las características que lo distinguían, sus usos más comunes llegaron a ser: bodegas, fabricas, gasolineras, mercados, terminal de buses y locales comerciales. (véase fig. 3)



Figura 3:

Terminal de buses de Jalapa en 1962.

Foto: Fuente desconocida:

Facebook/fotos antiguas de

Guatemala.

⁶ El paraboloides hiperbólico o *hypar* (abreviación del término en inglés “hyperbolic paraboloid”) contiene dos sistemas de generatrices rectas, cada uno paralelo a un plano director.

⁷ Juan Ignacio del Cueto Ruiz-Funes. Ensayo Las bóvedas por arista de Félix Candela: variaciones sobre un mismo tema. UNAM. México. 2010.

El paraguas podía ser construido en serie ya que su fabricación era muy practica debido a que el encofrado era reutilizable hasta 5 veces, permitiendo así construir más unidades dependiendo del requerimiento en cada proyecto según su función o necesidad. Su zapata se resolvía con un paraguas invertido lo cual era muy practico y económico, las variaciones del paraguas podían ser muchas comenta el Dr. Juna Ignacio del Cueto:

«La posibilidad de variantes era inmensa: podía ser de planta cuadrada, rectangular, romboidal o poligonal. Levantados a diferentes alturas o inclinando sus bordes para generar “dientes de sierra”, se lograba una adecuada ventilación e iluminación natural del espacio interior del edificio.»⁸

Proceso Constructivo

La construcción de paraguas consta de un proceso altamente mecanizado lo que permite a Cubiertas Ala de Guatemala producir a escala industrial ya que después del cálculo estructural requerido la ejecución de los mismos es en esencia repetitiva.

Para la cimentación, la zapata de anclaje es en sí misma un paraguas invertido proporcionando a la estructura el equilibrio de fuerzas y la fijación al suelo requeridas, a ese respecto las excavaciones tienen la forma del paraguas. (véase fig. 4) Aun así en Guatemala muchas de las estructuras fueron resueltas con una zapata de forma tradicional.

Estructuras auxiliares conforman los machotes que dan forma a la red de acero de refuerzo, que permite el montaje de las barras de manera uniforme y repetitiva quizá para acelerar el proceso de producción en serie de las estructuras con el objetivo de hacer eficiente la producción in situ de los paraguas. (véase fig. 4)

Al dominar el proceso constructivo, el montaje de estructuras de refuerzo se hace económico y factible para cubrir la demanda de proyectos de gran envergadura, es básicamente tecnología apropiada para la producción en cadena de los elementos de soporte inicial que puedan trasladarse dentro de la obra fácilmente, como el caso de la estructura de refuerzo completamente armada. (véase fig. 4)

Durante el proceso de encofrado la tecnología apropiada se hace evidente mediante el uso intensivo de madera que demanda herramienta adecuada, cortadoras, canteadoras, cepillos de madera entre otros, eran trasladados a obra para hacer eficiente e inmediato el proceso. (véase fig. 4) El diseño del encofrado es de suma importancia para obtener la calidad de acabado buscado, las mezclas se ejecutaban con mezcladoras de concreto livianas permitiendo controlar la dosificación y calidad del concreto con diseño de mezclas para obtener la resistencia a la compresión de 4,000 psi.

⁸ Juan Ignacio del Cueto Ruiz-Funes. Paraguas/Umbrellas. “Cascarones de Candela” / “Candela’s shells”. México UNAM, Facultad de arquitectura-CIAUP. 2016.pp. 23-24

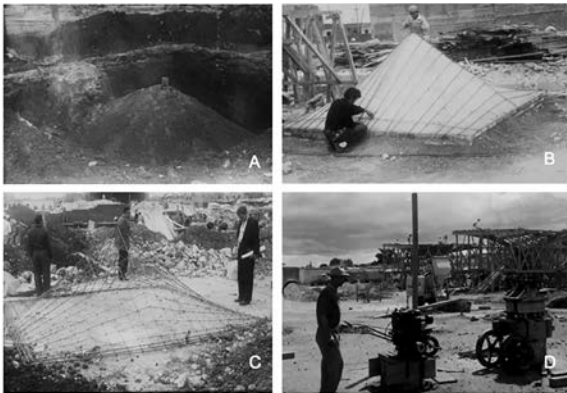


Figura 4:

A) Excavación para Zapata en forma de paraguas invertido;
 B) Estructura de refuerzo de zapata paraguas invertido sobre machote de prefabricación;
 C) Estructura de refuerzo completada lista para su traslado;
 D) Proceso de encofrado. 1957.
 Todas las Fotos: reproducción del archivo fotográfico de la familia Castillo

Al verter el concreto en el encofrado terminado, el proceso se beneficia de la cantidad de operarios que se emplean para llevar el mismo manualmente a todas las áreas de la cubierta utilizando para ello una serie de escaleras aparejos y estructuras de madera de apoyo para poder transitar la totalidad de la superficie y llegar prácticamente a cualquier segmento de la misma, utilizando arrastres como escantillones para hacer uniforme el espesor de la capa de concreto, toda la cubierta se funde uniformemente para garantizar que el concreto llegue a todos los intersticios, éste es vibrado por los trabajadores durante todo el proceso.

La colocación de concreto aunque un tanto rudimentaria por la misma ejecución manual se desarrollaba bajo criterios técnicos, es notable el cambio de fluidez de las mezclas para los distintos proyectos, además de los segmentos más inclinados de las cubiertas a construir, aunque no se tienen datos específicos del diseño de mezclas, es notorio que las mezclas eran distintas para cada tipo de cubierta. (véase fig. 5)

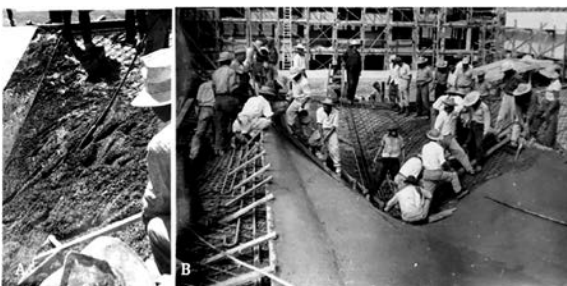


Figura 5:

A) Vibrado de concreto en proceso de colado;
 B) Proceso de colado de concreto de cubierta del Auditorio Francisco Vela, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 1957. Todas las Fotos: reproducción del archivo fotográfico de la familia Castillo.

Los procesos de encofrado y fundido aunque no varían tanto entre proyectos, evidencian como en éste último que la complejidad del mismo es en sí una obra escultórica, producto del diseño de su constructor con amplio conocimiento de la estructura que va a ejecutar reforzando las zonas con mayor propensión a la falla, además debido a que el vertido del concreto será más complejo éste se auxilia cada vez mas de andamiajes bien diseñados para permitir un trabajo manual cómodo y con esto buscar la excelencia constructiva. (véase Fig. 6)

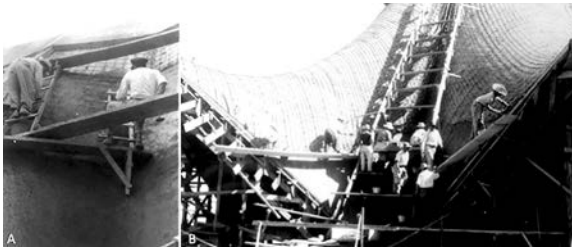


Figura 6:
A) Andamiaje para fundición de cubierta con nivel medio en complejidad; B) Andamiaje para fundición de cubierta con nivel alto de complejidad. Cubierta para Sinagoga Judía, zona 9. Guatemala. Todas las Fotos: reproducción del archivo fotográfico de la familia Castillo.

Costo

Por cuestiones de análisis tomamos como referencia el auditorio Francisco Vela de la facultad de Ingeniería de la USAC, para el análisis de los costos por metro cuadrado de construcción como también la comparación de cuanto pudo costar el mismo edificio pero en México, país donde ejecuto su mayor cantidad de obras el arquitecto Candela.

El área con la que cuenta la cubierta del auditorio es de 700 m², esta conformada por 10 paraguas de borde libre en voladizo hacia el centro, los paraguas se encuentran en diferentes alturas para generar un movimiento que ayuda con la isoptica que el diseño del auditorio requiere. (véase Fig. 7)



Figura 7:
Auditorio Francisco Vela de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala en construcción, 1957. Foto: reproducción de archivo oficina de divulgación facultad de Ingeniería, USAC.

El vínculo laboral entre Candela y Castillo los llevo a tener un contrato en el cual se registra el nombre y marca de Cubiertas Ala de Guatemala, dentro del mismo menciona que cada asesoría que Candela brindara a Castillo debía cobrar sus honorarios como “consultor”, es así que por motivos prácticos fijan un precio por metro cuadrado de \$ 12.00, para estructuras de paraguas o similares, en la correspondencia entre ellos, Félix menciona:

«Con respecto a las otras obras que no puedan considerarse ejecutadas por contrato, e inclusive para estas, estoy conforme con fijarles un precio de costo de \$12.00/m² para simplificar nuestras cuentas, siempre que se refieran a estructuras de paraguas o formas similares de proyecto sencillo.»⁹

⁹ Carta escrita por Félix Candela a Mauricio Castillo Contoux, 24 de Enero de 1958. La carta pertenece al archivo de la correspondencia de la familia Castillo.

Para entonces Candela ya había comercializado el uso y fabricación de los paraguas, mientras fijaba un costo por metro cuadrado en Guatemala, en México los precios eran mucho mas reducidos, así lo menciona en su carta del 24 de Enero de 1958:

«En cuanto a los costos de las cubiertas, y principalmente de los paraguas, tengo que decirle que el precio nuestro de contrato, que suele ser, efectivamente, de U.S.\$7.00/m² incluyendo columna y cimiento, solo es posible conseguirlo cuando el número de unidades iguales permite el reemplazo del encofrado al menos 4 o 5 veces. Cuando se trata de una sola unidad el costo es siempre muy superior, y todavía hay que tener en cuenta que los costos en México son siempre muy inferiores a los de Uds. por la diferencia de jornales, que aquí son muy reducidos.»¹⁰

Para el caso del auditorio de la Facultad de Ingeniería, Castillo cobró un total de honorarios de: \$600.00¹¹ por el diseño estructural, \$300.00 por la supervisión de la formaleta o encofrado y \$300.00 por la supervisión de la armadura y fundición o colado; en total \$1,200.00 exactos.¹² De dichos costos Candela recibía como honorarios el 23% del que equivale al diseño estructural. Por el proyecto del auditorio Candela habrá recibido \$138.00 como asesor de Cubiertas Ala de Guatemala. (véase Tabla 1)

Tabla 1.
Costos de honorarios para la construcción de la cubierta del Auditorio

AUDITORIO FRANCISCO VELA	700 m²
GUATEMALA, precio únicamente para la cubierta:	\$ 12.00 el m²
COSTO TOTAL DE LA CUBIERTA	Costo en 1957 \$ 8,400.00
HONORARIOS	
Diseño estructural	\$ 600.00
Supervisión de encofrado	\$ 300.00
Supervisión de armadura y fundición	\$ 300.00
Sub total de honorarios (14%)	\$ 1,200.00
Construcción de la cubierta	\$ 7,200.00
Total	\$ 8,400.00

Fuente: Elaboración propia basado en cartas entre Candela y Castillo. 2018
(Nota: los montos están expresados en dólares estadounidenses).

¹⁰ *Ibíd.* p.10

¹¹ Los montos están expresados en dólar estadounidense, en 1958 tenía el mismo valor que la moneda nacional, El Quetzal.

¹² Carta escrita por Mauricio Castillo Contoux a Félix Candela, 20 de Enero de 1958. La carta pertenece al archivo de la correspondencia de la familia Castillo.

Paraguas en Guatemala

El paraguas fue el elemento más utilizado por Cubiertas Ala de Guatemala debido a su bajo costo y rápida construcción, su forma era tan versátil que llegó a ser utilizada para la construcción de gasolineras, mercados, iglesias, bodegas, almacenes entre otros.

El rápido crecimiento en la construcción de una de las más nuevas e interesantes formas de cubiertas, El paraboloides hiperbólico, se debe grandemente al uso económico que éste hace de los materiales de construcción, a la sencillez de su funcionamiento estructural y a su singular belleza. La economía y diseño de los paraboloides hiperbólicos, permiten al arquitecto apartarse de la práctica convencional a que lo fuerzan todas las estructuras amoldadas al sistema de miembros lineales restringidos por tres planos perpendiculares y crear figuras de insospechadas características y apariencia.¹³

El éxito del paraguas en Guatemala hizo que muchos arquitectos lo consideraran en sus diseños, su fácil construcción y bajo costo lo hizo muy atractivo para diferentes proyectos mas aun por su presencia formal que salía de la losa plana tradicional. El proceso constructivo que proponía la reutilización del encofrado abrió las puertas para el diseño industrial es por eso que grandes proyectos fueron resueltos con paraguas, como ejemplo los mercados y fabricas, en menor escala también se construyeron bodegas y locales comerciales.

La construcción industrial y de servicios, tales como mercados, también ha sido importante, aunque el uso del acero desplaza constantemente al hormigón armado en luces grandes. (véase Fig. 8) En este orden, las experiencias principales han sido también el resultado de una búsqueda de expresión arquitectónica que traduzca lo que se produce en interior de la fábrica, y la necesidad de disponer de claros grandes y módulos estructurales que se repitan, siendo el costo el factor determinante en algunos casos.¹⁴



Figura 8:

A) Fábrica Nestlé zona 4.
B) Locales comerciales Rubí.
zona 9.
C) Vestidores Country Club. Zona 11.
D) Mercado Retalhuleu.
Todas las Fotos: reproducción del
archivo fotográfico de la familia
Castillo Contoux.

¹³ *Ibíd.* p.4

¹⁴ Mauricio Castillo, Bulletin of the International Association for Shell and Spatial Structures No. 48. "International Colloquium on progress of shell structures in the last 10 years and its future development", pp. 44. Madrid, España. 1969.

Conclusiones

Cubiertas Ala de Guatemala entrego obra que hoy en día es de mucho valor artístico, plástico y cultural. Mauricio Castillo fue uno de los mejores ingenieros que el país vio, su legado seguirá existiendo y sus obras serán una inspiración para futuras generaciones, con las estructuras laminares logro marcar una etapa muy importante en el desarrollo de infraestructura a nivel nacional, dejó como resultado una cantidad de obras importantes, cada una de ellas llevo a cabo conformación de equipos con grandes arquitectos y artistas del movimiento moderno de Guatemala, algo poco visto en nuestros días.

La calidad de la obra ejecutada por Cubiertas Ala de Guatemala ha logrado sobrevivir el embate de los años, hemos evidenciado casos en los que el mantenimiento preventivo permite hoy día observar la intensión del diseñador y constructor de entregar un ambiente con excelentes detalles de acabado y formas innovadoras de alta complejidad. En la ciudad de Guatemala las obras más grandes e importantes se encuentran en condiciones aceptables ya que por su valor arquitectónico y carácter de infraestructura han sido conservadas, no obstante la mayoría de éstas ya cumplió 50 años, razón por la que el registro y protección son de vital importancia en la protección del legado arquitectónico del país. En una situación muy diferente se encuentran las obras en el interior ya que muchas han sido demolidas y las que siguen en pie, urgen de importante rescate y restauración.

Factores como economía de ejecución y pericia constructiva llevaron éste tipo de cubiertas a lo largo y ancho del país y Centro América, debido al constante perfeccionamiento de las técnicas de encofrado y colado, actividades que demandaban mano de obra calificada, mismas que hoy día por su alto valor impedirían trabajar de forma eficiente. Es importante para nuevos usos la aplicación de tecnología, el estudio de las nuevas técnicas constructivas que reducen la mano de obra y utilizan sistemas informáticos de avanzada capaces de entregar edificios funcionales y eficientes. Las estructuras laminares en Guatemala en la actualidad son poco utilizadas ya que los procesos constructivos de mediados del siglo pasado son obsoletos y sería sumamente caro replicarlos es importante generar nuevos estudios y análisis ya que la versatilidad de esta tipología traería nuevos giros para la arquitectura actual del país.

Muchos edificios de los ejecutados tenían fines industriales y la arquitectura del movimiento moderno siempre propuso que los diseños fueran dinámicos, con un aspecto estético de relativa importancia sin menospreciar que fueran proyectos como bodegas, almacenes, mercados y fabricas, ahora la arquitectura industrial es insensible y sin ninguna búsqueda por un resultado formal, a través de este artículo recordamos que si fue posible y ahora está completamente perdido. Grandes proyectos de infraestructura hoy día podrían resolverse con mejores técnicas constructivas por ello el estudio del contexto de aplicación del paraguas como cubierta en el ámbito comercial y religioso, está íntimamente ligado con el interés de producir obras con mayor calidad arquitectónica y paisajística, integración urbana y mejor eficiencia energética.

Así mismo entender la técnica constructiva de proyectos de éste tipo e integrar el uso de tecnología para su producción puede entregar avances significativos en el medio nacional, que promuevan el desarrollo constructivo y la innovación en todo nivel, para poner al alcance de muchos el diseño y la arquitectura. Es parte de nuestro compromiso como futuros arquitectos e investigadores, continuar con la divulgación y fomento de este tipo de trabajos para con ello demostrar que la arquitectura Guatemalteca puede llegar a estar nuevamente en la vanguardia.

Bibliografía

- Arango Cardinal, Silvia. *Ciudad y Arquitectura. Seis generaciones que construyeron la América Latina moderna*. México FCE, FCE-Colombia, Conaculta. 2012.
- Carmona Aparicio, Carolina. *Diseño aplicado: Paraguas. En Estudio sobre diseño del paraboloide hiperbólico*. Tesis de Maestría en Arquitectura. UNAM. México. 2008. 59-60.
- Castillo, Mauricio. *Bulletin of the International Association for Shell and Spatial Structures No. 48. "International Colloquium on progress of shell structures in the last 10 years and its future development"*. Madrid, España. 1969
- Correspondencia entre Félix Candela y Mauricio Castillo entre 1957 y 1958. *Recopilado del archivo Familia Castillo*.
- Del Cueto Ruiz-Funes, Juan Ignacio. *Ensayo Las bóvedas por arista de Félix Candela: variaciones sobre un mismo tema*. Unam, México. 2010
- Del Cueto Ruiz-Funes, Juan Ignacio. Cubiertas Ala, S.A. La eclosión de Félix Candela. En *Arquitectos españoles exiliados en México*. México: Bonilla Artiga Editores: UNAM-Facultad de Arquitectura. 2014.
- Del Cueto Ruiz-Funes, Juan Ignacio. Paraguas/Umbrellas. "*Cascarones de Candela*" / "*Candela's shells*". México UNAM, Facultad de arquitectura-CIAUP. 2016.
- Faber, Colin. *Candela, the shell builder*, Reinhold, New York. United States of America.1963
- Lottmann, Joaquín. Mauricio Castillo como profesional de Ingeniería, *Mauricio Castillo Contoux*, Facultad de Ingeniería, USAC, 1972, Guatemala.
- Mesa Sobejano, Raquel. Del Cueto, Juan Ignacio. Acción Cultural Española (AC/E), *Félix Candela*. Columbia University and Unam. México 2012.
- Portland Cement Association. "*Elementary Analysis of Hiperbolic Paraboloid Shells*". Boletín No. 35, 1960.
- Tonda, Juan Antonio. *Paraboloides Hiperbólicos, monogramas para el cálculo de esfuerzos de membranas*. Editorial Limusa-Wiley, S.A. México 1972.