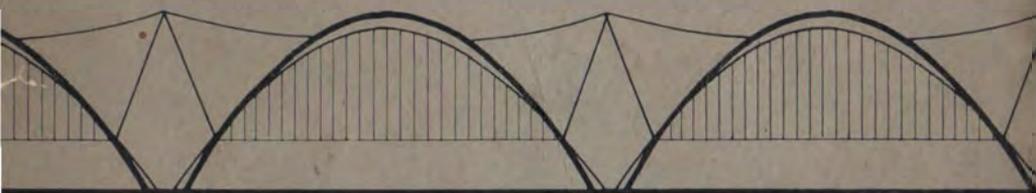


FELIX CANDELA



Félix E. Buschiazzo

Universidad de Buenos Aires

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Instituto de Arte Americano e Investigaciones Estéticas

Instituto de Arte Americano e Investigaciones Estéticas

Marlo J. Buschiazzo
Director

Héctor H. Schonone
Secretario

Félix E. Buschiazzo

Félix Candela

Buenos Aires - 1961

Mi agradecimiento al arquitecto Mario J. Buschiazzo y a Domingo E. Taladriz que, con su colaboración y apoyo, han hecho posible esta publicación.

Félix E. Buschiazzo

Buenos Aires diciembre de 1961.

Su personalidad

La obra de Félix Candela es relativamente conocida en la Argentina a través de las publicaciones que han aparecido en las revistas especializadas, de diez años a esta parte. Hemos podido apreciar diversos edificios, algunos totalmente suyos y otros —los más— en los que Candela ha tenido a su cargo el diseño estructural, a través de ilustraciones parciales acompañadas de un texto por lo general descriptivo y en contadas ocasiones con consideraciones sobre la estructura o el espacio. Pero esto, que las más de las veces es insuficiente para conocer a cualquier autor, se hace más patente en el caso de Candela, pues, de tal modo, ignoramos sus pensamientos, sus investigaciones, sus publicaciones —prácticamente desconocidas aquí— en las que se descubre no sólo una posición definida sino una absoluta coherencia entre esas obras y su forma de pensar. Sus creaciones podrán gustar o no, podrán ser discutidas, pero no hay duda alguna de que responden en forma total, absoluta, a la posición que sostiene en arquitectura.

Desgraciadamente, para los estudiantes y aún para muchos profesionales, Candela es sólo sinónimo de paraboloides hiperbólicos o de formas extravagantes y rebuscadas. Por eso la intención de estas páginas va más allá de un mero presentar las realizaciones de este pionero estructural de América: trataremos

de aclarar la personalidad poco común en nuestros tiempos, de este arquitecto-ingeniero-constructor, que en muchos casos ha debido limitar su intervención a diseñar, o mejor aún, a hacer factibles los proyectos un tanto artificiosos de otros profesionales. Y el resultado en esos casos salta a la vista: el diseño de Candela está tan por encima del resto del proyecto que la obra resulta tan solo una vestidura extraña, en tanto que la estructura sobresale netamente.

He aquí uno de los grandes peligros para la arquitectura de todos los tiempos. Cuando no hay una idea rectora y sólidos principios, cuando los factores función-forma-estructura no están perfectamente integrados no se logra un perfecto hecho arquitectónico. Y así como se ha criticado muchas veces al "funcionalismo" o al "formalismo" arbitrarios, caben las mismas consideraciones para el "estructuralismo" en aquellas obras donde, por adoptarse estructuras injustificadas, todo parece girar alrededor de la misma, como si se hubiese hecho la estructura por la estructura en sí.

Un serio inconveniente para poder juzgar a Candela a través de algunas de sus realizaciones más conocidas es que, habiendo sido hechas en equipo, ha tenido a su cargo el diseño estructural, por lo general tan vigoroso, tan fuerte, tan íntimamente ligado con el resto del proyecto que resulta imposible tratar de delimitar el grado de participación o la influencia que ha tenido con respecto a los demás profesionales intervinientes. Es que no se puede medir a Candela con la misma vara que al resto de los arquitectos, ni creo que sea ésta la forma más adecuada para hacerlo. Pienso que previamente es preciso colocarse en el lugar de este "maestro de obras" de la Edad Media, trasplantado al

siglo veinte y conocer plena e íntimamente su pensamiento.

Algunas de sus obras en el campo religioso, juzgadas desde un punto de vista pura y exclusivamente formal, pueden no satisfacer plenamente, pero es sintomático comprobar cómo al conocer las razones e intenciones por las que fueron hechas, se las encuentra claramente lógicas. Podrán no agradar, pero se las justifica. Es que Candela como teórico, como investigador en el campo de las estructuras convence, apasiona. Sus opiniones son atrevidas, valientes, y siempre sinceras. Y valgan algunos ejemplos:

Interrogado por una periodista acerca de su opinión personal sobre Brasilia termina la entrevista diciendo: **A mi juicio es una ciudad construida con un criterio escandaloso, publicitario, con una serie de estructuras absurdas hechas exclusivamente para llamar la atención. La gente habla tanto y con tanta admiración porque sigue la opinión de lo que le dicen. Y como todos los críticos dicen que eso está muy bien, se siente obligada a creer que está muy bien.**

También en otro momento de la misma entrevista, refiriéndose a su iglesia de la Virgen Milagrosa, a propósito de que gusta a las mujeres pero no a los arquitectos, llega a decir: **Sabe usted, lo que pasa ahora es que se hace pintura para pintores, música para músicos y arquitectura para arquitectos, y nadie se acuerda de la gente.**

Y una última muestra de su franqueza —que bien puedo aplicar a mi caso en estos momentos—: hablando de una conferencia que tuvo que dar en la Sociedad de Arquitectos de México, decía Candela: **Me costó un trabajo espantoso prepararla. Me estu-**

ve cuatro meses dándole vueltas porque nunca había escrito nada. Eso de escribir es una cosa espantosa.

La fama de Candela como renovador, como creador y como constructor de estructuras es universal. Es sin duda una de las figuras contemporáneas de mayor trascendencia. Constituye, junto con Nervi, la proyección actual de una línea de intuitivos estructurales en el hormigón armado, que se inicia a comienzos de siglo con Antonio Gaudí y continúa con Robert Maillart.

Gaudí, el genial catalán, estuvo también interesado por las superficies de paraboloides hiperbólicos al punto de que las utilizó en parte de los techos de la Casa Milá, en una capilla del Parque Güell y en la iglesia de la Sagrada Familia, en Barcelona, con un sentido distinto a como las usa Candela, ligado como estaba a la tradición de la piedra o el ladrillo.

Maillart influyó indirectamente en su carrera, no por sus puentes suizos de magnífico diseño y atrevido concepto estructural, sino porque según palabras del propio Candela **una fotografía de la cáscara de Maillart para la Exposición de Zurich de 1939 me dio una idea de la forma de trabajo real de estas bóvedas.**

Nervi pudo llegar en cierto modo a resultados comunes con Candela en cuanto a lógica y economía, pero con procedimientos y belleza distintos. Utilizando elementos prefabricados, de ferro-cemento, unidos en obra, llega a cubrir enormes luces, muchas veces con superficies de doble curvatura. Pero el paraboloide hiperbólico o sus combinaciones creo que todavía no lo ha usado; sus últimas realiza-

ciones, como el Palacio y el Palacete de los Deportes nos muestran un lenguaje poético del hormigón con una técnica moderna, pero en el fondo se trasluce la clásica cúpula, la del Panteón, la de Santa María de las Flores, o la de San Pedro. No importa cuál; es la gran tradición de la arquitectura italiana que renace paradójicamente a través de la personalidad de un ingeniero.

Sólo el tiempo podrá decir si la obra de Candela está a la altura de la de estas figuras cumbres, pero podemos afirmar sin retaceos que sus creaciones, conocidas ya en el mundo entero, están mostrando la verdadera naturaleza y las posibilidades constructivas del hormigón armado, a la par que abriendo un camino de infinitas búsquedas plásticas que la arquitectura de hoy ciertamente necesita.

Ahora bien, surge una duda con respecto a la inclusión de Candela en esta serie de publicaciones sobre "Arquitectos Americanos Contemporáneos", puesto que, por una parte y según él mismo lo dice, **no se dedica a trabajar como arquitecto**, y por otra, es español de nacimiento y de formación.

En primer lugar cabe aclarar que Candela obtuvo su título en la Escuela Superior de Arquitectura de Madrid en el año 1935. Pero no sólo es arquitecto por ser diplomado, sino fundamentalmente porque siente la arquitectura como concepción y como realización. Lo que ocurre es que el hecho de diseñar y calcular él mismo las estructuras, de tener una empresa de construcciones, lo transforman en un arquitecto que no encaja estrictamente dentro de la tónica general. Todo esto, unido al hecho de que en pocas oportunidades ha podido proyectar desde el comienzo y de que sus realizaciones salen de lo

común, ha influido en Candela para que haya llegado a decir de sí mismo que no trabaja como arquitecto.

Mejicano naturalizado, pero nacido en Madrid, Candela posee una neta formación española. Basta para demostrarlo algo tan común entre nuestros colegas hispanos: su profundo conocimiento matemático y el predominio de la formación técnica sobre la puramente artística. Pero Candela realiza todas sus obras en México y capta perfectamente ese medio tan definido, tan fuerte, del país de más carácter de toda América. Podríamos decir que es un nuevo impacto artístico de España sobre México, realizado a través de una arquitectura novedosa, difícil de enraizar en cualquier parte.

Candela hace lo que debe hacer. No trata de forzar las características de sus creaciones; toma los materiales e inclusive la técnica del medio. En México el hormigón armado es el material de construcción más utilizado por su economía. Candela busca la resistencia de sus cáscaras a través de la forma, no de la masa, reduciendo así al mínimo el uso del hierro. Inclusive, la forma de ejecución responde a los métodos artesanales usuales en un país donde la mano de obra abunda y el grado de desarrollo técnico-industrial no es aún avanzado ni puede pensarse en mecanización o prefabricación.

No se propone buscar "lo mejicano" con intención nacionalista. Sabe que en un medio tan vigoroso, todo lo que se haga tiene que brotar naturalmente por sus puras características mejicanas, sin necesidad de proposiciones apriorísticas. Sirva para aclararlo una definición del propio arquitecto que nos ocupa, cuando fuera interrogado acerca de la influencia prehispánica en la arquitectura mejicana

contemporánea: **Es una tendencia —digamos pintoresquista— que se ha presentado no sólo en México sino en muchos otros países. Se trata de conseguir a la fuerza una expresión nacionalista y hasta regionalista. Las características regionales salen a flote solas, y cuando son deliberadas, son sólo caricaturas: Escorialitos en España, Aztequismo en nuestro medio.**

Candela llega a México en 1939 como refugiado político, luego de la guerra civil, en la que había luchado en un bando mientras su hermano y colaborador Antonio —ironías del destino— lo hiciera en el contrario. Bien sabe Candela cómo es este peculiar modo de ser de los españoles, puesto que dijo: **Cuando nos ponen solos contra el mundo somos capaces de hacer grandes cosas. Pero en cuanto nos juntamos, terminamos peleando.**

Por eso, nada más justo e imparcial que cerrar este esbozo de presentación de la personalidad de Félix Candela con las palabras de Fernando Chueca Goytía en el homenaje que le rindieron los que quedaron en España, ex-compañeros y maestros:

Recordamos bien a Candela en las aulas de la calle de los Estudios, cuando aún estudiante era ya maestro, y no avaro sino desprendido y generoso siempre, ayudando al compañero rezagado, prodigándose en clases, en redacción de apuntes, en consejos y orientaciones. Todo ello sin énfasis, sin suficiencia de número uno y sin alardes de la farragosa ciencia; todo ello con sencillez, no dando importancia a lo que sabe, porque un natural bondadoso impide creerse superior. Sin embargo, aquel compañero cordial y benévolo era ya en germen un futuro genio de las estructuras, cuyo nombre habría de figurar

en la cadena de los Eiffel, Freyssinet, Maillart, Nervi, etc., nombres que no quedarán olvidados como los de sus hermanos, los constructores de las catedrales góticas, con los cuales pueden darse un abrazo espiritual por encima de un abismo de siete siglos. Si alguien merecía este triunfo y esta consagración universales, era por sus talentos y virtudes múltiples, aquel compañero nuestro a cuyo recuerdo se endereza un poco nostálgicamente, nuestro pensamiento.

Sus escritos

Que la Arquitectura es conjunción suprema de arte y de ciencia, de belleza y utilitarismo . . .

Que para cumplir con su misión específica debe contar con estructuras adecuadas . . .

Que toda estructura debe llenar no sólo un fin estático sino estético, si se reconoce que la Arquitectura es algo más que técnica . . .

Todo esto ha sido dicho innumerables veces y sin embargo, a pesar de este lugar común ¿no es extraordinaria la diferencia entre las páginas y páginas dedicadas a la naturaleza del arte en la arquitectura y lo poco que se ha escrito de la naturaleza de la ciencia en la misma? O yendo más lejos quizá, las búsquedas de la arquitectura contemporánea, a pesar de contar con un material nuevo como el hormigón armado ¿no han sido en su mayoría destinadas al aspecto funcional o al aspecto plástico?

Es evidente, como dice Candela, que en esta decadencia del pensamiento estructural **el arquitecto no ha hecho el menor esfuerzo por contribuir al desa-**

rollo de formas estructurales lógicas, suponiendo quizá que tal labor correspondía al ingeniero.

La cuestión es que, a pesar o quizá como consecuencia de esta división artificial del oficio de construir, la ciencia de las estructuras continúa tan incomprendida para la mayoría como lo ha sido durante los últimos siglos. Pero dicha ciencia existe y es mediante su conocimiento que podemos formarnos un esquema mental del verdadero comportamiento de las mismas, aún cuando este esquema dependa más de una serie de factores imponderables y exclusivamente personales tales como experiencia, intuición, capacidad crítica, etc., que del conocimiento de fórmulas y ecuaciones matemáticas.

En la actualidad la mayoría de las estructuras no se diseñan; sólo se calculan o verifican a través de un proceso analítico con métodos matemáticos, cuando en rigor de verdad debiera ser por medio de un proceso sintético de creación, común a las normas de toda concepción artística. Se siguen aplicando en el "diseño" y en toda la ciencia de las estructuras una serie de fórmulas matemáticas basadas en hipótesis, que comenzaron a establecerse en Francia hace más de cien años, en épocas en que todo se medía con la varita mágica del cientificismo. Y aunque se crea a pies juntillas en tales hipótesis, de ninguna manera el cálculo estructural es una ciencia exacta con resultados exactos. Y así con los procedimientos comunes de cálculo, en los que la forma de la estructura y a veces la dimensión son previos, suele llegarse circunstancialmente a justificar con fórmulas y resultados exactísimos a los desatinos estructurales más grandes.

Candela, si bien ha puntualizado todos estos errores en su obra **Hacia una nueva filosofía de las estructuras**, no ha inventado nada nuevo en este aspecto. Es que tampoco pretende inventarlo; su intención es que el proceso de diseño surja naturalmente para así lograr formas arquitectónicas eficientes, económicas y bellas, que respondan a una lógica función soportante.

No se limitó en sus comienzos a observar la sabia lección de las estructuras naturales o a estudiar nuevamente temas que le habían apasionado durante sus años de estudiante, inclusive idiomas para poder entender los artículos que le interesaban. Luego de haber comprendido los primeros ejemplos de estructuras livianas de hormigón hechas en Francia y Alemania y a pesar de las advertencias en contra, ante la posibilidad de su realización en México, con un suelo casi pantanoso y sísmico, se lanza a hacerlas copiando. Pero copiando libremente y tratando de aprender. El mismo lo reconoce: **Nunca he tenido miedo de copiar algo; por el contrario, intenté en un principio copiar todo lo que veía . . . empezando por cáscaras cilíndricas cortas, luego cilíndricas largas y algunas cúpulas, hasta que estuve capacitado para hacerlo yo solo.** Finalmente, apareció el paraboloides hiperbólico y sus innumerables combinaciones, que llevó a posibilidades de expresión podría decirse sin límites dentro de la lógica constructiva.

¿Cuáles fueron los ejemplos que pudieron haber influido en su formación? Por un lado lo que se nos presenta diariamente a través de elementos naturales y manufacturados como modelos de inspiración constante. En este aspecto las cáscaras de huevo, los moluscos, las hojas lanceoladas, las pantallas de luz, la carrocería de los automóviles y has-

ta ciertos implementos del vestuario como los abanicos o los sombreros, son perfectos ejemplos de "resistencia por forma".

Por otra parte, deben haber influido directamente en la obra de Candela los primeros edificios con cubiertas laminares o cáscaras que se levantaron en distintos países de Europa, en Francia y Alemania en un principio, luego Italia y España, durante un período que no alcanza a cuarenta años. Todas estas realizaciones que han de señalar el futuro camino y permanecer como obras cumbres en su tipo, si bien surgen en lo que podría ser un instante en el largo proceso de la historia de las construcciones, fueron en realidad la culminación de casi una centuria de investigaciones previas. Comenzaron en 1821, cuando el matemático francés Cauchy deriva las ecuaciones diferenciales básicas para la Teoría de la Elasticidad. Posteriormente, hacia 1833, otros franceses, Lamé y Clapeyron las aplicaron al primer estudio teórico relativo a las cáscaras.

La utilización directa de las teorías fue posible gracias al desarrollo de un nuevo material monolítico, el hormigón armado, durante el último cuarto del siglo diecinueve. Después, ya en el momento de las realizaciones, comienzan a aparecer trabajos rigurosamente matemáticos por Dischinger, Finsterwalder, Aimond y Laffaille, desarrollando estos dos últimos la teoría de los paraboloides hiperbólicos. En Francia las primeras realizaciones de cubiertas autoportantes en cáscara —el tipo más simple de paraboloides de doble curvatura— fueron los hangares de dirigibles en Orly, hechos por Freyssinet en 1916. En Alemania comienza la aplicación hacia 1922 para la fábrica de la Óptica Carl Zeiss, en Jena, al encargarse cúpulas esféricas de espesor

mínimo y de curvaturas muy exactas para sus planetarios.

Luego surgen figuras como la de Maillart con su único ensayo en el diseño de cáscaras —el desaparecido Hall de la Exposición de Zurich, de 1939—, y el profesor Eduardo Torroja con su inolvidable frontón de Recoletos, en Madrid (aquella doble bóveda cilíndrica que se mantuvo en pie a pesar de los 17 impactos —uno de casi 20 metros cuadrados— ocasionados por los bombardeos durante la guerra civil), el nuevo Hipódromo de Madrid, el Mercado cubierto de Algeciras, etc.

Finalmente cabe mencionar a Pier Luigi Nervi, que ha realizado algunos pocos ejemplos aislados dentro de las construcciones en cáscara puras, pues sus obras más conocidas deben excluirse de este tipo por ser estructuras de características especiales, formadas con elementos prefabricados de ferrocemento, de gran belleza en sí mismos, con los que logra cubrir grandes superficies con espléndidos diseños, tal el conocido Hall de Exposiciones, de Turín.

Candela ha escrito más de veinte artículos, en su mayoría publicados por las revistas especializadas, desde 1950 a la fecha. En todos, relacionados con arquitectura estructural, se advierte el mismo lenguaje y el mismo pensamiento, especialmente en los de planteos generales, como en **Estereo-Estructuras** y **Divagaciones estructurales en torno al estilo**. Abarcan también temas particulares como **Estructuras laminares parabólico-hiperbólicas**, donde además de las descripciones correspondientes aparecen desarrollos analíticos, fórmulas y ecuaciones para el cálculo que ponen en evidencia sus conocimientos matemáticos, que por otra parte tengo entendido que él niega.

En diferentes publicaciones de Candela hay conceptos comunes que emergen constantemente, por considerarlos las soluciones buscadas o los grandes errores de los problemas de la arquitectura contemporánea. Uno de los absurdos que ve Candela en el panorama actual, y quizá el que más combate, es la división de las profesiones relacionadas con el arte de construir, vale decir la de ingeniero y arquitecto, que en la Edad Media constituían una sola con el título de "maestro de obras".

Por supuesto, esto es en el fondo algo así como una justificación subconsciente de su propia y peculiar posición, pero personalmente, si bien estoy de acuerdo, creo que con el desarrollo y los intereses actuales de ambas profesiones está muy lejana la posibilidad de retorno a ese status medieval.

No hay dudas de que ambas carreras eran una misma cosa hasta que prácticamente y por conveniencias de la revolución industrial surge el ingeniero para ocultar la despreocupación del arquitecto en materia estructural. Comienza entonces un divorcio que continúa en la actualidad, en que si bien hay una reconsideración evidente del valor de la estructura para los arquitectos y trabajos de equipo en estrecha colaboración, queda en la mayoría de los casos entre ambas profesiones un espacio vacío, **una especie de tierra de nadie que muy pocos se atreven a pisar con firmeza. Sin embargo, en las contadas ocasiones en que alguien ha tenido el talento o la decisión suficiente para situarse con autoridad y pleno derecho en dicha intermedia—como Maillart y Nervi desde uno de los campos, y Nowicki y a veces Wright desde el otro— los resultados han sido ciertamente tan extraordinarios como para obligarnos a pensar seriamente si no estaba allí, después de todo, la tan perseguida solu-**

cion del problema arquitectónico fundamental de nuestra época.

Esta subdivisión del arte de construir hace que la intervención del ingeniero se limite a "calcular" una estructura con formas determinadas a priori, por causas que no se consideran de su especialidad; sea por estas razones o por seguir utilizando formas, tablas y manuales tradicionales se excluye así toda posibilidad de diseño.

Cálculo y diseño. Otro de los leit-motiv, en que hemos desembocado siguiendo las ideas del mismo Candela, como lo haremos en este capítulo para tratar de reflejar lo más fielmente posible sus escritos. Ambos son dos conceptos, dos procesos diferentes, pues mientras el cálculo es un procedimiento matemático de comprobación, el diseño es un proceso de síntesis en el que el intelecto hace intervenir la experiencia, la intuición y la capacidad creadora.

El cálculo podrá indicar la posibilidad de estabilidad de una construcción pero no se puede pretender creer en resultados exactos o en procesos científicos rigurosos. Se parte de simplificaciones, a veces arbitrarias, sobre las propiedades de los materiales de construcción; se utilizan matemáticas, muchas matemáticas, mas se termina aplicando normas o reglamentos, aceptando hipótesis discutibles o dudosas. Pero precisamente lo que es trabajo o investigación científica es lo opuesto. **Su esencia es la duda constante, la desconfianza permanente de los resultados obtenidos, la eterna persecución de la inasequible realidad.**

Herencia del siglo pasado, las teorías racionalistas, la creencia en lo infalible de los procedimientos matemáticos, hace que en el cálculo estructural se llegue a confundir medio con fin, que el instrumen-

to se vuelva en contra del proyectista, y se rechaza de plano todo lo que no se pueda resolver matemáticamente.

No cabe entonces hacer depender cualquier búsqueda o intento de solución al problema formal, de la posibilidad de que una estructura sea calculada matemáticamente. Si puede serlo, mejor; en caso contrario, tendrán que crearse otros sistemas que no constituyan un impedimento para que en hormigón armado resulte posible el hallazgo de nuevas y adecuadas concepciones.

La forma es otro común denominador en las publicaciones de Candela. Protesta contra el empleo actual del hormigón armado de manera anacrónica y atávica copiando soluciones estructurales particulares del hierro y de la madera, cuyos procesos de obtención conducen fatalmente a la pieza prismática. Justificando con una serie de razonamientos todas las ventajas constructivas que poseen otras formas, va conduciendo hábilmente al lector hacia sus predilectos, los paraboloides hiperbólicos y sus combinaciones. En general se refiere a la cubierta y no menciona específicamente a los entrepisos, dejando de lado el problema de edificios verticales

o de varias plantas, que por otra parte entiendo que aun no ha construido.

El hormigón armado no sirve para trabajar a flexión en secciones de gran masa y considerando la desfavorable relación resistencia-peso que presenta en comparación con otros materiales, nos encontramos prácticamente con que debemos abandonar procedimientos y formas tradicionales cuando se trata de salvar grandes luces.

Nos hallamos ubicados entonces en el campo de

las estructuras laminares (vale decir trabajando con esfuerzos directos, repartidos uniformemente a través del espesor y actuando en el plano tangente a la superficie en cada punto). De aquí en adelante y en sucesivas etapas Candela nos va llevando por estructuras laminares de simple curvatura (para evitar momentos o flexiones transversales); luego por estructuras laminares de doble curvatura no desarrollables (para eliminar arcos de rigidez, posibilidades de pandeo, y dar resistencia al aplastamiento), y finalmente llega a las mismas superficies pero generadas por dos sistemas de líneas rectas (ventajas de encofrado con elementos rectos) o sea formas de paraboloides hiperbólicos. Es claro que, a pesar de sus evidentes preferencias, Candela no pretende encasillar al lector obligándolo a que encuentre la solución en cierto y determinado tipo exclusivamente. Prueba de ello es que él mismo ha utilizado en sus obras diversos sistemas, desde los plegados hasta las cáscaras.

Con el fin de completar el pensamiento de Candela y dada la dificultad de conseguir en nuestro país sus escritos, nos parece conveniente tratar de sintetizar aquéllos más importantes en donde encara temas de carácter general.

De todos, el más interesante por su profundidad y trascendencia es probablemente **Hacia una nueva filosofía de las estructuras**. Esta tesis que diera a conocer en 1951 es en definitiva una crítica a los métodos clásicos del cálculo estructural del hormigón armado y demuestra que dichos métodos y los coeficientes usados resultan en la práctica no sólo conservadores sino ajenos a las características y ventajas del mismo.

Comienza Candela por considerar el papel prepon-

derante de la tecnología o aplicación práctica de la ciencia pura durante el siglo diecinueve y la influencia que trasmite al siglo veinte, especialmente a través del rol preponderante de las matemáticas. Se llega así a olvidar que la precisión de un razonamiento matemático no puede ser siempre garantía de la exactitud de los resultados de su aplicación, pues se parte de un supuesto original arbitrario.

Pero las hipótesis pueden y deben sustituirse por otras más ajustadas a la realidad en cuanto se presenten incongruencias que las convenciones en vigor no pueden explicar. En caso contrario, caemos en una verdadera inercia mental por no prescindir de la comodidad que proporcionan los procedimientos analíticos habituales. Es ciertamente más fácil aplicar los procedimientos corrientes que detenerse a pensar un momento en la certeza de tales métodos. Mas, es sólo a causa de estas preocupaciones, de estas investigaciones en el campo científico que se desarrolla la técnica.

Define luego Candela el análisis estructural como una técnica cuya finalidad es planear y dimensionar estructuras en forma tal que obtengamos una cierta seguridad de que las construcciones han de mantener su estabilidad bajo la acción de las solicitaciones usuales. Esta definición es opuesta al criterio habitual que podría ser expresado así: el análisis estructural es una ciencia exacta que determina de un modo único para cada sistema de cargas las acciones a que cada estructura está sujeta.

La diferencia entre ambas definiciones es más profunda de lo que parece, pues corresponde en realidad a dos diferentes actitudes humanas. La racionalista, característica del siglo diecinueve,

cree en la infalibilidad del proceso científico y los razonamientos matemáticos y produce en consecuencia teorías de elasticidad que no representan verdaderamente las propiedades físicas de los materiales, en su afán de analizarlos desde un punto de vista estrictamente matemático.

Siendo tan grande el número de variables y de incógnitas que intervienen en un cálculo (distribución de las cargas vivas, solicitaciones por efectos secundarios como variaciones de temperatura, contracción de fraguado del hormigón, calidad de materiales y ejecución, etc.), la Resistencia de Materiales debe hacer intervenir la estadística y el cálculo de probabilidades para fijar los coeficientes.

La Teoría de la Elasticidad no da una imagen ni siquiera aproximada de las condiciones de ruptura de los conjuntos estructurales, mientras que en las nuevas teorías de cálculo tienen fundamental importancia las deformaciones de los materiales durante el período plástico o de fluencia pues da origen a la "metástasis" o traspaso de esfuerzos de las partes más solicitadas a las menos.

Según Candela **la principal causa de que las construcciones se mantengan estables es precisamente y aunque parezca paradójico, que los materiales no se ajustan a las hipótesis de cálculo.**

No se objetaría la aplicación de las deducciones de la Teoría de la Elasticidad al cálculo de estructuras, si los materiales con que éstas se construyen respondieran a las hipótesis básicas de la Elasticidad. La Teoría de la Elasticidad se refiere, por ejemplo, a un material ideal, homogéneo e isótropo, que sigue la ley de Hooke mientras que uno de los materiales de construcción más usados, como el hormigón armado, es heterogéneo por definición,

alótropo pues tiene hierro en ciertas zonas y en determinadas direcciones, y además no responde para nada a la ley de Hooke.

En resumen, en la tendencia actual —no muy claramente definida— se da más importancia a la experimentación y observación, considerándose más de cerca la aplicabilidad de las hipótesis básicas. Se tienen en cuenta asimismo las teorías de ruptura, las propiedades plásticas de los materiales y se ha revisto el concepto de coeficientes de seguridad.

Critica el único procedimiento que se utiliza en la práctica para el análisis elástico de estructuras hiperestáticas o sea el método de Cross, pero aclarando que las objeciones se refieren a la idoneidad de los fundamentos del análisis y de ninguna manera al genial instrumento ejecutivo.

Los métodos de análisis de estructuras hiperestáticas se basan en considerar las deformaciones y en su hipotética proporcionalidad con los esfuerzos que resultan de las cargas. **Pero como las deformaciones del concreto armado no pueden conocerse de antemano, puesto que, para una misma sección total de concreto, varían entre otras causas, con la proporción de armadura y con la aparición de grietas, no hay motivo alguno para suponer que los resultados del proceso pueden ofrecernos una representación ni siquiera aproximada de las condiciones reales de trabajo de la estructura y mucho menos de las de ruptura.**

Luego de una serie de consideraciones dice el arquitecto hispano-mejicano que los métodos basados en la Teoría de la Elasticidad no son apropiados para analizar las estructuras hiperestáticas de hormigón armado y expone la forma en que la plasti-

cidad previa a la ruptura coopera a que se utilice ventajosamente la continuidad de las estructuras o sea que se aproveche una de las principales características de este material como es el monolitismo. Aclaremos de paso que la continuidad en los métodos clásicos constituye un inconveniente y no una ventaja, pues complica extraordinariamente el análisis.

Finalmente comprueba con algunos ejemplos sencillos las facilidades sobre los métodos elásticos de las teorías de ruptura, considerando las deformaciones plásticas que sufren los materiales cuando los valores aproximados de las cargas se acercan precisamente al punto de ruptura. Termina diciendo que a su juicio ya es el momento de pensar seriamente en sustituir los procedimientos habituales por otros más lógicos y simples donde intervenga el criterio y el talento del proyectista, teniendo siempre presente la frase de Cross: **lo que necesitamos es una estructura, no un análisis.**

Divagaciones estructurales en torno al estilo no es un artículo puramente técnico o científico; aquí incursiona en campo artístico con un tema peligroso y discutible como lo es este problema.

Se define abiertamente partidario de la búsqueda de un estilo o idioma común en un momento como el actual, de posibilidades inmensas, con materiales apropiados para crear algo original y perdurable, basado en auténticos valores arquitectónicos. Para él, los estilos históricos en sus orígenes responden a procesos de evolución consubstanciales a la naturaleza suntuaria de los estilos mismos, vale decir que a su juicio conservaron algunos caracteres básicos mientras que otros fueron cambiando

con la moda de la época. En la actualidad el problema sería opuesto, ya que se ha roto con todo lo anterior, se han repudiado los medios de expresión heredados y aceptados universalmente. Este fenómeno se ha producido en la historia de la cultura occidental sólo en dos ocasiones anteriores: el estilo griego y el gótico, ambos con origen puramente estructural.

Vé Candela también ciclos evolutivos en ambos estilos, con épocas primero sobrias donde se acusa sinceramente la función; luego, el momento de la ejecución perfecta y el detalle preciso para terminar con las épocas donde la decoración lo invade todo, hasta llegar a trastornar las funciones de los elementos constructivos. Hay a su juicio en la arquitectura griega una evidente trasposición de formas del sistema adintelado de madera al de la piedra, sistema ilógico en este material pero hábilmente desarrollado hasta sus últimas consecuencias.

Los constructores góticos, con ideales comunes y necesidades de orden espiritual, superan las limitaciones del único material permanente que poseen. **Sus estructuras tienen la imponente grandeza, la sensación de equilibrio límite, que presentan los organismos naturales; porque, a falta de la ahora imprescindible ciencia matemática, el proceso de su diseño obedece a los mismos principios de selección natural, de supervivencia que utiliza la naturaleza para crear sus estructuras.**

Entiende que a pesar de haberse logrado desechar los estilos históricos que habían perdido su vigencia e impuesto una revolución arquitectónica con una serie de atributos, le falta desarrollarse sobre bases auténticas de un nuevo simbolismo, o lo que es peor, se ha pretendido imponer normas formales arbitrarias, como por ejemplo lo constituye el caso

de la ventana con su crecimiento desorbitado que tomando toda la fachada, obliga a retirar las columnas al interior del edificio aunque molesten y planteen problemas de orden técnico y climático, para finalmente volver a taparlas con parasoles o cortinas. No pretende hacer la defensa del funcionalismo, doctrina ya superada, pero tampoco admite la posibilidad de llegar a un nuevo academismo o superformalismo, con soluciones ilógicas para un uso cómodo de los edificios.

A falta de una fuerte motivación espiritual, cree que hay algunos factores materiales capaces de generar las expresiones formales de un nuevo simbolismo. Entre éstos el más importante y con posibilidades de crear formas nuevas es el factor estructural. Pero éste no ha entrado aún en forma definitiva, pues a pesar de contarse con un nuevo material como el concreto armado, no se han buscado formas estructuradas apropiadas, sino que se han adoptado éstas por consideraciones de carácter formal. Critica en este sentido a la "planta libre" y a la "fachada libre", como consecuencias de la estructura reticulada, ya que crea formas traspuestas y pertenecientes a la construcción metálica.

Concluye analizando la capacidad de creación de formas de cada uno de los tres valores fundamentales en arquitectura: función, plástica y estructura, descartando al primero, ya superado, y al segundo por la falta de contenido espiritual y universal de la época. Sólo queda a su criterio la estructura, como elemento racional capaz de dar sentido general a las formas expresivas determinantes de un estilo.

Estereoestructuras es un artículo de carácter distinto al anterior, mucho más técnico, en el que

Candela luego de mostrar diferentes tipos de construcciones hasta llegar a los paraboloides hiperbólicos encara las causas de la decadencia del pensamiento estructural.

Aclara que la palabra estereoestructuras —que expresa el concepto de estructura tridimensional en la que se distribuyen los esfuerzos en todas direcciones— la vio utilizada por primera vez en un libro escrito a principios de siglo por su tocayo el arquitecto catalán Félix Cardellac —gran colaborador de Gaudí—, y de nombre y apellido curiosamente parecidos a los suyos.

Establece una primera clasificación de las estructuras en pasivas y activas, independiente del material en que están ejecutadas, considerando sólo la forma de transmisión de cargas según sea directa y sin cambiar la dirección de las mismas o no. Considera Candela que ya sea por limitaciones intelectuales, por rutina o por mimetismo constructivo las estructuras activas comúnmente usadas son reticulares y planas, vale decir formadas por cuadrículas situadas en tres planos perpendiculares entre sí.

Es muy posible que tengamos que seguir utilizando este tipo de estructuras durante muchos años; que no haya otra manera por el momento, de resolver el monótono problema de construcción de bandejas superpuestas que nos hemos planteado, pero, al menos, debemos darnos cuenta de sus defectos básicos, de su antieconomía esencial, para ponernos en camino de encontrar otras soluciones más lógicas. En las estructuras orgánicas de la naturaleza —cuyo proceso de diseño por selección natural, por supervivencia, es mucho más perfecto que el que empleamos los humanos— rara vez aparece el plano, y menos aún, los diedros rectos.

mente apoyada, cargada en su punto medio, el absurdo despilfarro que significa el que en hormigón armado casi las tres cuartas partes del material que se emplea es superfluo y hasta atenta contra la estabilidad de la estructura. Por una parte, si la distribución de esfuerzos en una sección sigue una ley triangular, tendremos que, ya sea en las fibras comprimidas o en las traccionadas, sólo las extremas trabajan a capacidad llena; pero a su vez los esfuerzos máximos en los materiales pétreos que no poseen igual resistencia a tracción y a compresión, no pueden sobrepasar los valores admisibles que corresponden a la menor de dichas resistencias, y de todas maneras en las fibras centrales se desperdicia la capacidad resistente del material. Además debemos considerar que en las secciones los esfuerzos son menores a medida que nos acercamos a los apoyos, ya que los momentos son variables a lo largo de la viga. O sea que sólo las fibras extremas de la sección central están dimensionadas para ser aprovechadas en su integridad.

Debe considerarse asimismo todo el hormigón situado debajo del eje neutro, y que dada la escasa resistencia a tracción, no se incluye en los cálculos. En definitiva, dos terceras partes del material pétreo no sólo se convierten en peso muerto sino que contribuyen a aumentar la sección necesaria a dar a la viga en cuestión y a los elementos que la soportan. Enuncia así Candela un principio económico fundamental como es el de evitar en lo posible, en el hormigón armado, los esfuerzos de flexión eligiendo formas apropiadas. Afirma que la contradicción básica de la construcción contemporánea estriba en que las exigencias de funcionamiento de la mayoría de los edificios parecen precisar de dichos esfuerzos. Permítaseme agregar que si nos referimos a entresijos y no a cubiertas sola-

mente, estas exigencias, como ser la de caminar por planos horizontales, se pueden extender a los edificios de cualquier época.

Pasa luego a analizar el triángulo en el plano y el tetraedro en el espacio, no por recordar el intuitivo principio de la triangulación, sino para resaltar que la economía que proporcionan depende precisamente de haber eliminado esfuerzos de flexión para cargas aplicadas en los nudos. Amplía la idea común de losa, como elemento que resiste por flexión a las cargas normales a su plano, pues considera además su mucha mayor capacidad para resistir las situadas en el suyo propio. Pasa entonces mediante simples cambios de formas, de estructuras planas a estructuras poliédricas, un tipo dentro de las laminares, pero que sólo son estrictamente apropiadas para cargas concentradas en aristas o vértices por presentar flexiones transversales de importancia.

Con cargas repartidas, para eliminar estas flexiones y reducir el espesor de la lámina es necesario curvarla pero introduciendo arcos de rigidez, que para luces y cargas grandes llegan a tener dimensiones considerables. Nuevamente se debe recurrir a la línea curva, pero en el otro sentido, para poder eliminar los arcos de rigidez; pasamos entonces de la lámina cilíndrica a la de doble curvatura, o sea que por forma se suprimen esfuerzos de flexión de la propia lámina y se obtiene la transformación de las fuerzas externas en esfuerzos directos, situados en el mismo plano de la cáscara, llamados también de membrana.

Las estereoestructuras, con sus lejanas antecesoras, las bóvedas sumerias y caldeas, desaparecen en las civilizaciones egipcias y griegas, se desarrollan admirablemente con las combinaciones de cúpulas

bizantinas, las bóvedas de crucería góticas y las composiciones abovedadas del renacimiento y barroco, con sus penetraciones, lunetos y linternas, para desaparecer luego, coincidiendo casi con la aparición del esqueleto metálico en un período que llega prácticamente hasta nuestros días. Según su criterio hay un paralelo entre estas sucesiones cíclicas y los períodos de análisis (búsqueda) y de síntesis (creación) que son característicos en el desarrollo de las ciencias y de cualquier actividad del espíritu humano. A su juicio se está terminando un largo período analítico y se avecina otro de síntesis creadora, felizmente para los arquitectos porque, en ese momento, para **construir es muy posible que no sea necesaria tanta ciencia y sí un poco más de talento.**

Quedaría incompleto este capítulo sobre el pensamiento de Candela en arquitectura y estructura, sin dar a conocer algunos aspectos de **The Shell as a Space Encloser**, otro de sus artículos.

Hay a juicio de Candela diversas causas que han influido e influyen para el relativo desarrollo y uso de cáscaras como envolventes creadoras de espacios arquitectónicos. Una de ellas es la manía de la especialización, que ha llegado a una subdivisión de funciones y responsabilidades en la industria de la construcción. Con tan numerosa cantidad de personas como las que participan en el desarrollo total de una obra, se hacen necesarios planos de detalle de cada forma del edificio, que en el caso de algunas de doble curvatura, imposible de representar en el papel, traen aparejadas tediosas explicaciones y correcciones en el sitio y la presencia constante del propio diseñador. **Es más fácil probablemente y más satisfactorio para muchos de los**

interesados, aunque quizá más costoso, edificar volúmenes cúbicos con esqueletos reticulados.

Otra de las causas probables es la abundancia y calidad de materiales disponibles. A diferencia de la Edad Media en la que los maestros de obra tuvieron que emplear todo su ingenio para luchar contra la escasez de medios resolviendo las maravillosas estructuras góticas, en la actualidad se encuentra una tendencia hacia una pereza mental, característica de toda época de riqueza. Se pide más resistencia a los materiales para no preocuparse por nuevas formas o diseños.

Y la tercera causa es a su juicio el haber dejado el estudio del diseño estructural, ya que los ingenieros se dedicaban prácticamente a calcular en forma mecánica una estructura para los proyectos de los arquitectos, que buscaban algo que interfiriera lo menos posible en la composición gobernada por principios formalistas y seudofuncionales. La raíz de esto estaría en los orígenes de la misma revolución arquitectónica del siglo veinte, que no supo liberarse de vicios clásicos de origen, y no pudo llegar al fondo de la cuestión.

Se impuso la nueva arquitectura en el complejo funcional y especialmente en el formal, aboliendo todas las expresiones decorativas ya en absoluta decadencia, pero en el complejo constructivo no supo aprovechar las posibilidades de los nuevos materiales, permaneciendo intactos los clásicos esqueletos. El mismo Perret, de innegable influencia en los pioneros del llamado Estilo Internacional, era un clasicista, aun en sus nuevas estructuras en hormigón. **Fue una revolución clásica contra un arte clásico.**

Sus obras

Juzgar objetiva y fríamente a Candela arquitecto a través de las obras en las que ha intervenido es prácticamente imposible puesto que en la mayoría de los casos su participación se ha limitado al diseño y al cálculo, o a la construcción de las mismas. Discernir hasta qué punto llega su influencia en obras proyectadas por otros profesionales es harto difícil, máxime si se considera que la estructura o sea el aporte aparente de Candela no es algo agregado al proyecto una vez concebido para que moldeste lo menos posible, independiente de cerramientos y formas. Es por lo general, casi la obra misma, algo íntimamente ligado a los espacios que va creando, a la plástica del edificio, pero que puede a veces ser realizado o desvirtuado con los detalles de terminación, con la carpintería o simplemente con el tratamiento de los muros.

Quizá sea por esta causa que nos encontramos con contradicciones, con algunas obras realizadas coherentemente y otras que, por el contrario, adolecen de falta de unidad. El caso de los Laboratorios Lederle, en México D. F., proyecto del arquitecto Alejandro Prieto, es el típico ejemplo de variedad dentro de la unidad, donde cincuenta y cuatro paraboloides hiperbólicos y catorce cáscaras cilíndricas cubren los diferentes pabellones, dando la tónica general a través de un mismo sentido estructural pero con diferentes formas y dimensiones.

La solución no es tan feliz en las Destilerías Bacardí, en el Estado de Puebla, proyecto de los arquitectos Mestre y de la Colina, donde la variedad de formas y el amontonamiento de volúmenes produce una impresión un tanto caótica. Tampoco lo es en algún abrigo sobre una plataforma de descarga,

donde pese a todo el alarde estructural que representan los voladizos, predomina una sensación de no haberse ligado al conjunto, resultando un añadido evidente.

Las únicas obras que pueden ser consideradas de Candela en su totalidad son la iglesia de la Virgen Milagrosa, en México D. F., y una serie de bodegas y fábricas hechas según proyecto del propio Candela, sin ninguna pretensión estética, pero que son probablemente por su misma simplicidad sus mejores aciertos. Aquí, en el campo de la arquitectura industrial, es donde alcanzan los mayores valores sus creaciones, con una limpieza de planta, una iluminación adecuada y un lenguaje estructural y formal sobriamente expresivos.

Un aspecto discutible es que muchos de sus edificios son, una vez terminados, simples cajas de ladrillo y hormigón que ocultan las "estereoestructuras", visibles al exterior tan sólo durante su construcción. Esto evidentemente no está muy de acuerdo con sus escritos en los que se manifiesta en contra de la realización de volúmenes prismáticos, del cubismo en la arquitectura. Tan opuesta es su tendencia que su propia casa, hecha hace pocos años, es **una casa blanca con ventanas como las que se han hecho siempre a lo largo del Mediterráneo** y que dicho sea de paso, tampoco tiene cubierta de cáscara. Quizá esto sea lógico por aquello de que "en casa de herrero . . .".

En general todas sus obras llevan la "marca de fábrica", a pesar de ser formalmente distintas. Inclusive en aquéllas en que ha intervenido como diseñador y que a él mismo no le agradan, se advierte su intervención, ya sea por la audacia de sus cubiertas, por su liviandad, por la forma en que vuelan o por su tipo estructural. Y esto es una ten-

dencia común a la arquitectura mejicana, prehispánica y colonial, y especialmente a la arquitectura española de todos los tiempos, inclusive de sus edificios actuales, que a pesar de la internacionalización de lo contemporáneo, y aparte del hecho de que gusten o no, son por sus características formales genuinamente mejicanos o españoles.

Otro rasgo característico de sus realizaciones, fundamental en nuestra época y que Candela conoce perfectamente como constructor, es la economía en la estructura. Con pequeños espesores y mano de obra barata, ha llegado a conseguir, no obstante el mayor desarrollo de superficie de todas las formas de doble curvatura, un costo menor que con cualquiera de los sistemas tradicionales y habituales. Costo que podrá reducirse más cuando se perfeccione el sistema de encofrado —que demanda madera en abundancia— y determinación de las cubiertas, que por su poco espesor, sus pendientes y frecuentes concavidades, necesitan aislaciones abundantes y de calidad. En este último aspecto sucede lamentablemente algo similar a lo que ocurría con los cimientos de las catedrales góticas, y es que la gente no quiere gastar en algo que no se vé, originando muchas veces filtraciones y problemas de conservación constantes, que se traducen posteriormente en una economía relativa.

Antes de comenzar con el análisis de sus obras corresponde una aclaración. Se ha dicho que en Candela se impone el ingeniero sobre el arquitecto; que sus edificios con excitantes estructuras se transforman en obras comunes cuando se terminan, agregándoles los cerramientos de ladrillo y piedra. Considero que, a pesar de que desde un punto de vista estético exclusivamente pueden no satisfacer sus realizaciones y en especial los exteriores, no

debe insistirse en desdoblarse una personalidad midiendo cuantitativa y cualitativamente al ingeniero, al arquitecto y al constructor, cuando precisamente uno de sus mayores méritos es reunir todas esas facetas.

Las obras que Candela ha construido o en las que ha tenido alguna participación abarcan prácticamente en sus cubiertas la mayoría de las estructuras clasificadas dentro del vasto campo de las láminas: plegadas o sea láminas planas, cilíndricas largas y cortas entre las de simple curvatura; bóvedas de traslación de doble curvatura, paraboloides hiperbólicos y conoides entre las superficies regladas, etc. Estas últimas, por las ventajas de su generación recta y en consecuencia fácil encofrado, las ha utilizado en múltiples e innumerables combinaciones (variaciones sobre un mismo tema) partiendo del simple y conocido paraguas, desarrollado extensamente a través de soluciones ingeniosas de insospechadas posibilidades formales.

Esta variedad de tipos estructurales ha sido usada con preferencia en edificios industriales, bodegas y fábricas, y también en otros del más diverso destino como iglesias, capillas, clubs, restaurantes, mercados, etc., y hasta en algunos de carácter puramente ornamental como fuentes o entradas.

Pero es tan solo en 1950, después de diez años de actividad profesional en México, cuando Candela comienza a ser conocido en su país y en el extranjero a raíz de realizar el diseño estructural del Pabellón de Rayos Cósmicos en la Ciudad Universitaria. Luego de haber trabajado en sus comienzos como dibujante y como arquitecto empleado en el estudio de otros profesionales, y posteriormente por su cuenta realizando obras comunes y

tres estructuras laminares, es llamado a colaborar por el arquitecto González Reyna. Este había sido encargado de proyectar el referido Pabellón y se encontraba ante el problema de solucionar la posibilidad de captación de radiaciones espaciales por un pequeño aparato en un ambiente de reducidas dimensiones, pero que contara con una cubierta tan delgada que prácticamente no ofreciera resistencia a los rayos cósmicos.

A este pedido responde Candela con una estructura de doble curvatura formada por dos paraboloides hiperbólicos, muy similar formalmente a una silla de montar, acoplados longitudinalmente y rigidizados entre tres arcos también de hormigón armado. Se resolvió la cimbra mediante viguetas rectas y tablas machimbradas dirigidas respectivamente a lo largo de cada sistema de generatrices, demostrando que a pesar de ser imposible desde el punto de vista teórico, en la práctica es factible formar una superficie no desarrollable con un encofrado de elementos rectos, si se admite que éstos se pueden curvar ligeramente en algunos sitios.

La armadura, dispuesta a lo largo de las parábolas principales, resultó una malla delgadísima cada diez centímetros y el hormigón fue colocado a mano y luego vibrado. El resultado final fue una cáscara de un espesor en el centro de un centímetro y medio que va aumentando suavemente hasta llegar a los cinco centímetros en los bordes o sea la cubierta más delgada que se haya construido en hormigón armado. Desgraciadamente, por razones de espacio no se ha podido ilustrar este ejemplo con el material gráfico correspondiente, pero por los hechos señalados consideramos su mención de verdadera importancia.

Luego de esto Candela pasa a ser el consultor obli-

gado para toda estructura laminar que se construye en México, que por cierto son numerosísimas, al punto de ser el país donde más se han hecho. Su labor de asesor trasciende fronteras y es solicitada su colaboración desde Guatemala, Venezuela, Cuba, Puerto Rico y Perú. En los Estados Unidos interviene como consultor de varias obras, la mayoría en Dallas, e inclusive una iglesia en Oklahoma es proyecto suyo.

Las realizaciones en las que ha participado parcial o totalmente son innumerables; escapan virtualmente a las posibilidades de esta publicación. Por esta causa para las ilustraciones se ha optado por evitar una visión panorámica y superficial de todas ellas, seleccionando en cambio varios ejemplos que permiten mostrar con mayor profundidad diferentes soluciones estructurales y formales de un mismo problema de temática funcional. Se ha pretendido enfatizar esa profundidad en los planos de detalle, pues el propio Candela confiesa estar convencido de que **el éxito de la mayor parte de mis obras depende principalmente del detalle en el modelado de las patas o apoyos y en la discreción con que están dispuestos los refuerzos, es decir, en algo que no tiene mucho que ver con la forma general del cascarón en sí o con su cálculo. Puesto que para la elección de estos detalles hay siempre muchas posibilidades igualmente satisfactorias desde el punto de vista estático, volvemos a mi vieja afirmación de que el diseño estructural tiene mucho más de arte que de ciencia . . .**

La temática religiosa ha sido siempre propicia para estudiar a través de los distintos ejemplos de cada época la historia misma de la arquitectura. Proyectar una iglesia es sin duda uno de los problemas

más arduos en la materia; constituye una verdadera arma de dos filos que, en muchos casos, ha servido para encumbrar arquitectos ignorados hasta ese momento.

El complejo funcional es por lo general sencillo, perfectamente definido y conocido tradicionalmente. Pero precisamente ese mismo factor tradicional, ha impuesto en la mayoría de la gente una idea fuertemente preconcebida de cómo debe ser una iglesia. Siendo tan simples las funciones, la íntima relación construcción-forma pasa a ser el motivo preponderante en la composición, o sea que esencialmente el logro del ambiente interior acorde con el culto y el recogimiento puede lograrse permitiendo que la estructura pura se desarrolle en forma de ser el verdadero medio expresivo del edificio. En la iglesia de la Virgen Milagrosa, en México D. F., proyecto de Félix Candela (1952) se nota evidentemente una búsqueda formal a través de un tipo estructural nuevo, una supeditación casi total de la composición al encuentro de un espacio interior atrayente. El proyecto fue desarrollado íntegramente, incluso los dibujos preliminares, en sólo dos semanas, y "a sentimiento", pues fue calculado con posterioridad.

Se encuentra situada en un barrio residencial de viviendas de poca altura y en un terreno relativamente chico; ha debido resolverse casi entre muros medianeros, y su emplazamiento, a pesar de ser una esquina, hace añorar las catedrales góticas inglesas en medio de la campiña o las plazas medievales que daban, sino una perspectiva, por lo menos un marco adecuado al conjunto.

El exterior no presenta mayor interés; resulta un poco duro, geometrizado excesivamente. Ejemplo de ello es la cantidad de triángulos diferentes

superpuestos en la unión de los confesonarios con la nave lateral. Los detalles de terminación del triángulo de la fachada principal nos muestra una serie de líneas entrecruzadas y unas bandas que le restan belleza; el campanario ha sido cuestionado bastante por el propio Candela debido al agregado de una sección intermedia, introducida en obra para lograr mayor altura, que le quita unidad con el conjunto.

La planta puede sorprender por el hecho de no haberse intentado un espacio único de mejores visuales, pero es evidente que el planteo de nave principal y laterales responde a un propósito definido. **La iglesia de la Virgen Milagrosa tiene una planta tradicional. No considero lícito tratar de buscar originalidad a base de retorcer algo que durante siglos de experiencia ha demostrado cumplir satisfactoriamente con las exigencias del culto.** Pero esta planta tan simple, y aún el exterior, que podrían sugerir un intento de resolución con las bóvedas por arista tradicionales, un tanto apretadas y apoyadas en tierra, permiten adivinar un nuevo sistema constructivo pero no trasuntan el sorprendente y dramático espacio interior, el objetivo principal de Candela en una iglesia **concebida de adentro hacia afuera.**

Constructivamente ha sido resuelta en hormigón armado con una forma de la que dependen conjuntamente la función estructural y la expresión interna. Esta forma es una combinación de láminas de cuatro centímetros de espesor —el mínimo por razones constructivas— cuya superficie geométrica es, en todas ellas, el paraboloides hiperbólico. Superficies alabeadas se ven también en el campanario y sobre todo en las columnas o mejor dicho quizá, en las prolongaciones de las cáscaras que alcanzan

el suelo. Esta continuidad plástica entre soporte y cubierta está espléndidamente lograda, acentuando aún más el sentido unitario de la composición, dando verdadera fluidez al espacio interno.

Los paraboloides hiperbólicos que constituyen todas las superficies de la iglesia tienen tan poco peso que la armadura es usada principalmente para mantener el hormigón durante el período de fragüe y evitar fisuras.

Los volúmenes interiores, verdaderas esculturas tratadas con carácter arquitectónico y para algunos críticos muy cerca del expresionismo, definen un espacio sugestivo, diríase de una mística especial, rodeado de un complejo de formas dinámicas, simple presencia de una estructura que no sólo se puede adivinar sino que se acusa, que se puede tocar y aún se puede llegar a sentir.

Interiormente tiene también la iglesia un sentido de verticalismo, no tan acentuado como en las catedrales góticas; diríase que está más en escala humana por las bóvedas situadas delante de la capilla, las de las naves laterales o la entrada, más bajas que conducen a un ámbito central, pero en donde también la cubierta comienza a elevarse casi sobre la altura del hombre.

La continuidad estructural de la cubierta entre nave principal y laterales no permite la ansiada solución medieval de iluminar por diferencia de alturas, pero la luz puede penetrar abundantemente a través de grandes vitrales en ambas fachadas del crucero y del narthex, o por las aberturas sobre las naves laterales y por encima de los confesonarios. La gran flecha de los paraboloides hiperbólicos ayuda a crear un juego de luces y sombras violentas, casi sin penumbras intermedias, que dramatizan aún

más el espacio interior de esta creación en la que Candela ha podido expresar sus conocimientos estructurales y su sensibilidad estética.

Interviene también como colaborador del arquitecto Enrique de la Mora para la capilla de San Vicente de Paul (1959) en Coyoacán, un barrio de México D. F. Encontramos aquí, como en los diferentes ejemplos que presentaremos hasta llegar a la arquitectura industrial, al asesor estructural y al constructor, no al proyectista. No es de extrañar en consecuencia algunas diferencias de criterio, comparando con el planteo de la Milagrosa.

Emplazada en un medio totalmente distinto, adosada a un cuerpo bajo que lo vincula sin mucha unidad con el colegio, está rodeada de una espléndida vegetación que le brinda marco apropiado y hacia el cual se abre con amplios ventanales. Por tratarse de una capilla de dimensiones medianas ha sido posible su resolución como un espacio único de planta central, con una cripta en nivel inferior. Es aproximadamente un triángulo equilátero con el altar en el centro y tres alas para los fieles, planteo no muy frecuente pero tradicional en la arquitectura religiosa.

La estructura es limpia y clara, no desvirtuada por el cerramiento en ningún momento. Está formada por tres cáscaras de paraboloides hiperbólicos con un espesor de 4 cm., desarrollados sobre el mencionado plan triangular. La separación entre los tres está perfectamente acusada por medio de una abertura que corre desde el apoyo hasta la cúspide. La armadura es una malla cada 10 cm., que sigue las curvas principales, colocada sobre un encofrado realizado con elementos rectos.

La forma es de una liviandad extraordinaria; da la sensación de volar sobre el terreno en el que se apoya a través de fuertes soportes. Exteriormente podría llegar a semejar la toca de una monja y es interesante destacar cómo ese espacio interior que tiende a escaparse constantemente hacia arriba y hacia los costados, es consecuencia solamente de una estructura, que ha mantenido durante la construcción y hasta la terminación del edificio sus fuertes valores expresivos.

De idéntica concepción estructural y aún formal a San Vicente de Paul, aunque de planta distinta, es la iglesia de San José Obrero, en Monterrey (1959), también proyecto del arquitecto Enrique de la Mora. La diferencia no estriba tanto en el hecho de que sea romboidal en vez de triangular, sino en que aquí se ha abandonado la planta central para resolver los problemas derivados del culto religioso. Surge de inmediato un interrogante: ¿Es válido o lógico acentuar con las formas y con la iluminación una zona central que no coincide con el altar, foco principal de la liturgia? ¿Hay realmente unidad entre la concepción y la función?

La estructura está formada por dos paraboloides hiperbólicos —las ya clásicas monturas— ligados entre sí por una serie de tensores de 25 mm. formando una banda, que vuelan 30 m. hacia cada lado, con espesores de 4 cm. por razones constructivas (diámetros de hierros y recubrimientos), pues estáticamente podría ser más delgada la cáscara. Los hierros tienen un diámetro de 9,5 mm. espaciados cada 0,25 m. Los dos pórticos o marcos en forma de V inclinada, que separan ambos paraboloides hiperbólicos, nacen en bases comunes a

cada lado del eje menor del rombo, unidos entre sí por un tensor.

Los elementos de borde, encargados de transmitir a los apoyos las tensiones de tracción y compresión que se producen en la cáscara, son acusados sobresaliendo netamente al exterior. Debajo de los mismos se encuentran los esbeltos puntales verticales que contribuyen a dar rigidez al cerramiento vidriado, a la par que evitan el volcamiento cuando la estructura está sometida a cargas asimétricas.

Dejando de lado los detalles criticados, y aun considerándolos, es innegable el aporte de esta tentativa que abre caminos, y la audacia de su solución constructiva y formal.

La actuación de Candela se desarrolla también en una temática poco frecuente, que escapa de los límites de la arquitectura y entra prácticamente en el campo escultórico. Trátase de una serie de motivos de carácter ornamental, en los que el factor utilitario no cuenta y que constituyen un verdadero mosaico de formas en el espacio, las más de las veces sensacionalistas.

Deben considerarse estas realizaciones por lo tanto desde un punto de vista estructural exclusivamente, pues la colaboración de Candela se limita, en varios de estos ejemplos, a posibilitar su ejecución, y a lograr grandes luces con formas laminares de pequeño espesor pero ciñéndose a las intenciones de los proyectistas, tan extravagantes en algunos casos que llegan a constituir un ejemplo perfecto de lo que no debe hacerse.

Una de las más sobrias, quizá por tener que cumplir con una función arquitectónica (un tanto limi-

tada pero función al fin) es la cubierta para un pabellón de ejecuciones musicales al aire libre, en la Unidad de Habitación Santa Fe, México D. F. En un barrio nuevo de viviendas económicas del Instituto Mexicano del Seguro Social, y ante los deseos del proyectista arquitecto Mario Pani, quien deseaba algo espectacular, Candela construye una cubierta que puede parecer complicada a primera vista, pero que es simplemente un triple voladizo formado por seis paraboloides hiperbólicos acoplados, que parten de una base común muy pesada para compensar los 12 m. volados. Los paraboloides que comienzan en la base según una línea vertical y terminan en un borde horizontal, poseen un espesor de 4 cm. y al no acusarse refuerzos ni vigas, presentan su superficie inferior sin interrupciones.

La estructura que combinada con fuentes forma el grupo ornamental central de la Plaza de los Abanicos, en una zona residencial de las afueras de Cuernavaca, fue realizada en 1958 según proyecto de los arquitectos Guillermo Rossell y Manuel La Rosa, con cálculo de Candela. Es también una combinación de paraboloides hiperbólicos que con tres puntos bajos de apoyo y tres puntos altos, vinculados entre sí, rematan abriéndose en otros tantos abanicos plegados. Formalmente nada más explícito que la frase del propio Candela: **el resultado es un poco surrealista quizá.**

El mismo equipo de proyectistas había realizado en 1957 el pórtico de entrada a un fraccionamiento junto al lago Tequesquitengo. En base a los mismos elementos, partiendo esta vez de dos puntos de apoyo centrales vinculados por tensores, se elevan hacia cada lado dos vigas que convergen y se abren finalmente rematando en un doble voladizo de 4 cm. de espesor, con 32 m. de luz entre ambos

extremos. Pero esta vez las formas se dramatizan al comenzar levantándose en elementos que se destacan aislados en el espacio para terminar como dos verdaderas alas de un ave mecánica.

La nómina de obras en que ha colaborado Candela cuenta también con la realización de diversos clubes, cabarets y restaurantes, vale decir otra temática diferente a las analizadas hasta el momento. Se presentan en estas páginas dos ejemplos de ellas: el cabaret La Jacaranda, en Acapulco (1957), proyecto del arquitecto Juan Sordo Madaleno, y el restaurante Los Manantiales, en Xochimilco (1957), del arquitecto Joaquín Álvarez Ordoñez, de muy similar concepción ambos, y sobre todo con magníficos emplazamientos.

La Jacaranda, rodeada de una exuberante vegetación, de agua y rocas, volando casi por encima de ellas, avanza atrevidamente sobre el vacío, contrastando sus suaves líneas curvas con la masa cúbica situada a su lado, que la hace parecer aún más acogedora, más en escala. La cubierta llega directamente a tierra a través de tres apoyos vinculados entre sí por tensores; tiene un espesor de 4 cm. con malla de fierros cada 10 cm. con refuerzos en valles, cimas y bordes. Combinación de tres cáscaras con líneas de intersección acusadas y que se juntan en el centro geométrico, punto común y más alto de la composición, participa del maravilloso espectáculo del medio natural en que está emplazada merced a su forma particular de elevarse y abrirse hacia afuera, logrando la tan buscada comunión exterior-interior de la arquitectura actual. Los Manantiales, más divulgada por las revistas

especializadas, es para Candela, en materia estructural, su obra de mayor significación hasta hoy, resultado final de un trabajo de investigación y perfeccionamiento. Consigue aquí eliminar las vigas de borde, liberar en cierto sentido a las cáscaras con una estructura simétrica que admite elementos de rigidez capaces de absorber cargas no equilibradas. No es ésta la única sutileza constructiva. Hay otras, que se observan en los cortes y fotografías, como el detalle de los apoyos, especie de espiones que son una prolongación a tierra de los refuerzos situados en las concavidades y sin acuosarse interiormente, pero que al exterior se expresan vigorosos al par que diferenciándose netamente de la cubierta que no llega en consecuencia a tocar el suelo, cual si se hubiera querido acentuar su liviandad haciéndola aparecer como despegada, flotando en la atmósfera.

El entorno natural realza el conjunto. Su ubicación es espléndida, ya que se halla situada sobre una plataforma o terraza en el canal principal de los jardines flotantes de Xochimilco, en un ambiente donde predominan los colores vivos de los árboles y las flores, aparentemente motivo de inspiración de Candela y reflejado en la forma resultante.

La estructura de la cáscara del salón principal, con capacidad para 1.000 personas, estrictamente simétrica, es una bóveda de arista octogonal formada por el encuentro de cuatro paraboloides hiperbólicos o sea de generación recta y doble curvatura. Los bordes de las cáscaras resultan del corte de la superficie con planos inclinados que generan un perímetro continuo de hipérbolas. Las aristas, de sección en V que va achatándose hacia la cima, trabajan como arcos de tres articulaciones.

Los cimientos correspondientes a los ocho apoyos

son "paraguas" invertidos que toman las cargas verticales, mientras que los empujes laterales son absorbidos por un tensor perimetral. El cerramiento totalmente vidriado e igual para todas las orientaciones, si bien no desvirtúa la estructura no coincide con la misma; aparece un poco forzado. Pintado de negro con algunos paños en rojo, disminuye la sobriedad general del interior con su cielorrasa blanco y piso granítico gris.

Candela logra así a través de un lenguaje estructural común a todas sus obras, otra forma de expresión. Aquí el interior es más transparente, diríase más refinado y vuelca al exterior algo ya visto en sus edificios religiosos, a través de efectos por contraste de superficies cóncavas y convexas y por juegos de luces y sombras.

Quedaría incompleto este panorama si no mencionáramos sus realizaciones en el campo de la arquitectura industrial, no sólo por la enorme cantidad de obras ejecutadas sino por ser precisamente estos temas, en nuestra modesta opinión, sus mejores logros.

Distintos tipos de bodegas y fábricas tienen en Candela diferentes respuestas formales y estructurales. Arquitectura modesta, simple, funcional en el verdadero sentido de la palabra y económica, hecha sin alardes ni pretensiones. Precisamente por esta razón soluciona un problema típico de este siglo veinte, con expresiones lógicas, fáciles de calcular y todas ellas con su sello característico.

Dentro de la variada gama de estructuras que utiliza, las más comunes son variaciones sobre el tema del "paraguas", vale decir, los cuatro paralelogramos alabeados con columna central, que permiten

lograr plantas despejadas, flexibles y bien iluminadas. La luz puede penetrar a través de vidrieras continuas, en el caso de techos a diente de sierra, o por los cuatro costados o por elementos vidriados adicionales distribuidos convenientemente en la cubierta.

Dos de sus ejemplos más representativos y de diferente concepción son sin duda la Embotelladora Bacardí y el Edificio Industrial Bacardí, ambos de 1959, proyectos íntegramente suyos-

El primero, parecido al aeropuerto de St. Louis, de Yamasaki, Hellmuth y Leinweber, cubre un espacio de 26 m. por 78 m. sin columnas interiores, merced a tres cáscaras en forma de bóvedas de arista de perfil parabólico. La iluminación es plena a través de los grandes ventanales de su perímetro y de las bandas vidriadas en la cubierta que diferencian netamente cada unidad estructural.

El segundo, con su simplicidad, el clásico "paraguas", la iluminación superior permitida por la cubierta en diente de sierra, y la generación recta, nos presenta el tipo de estructura laminar en hormigón armado que, gracias al aporte de Candela, es el más difundido y utilizado en la arquitectura contemporánea americana.

Creo que una de las cualidades más interesantes de la inteligencia humana es la habilidad para poner en claro un tema, para simplificarlo. Al enfrentarse a un problema, debe descartarse todo lo que se considera innecesario y superfluo, para quedarse sólo con lo esencial. Cuando se puede ver la esencia, todo se vuelve fácil.

Bibliografía

Félix Candela, **Divagaciones estructurales en torno al estilo**, Espacios, nº 15, México, mayo 1953.

Félix Candela, **Estereoestructuras**, Espacios, nº 17, México, septiembre 1953.

Félix Candela, **The Shell as a Space Encloser**, Arts and Architecture, Nueva York, enero 1955.

Félix Candela, **Estructuras laminares parabólico-hiperbólicas**, Informes de la Construcción, nº 76, Madrid, diciembre 1955.

Félix Candela, **Toward a New Structure**, Architectural Forum, Nueva York, febrero 1956.

Félix Candela, **Les Voutes Mincees et l'Espace Architectural**, L'Architecture d'Aujourd'hui, nº 64, París, marzo 1956.

Félix Candela, **Iglesia de la Virgen Milagrosa**, Informes de la Construcción, nº 86, Madrid, diciembre 1956.

Félix Candela, **Understanding the Hyperbolic Paraboloid**, Architectural Record, Nueva York, julio y agosto 1958.

Félix Candela, **Struttura e Strutturalismo**, Casabella, nº 232, Milán, octubre 1959.

Félix Candela, **Hacia una nueva filosofía de las estructuras**, Cuadernos de Arquitectura, nº 2, México, julio 1961.

Reyner Banham, **Simplified Vaulting Practice**, Architectural Review, Londres, septiembre 1953.

From Shell Concrete Today, Architectural Forum, Nueva York, agosto 1954.

The Work of Félix Candela, Progressive Architecture, Nueva York, julio 1955.

E. Y. Galantay, **Les Voiles Minces et la Couverture Autopor-tante**, L'Architecture d'Aujourd'hui, nº 64, París, marzo 1956.

Colin Faber, **Félix Candela as a Contemporary**, Arts and Archi-tecture, Nueva York, mayo 1956.

Breve Documentario di Félix Candela, Domus, nº 319, Milán, Junio 1956.

Cittate di Luce e di Cemento, L'Architettura, nº 8, junio 1956.

Manfredi Nicoletti, **Profilo di un Architetto Americano**, L'Archi-tettura, nº 16, febrero 1957.

Esther Mc Coy, **Concrete Shell Forms-Félix Candela**, Arts and Architecture, Nueva York, mayo 1957.

Félix Candela, L'Architecture d'Aujourd'hui, nº 13, París, junio 1957.

Lederle Laboratories - México D. F., Progressive Architecture, Nueva York, septiembre 1957.

Recent Work of Félix Candela, Progressive Architecture, Nueva York, febrero 1959.

Betty Campbell, **Félix Candela**, Concrete Quarterly, nº 42, Lon-dres, julio-septiembre 1959.

Elena Poniatawska, **Candela**, México en la Cultura, nº 636 y nº 637, México, 22 y 29 de mayo 1961.

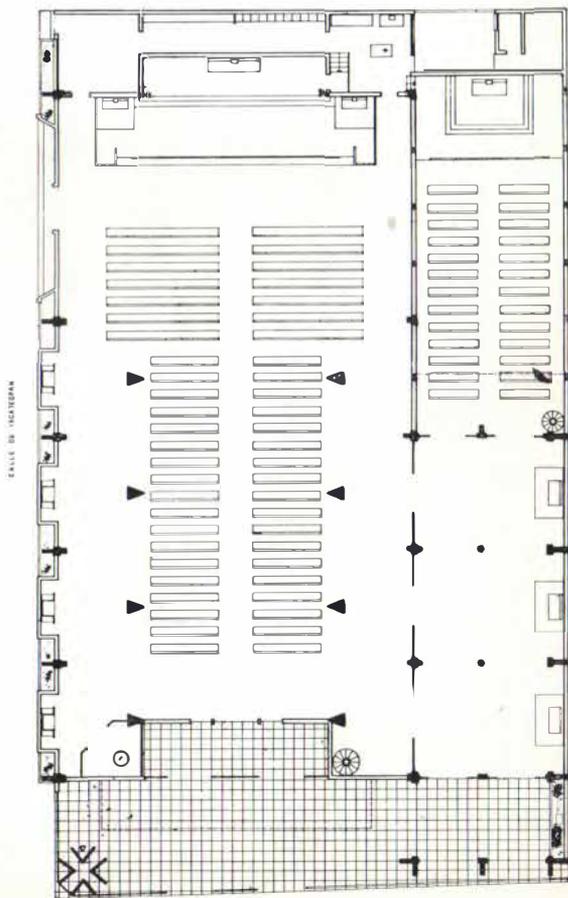
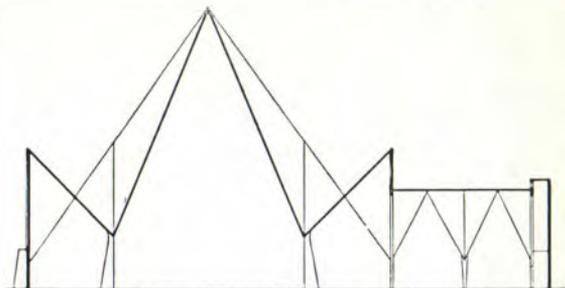
Cranston Jones, **Architecture Today and Tomorrow**, Nueva York, 1961.

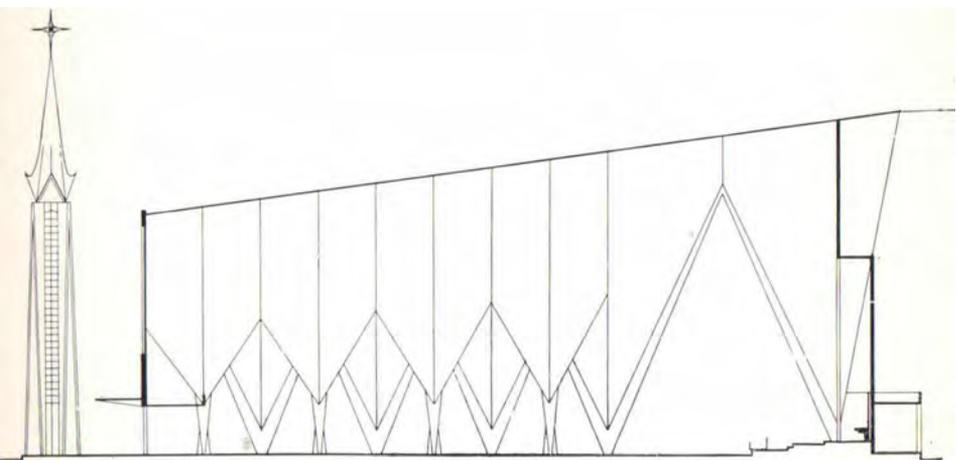
Garten-Restaurant in Xochimilco - Kirche San José Obrero in Monterrey, Bauen und Wohnen, nº 11, Zürich, noviembre 1961.

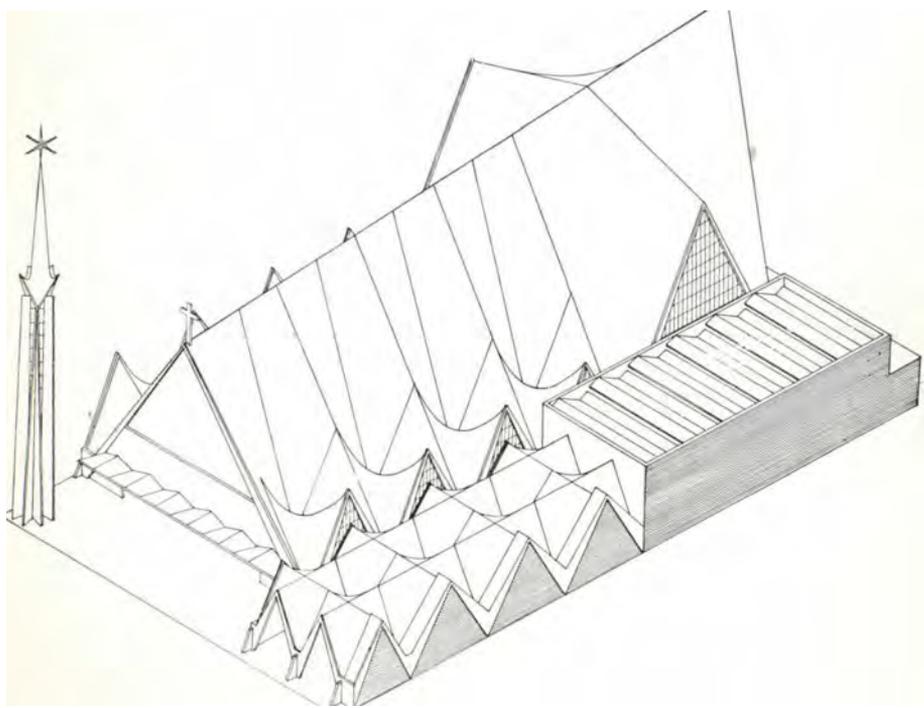
Ilustraciones

Iglesia de la Virgen Milagrosa

México D. F., 1952.



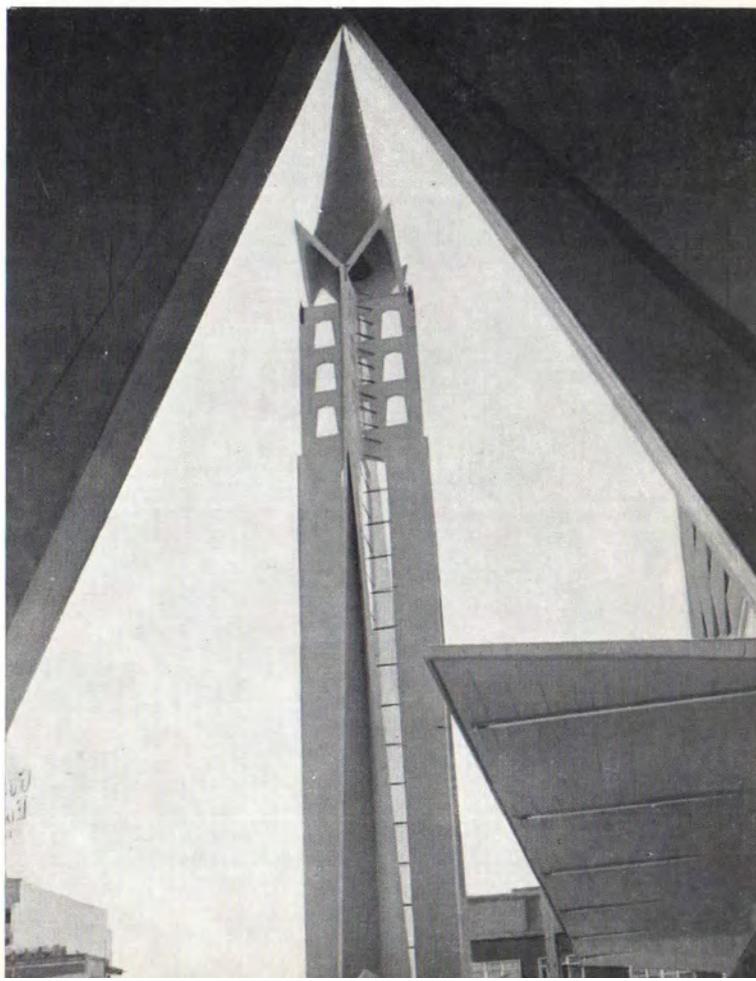






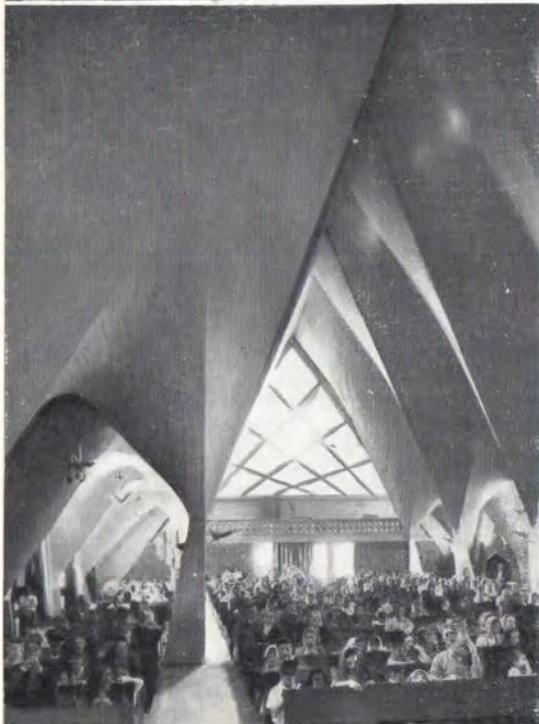










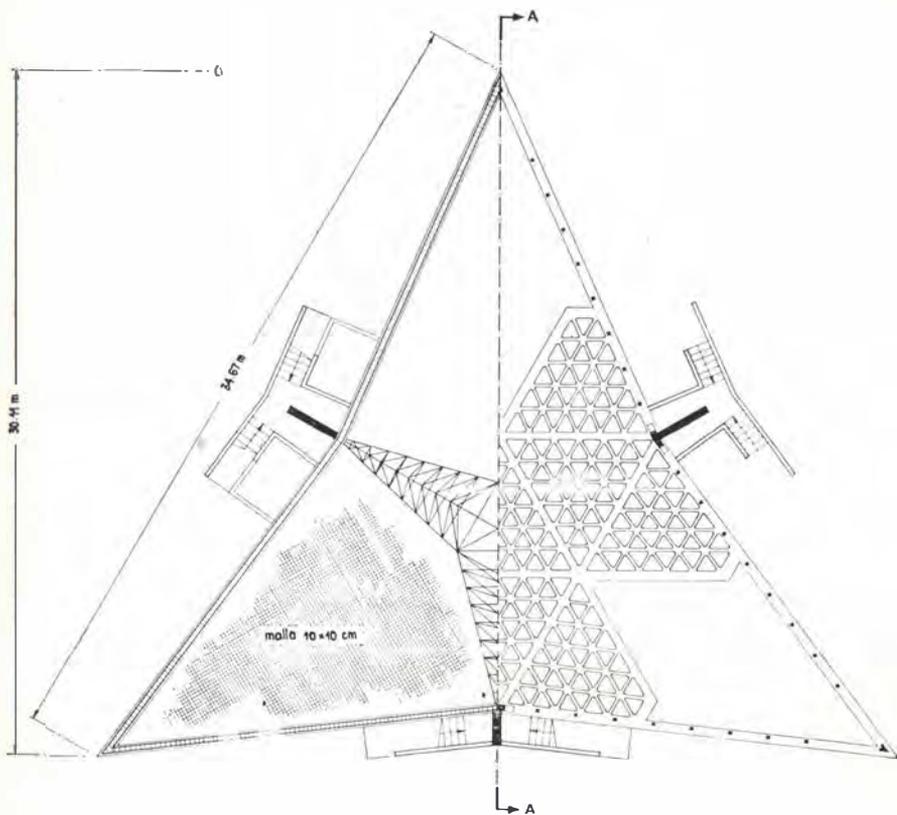


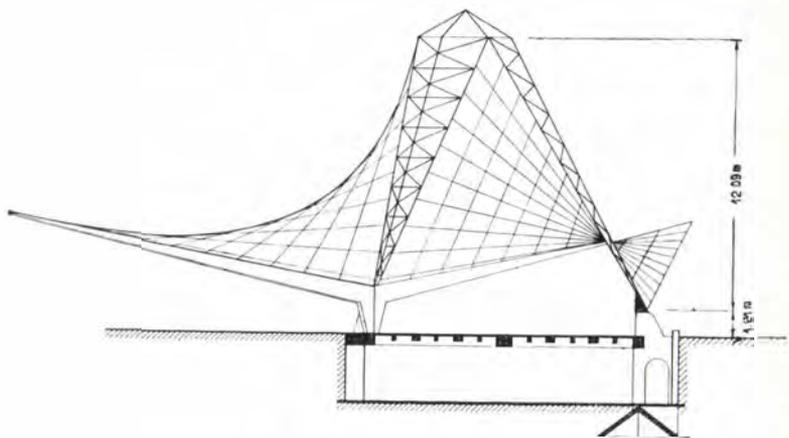


Capilla de San Vicente de Paúl

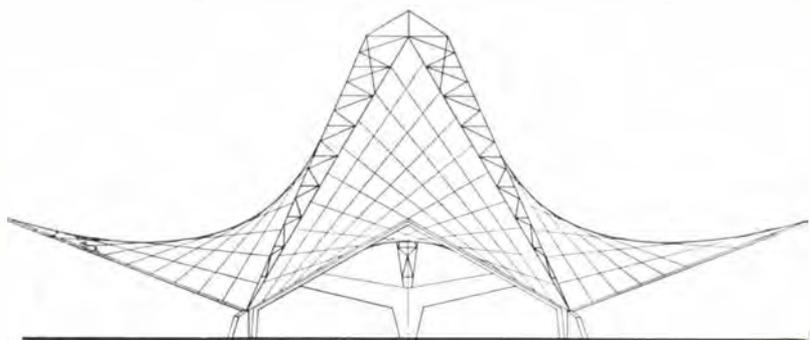
Coyoacán, México D. F., 1959.

Arq. Enrique de la Mora.



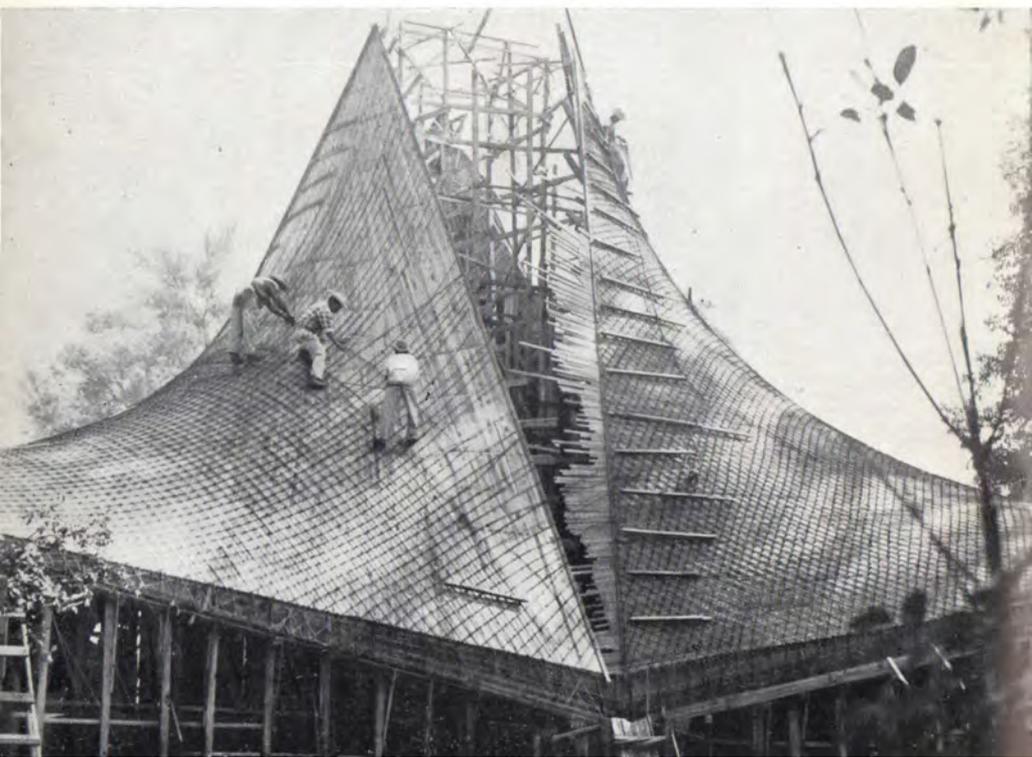


A - A

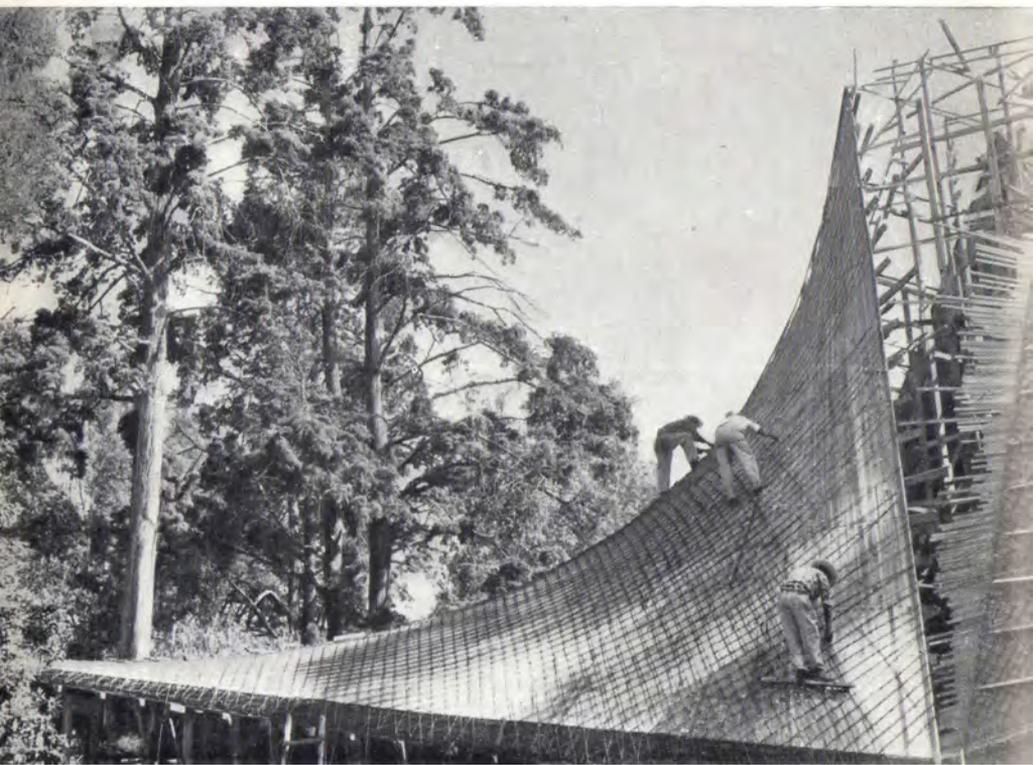


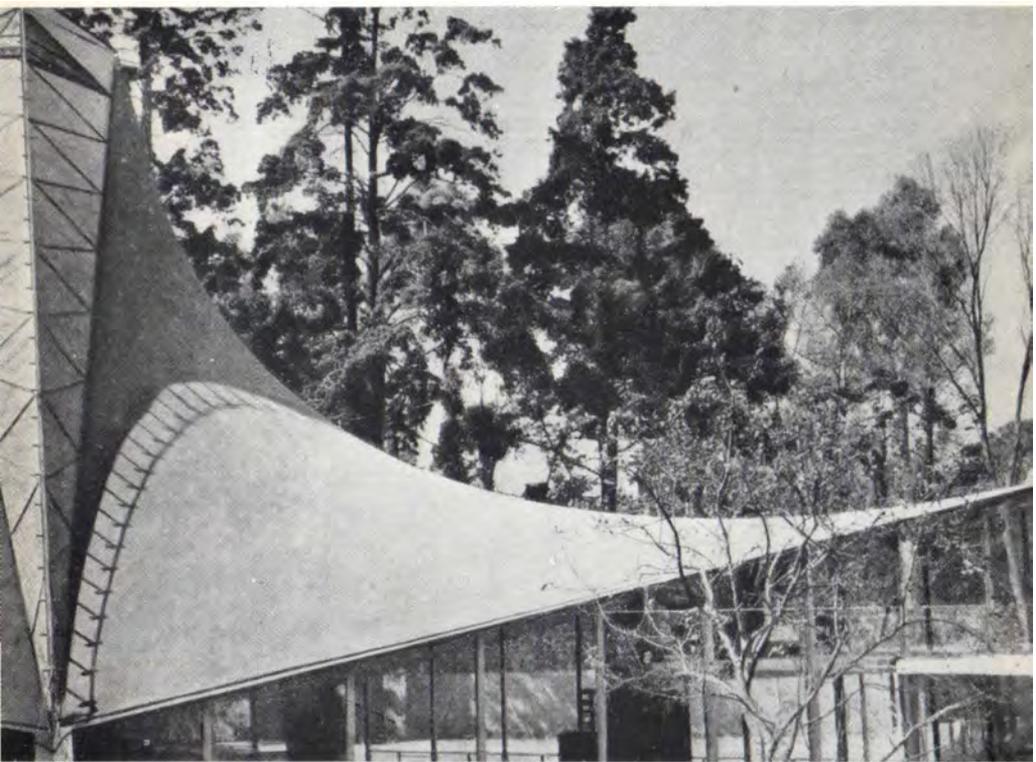








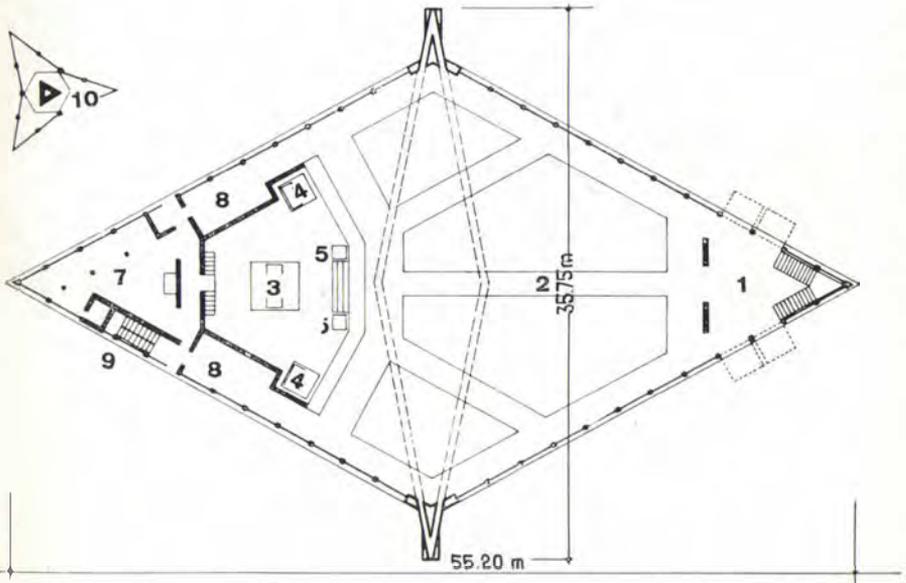
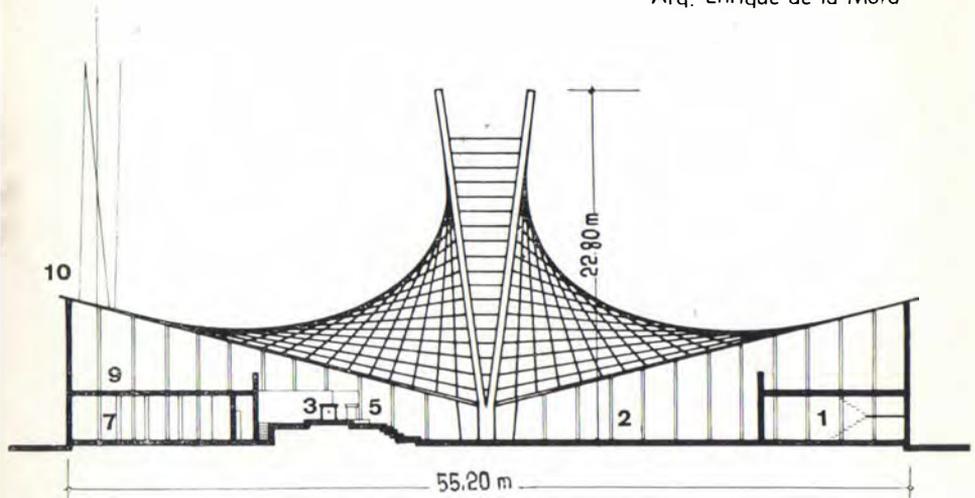




Iglesia de San José Obrero

Monterrey, 1959

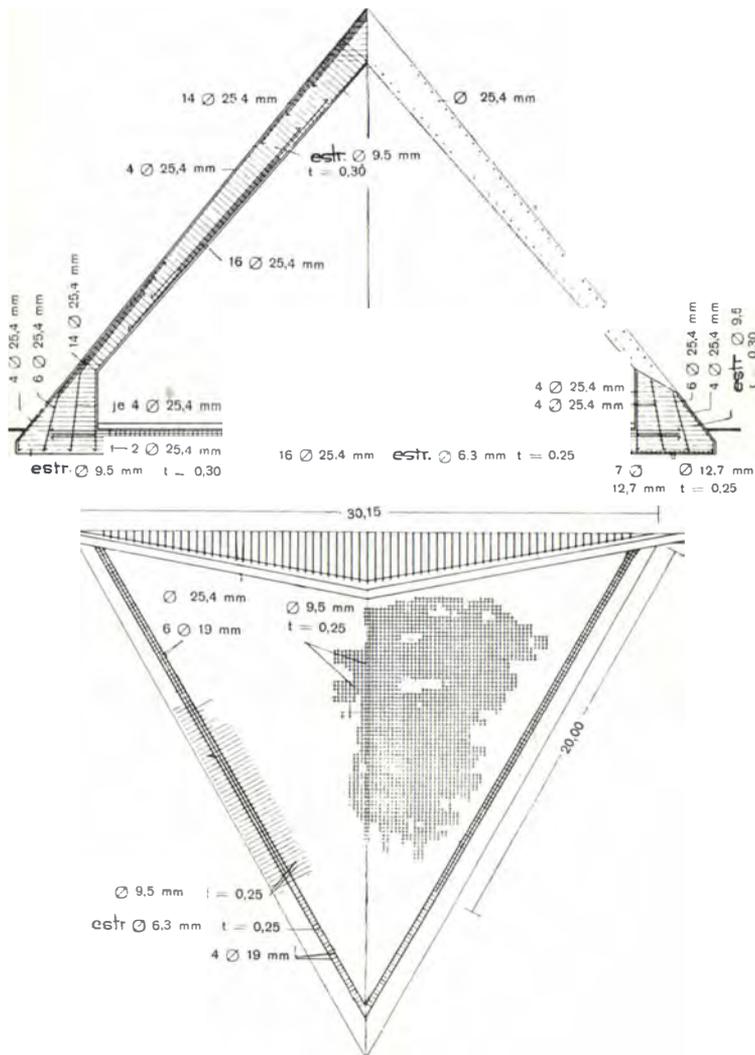
Arq. Enrique de la Mora



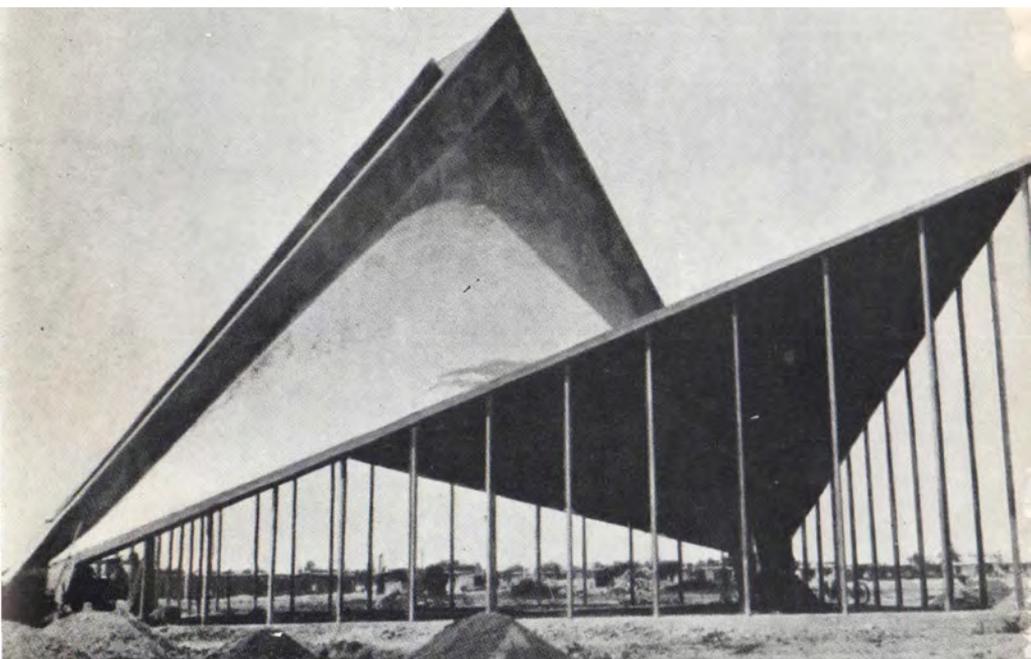


1. Narthex.
2. Nave.
3. Altar Mayor.
4. Altares secundarios.
5. Ambón.
6. Ambón.
7. Sacristía.
8. Confesonarios.
9. Coro.
10. Campanario.

Sección y vista de uno de los pórticos.



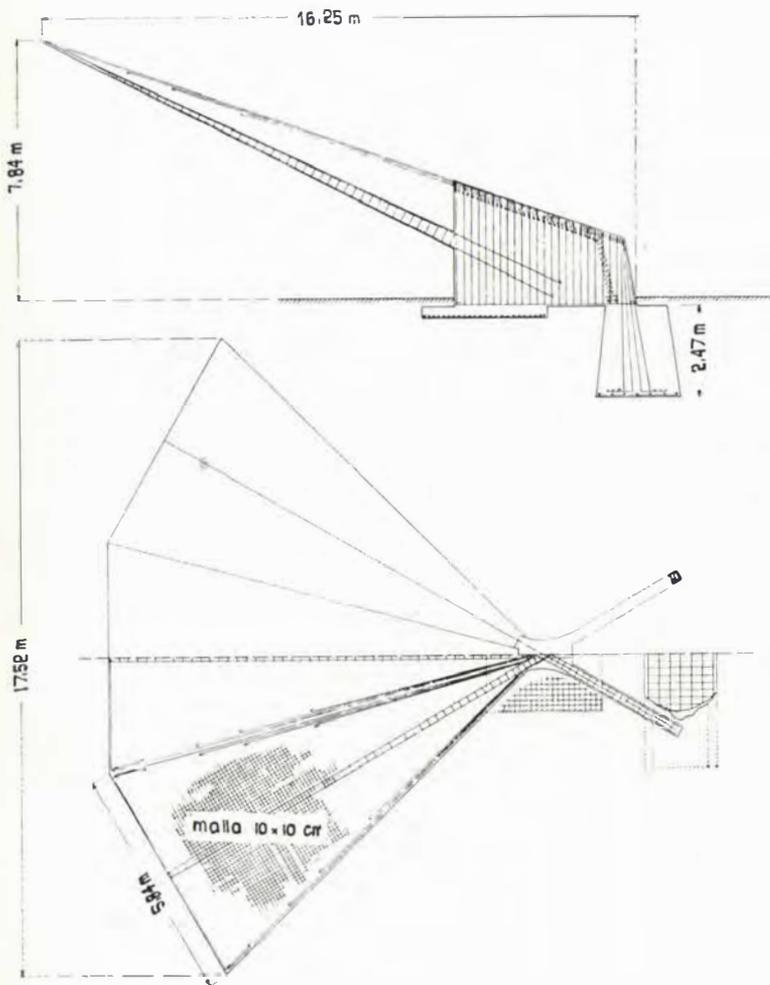
Armadura de una de las cáscaras.

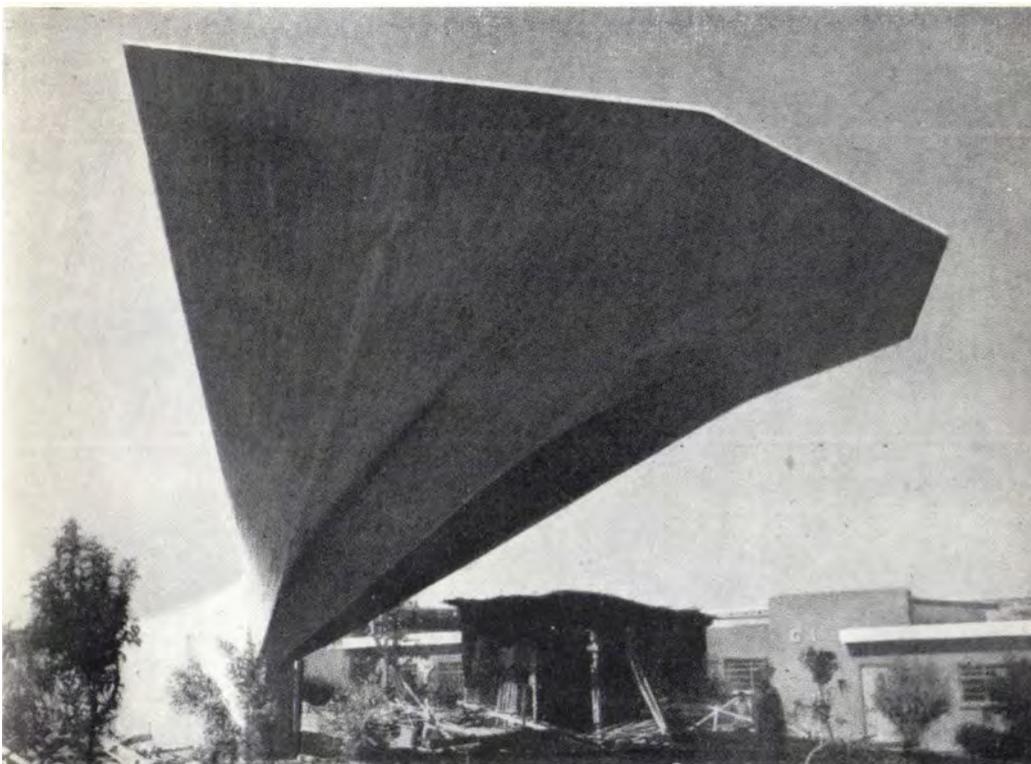


Pabellón de música

Santa Fe, México D. F., 1956.

Arq. Mario Pani.

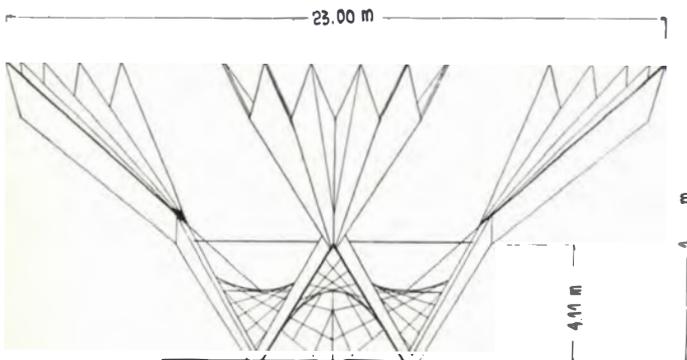
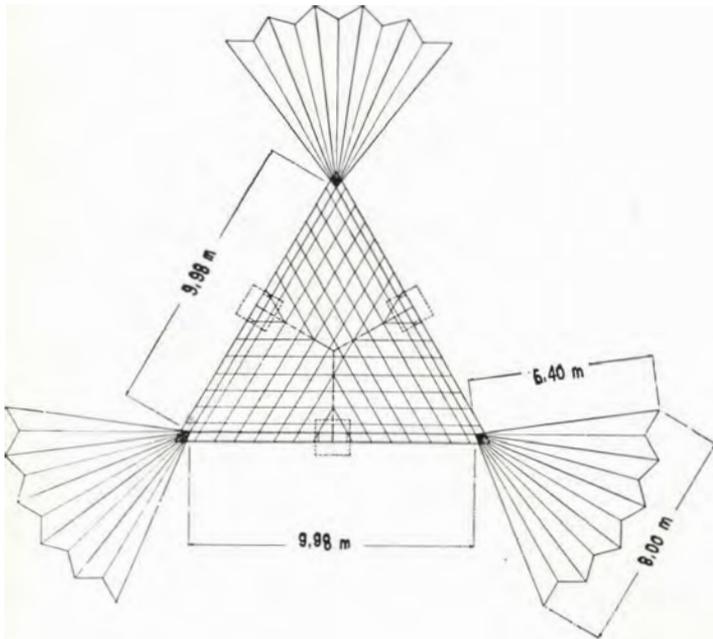


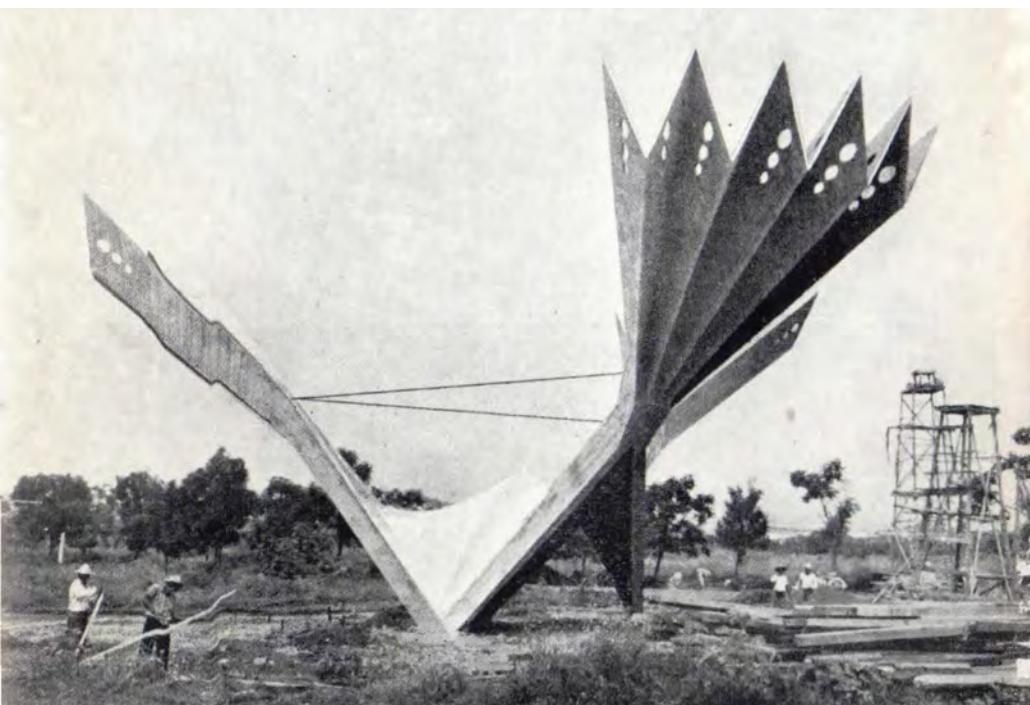


Grupo ornamental de la Plaza de los Abanicos

Cuernavaca, 1958.

Arqtos. Guillermo Rossell y Manuel La Rosa.

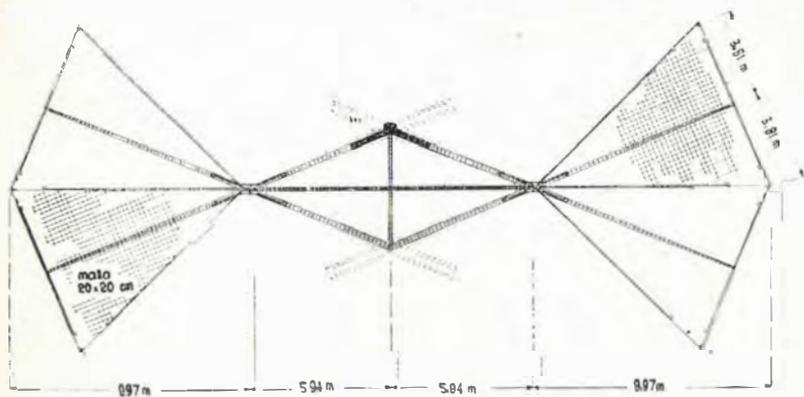
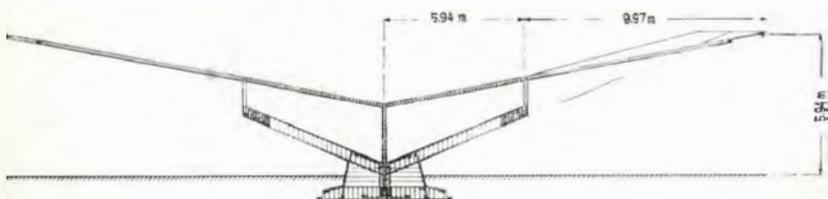
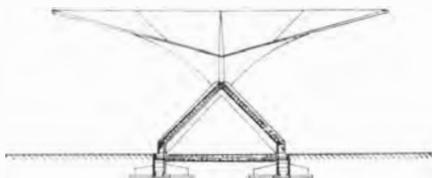


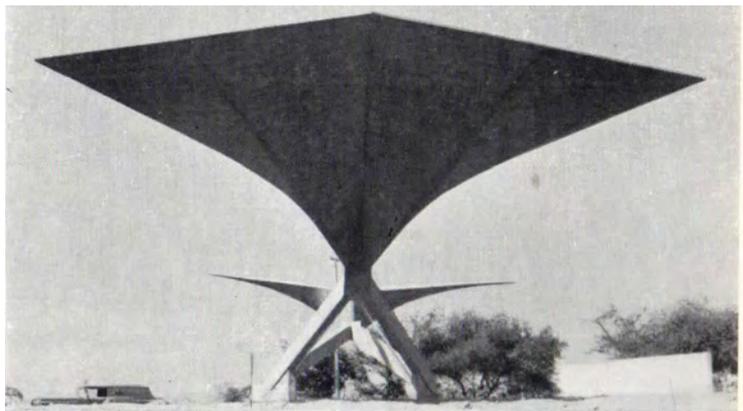
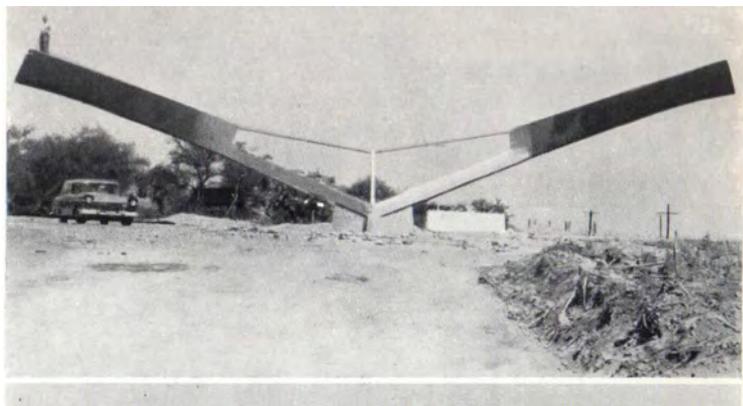


Pórtico de entrada

Lago Tequesquitengo, 1957.

Arqts. Guillermo Rossell y Manuel La Rosa.

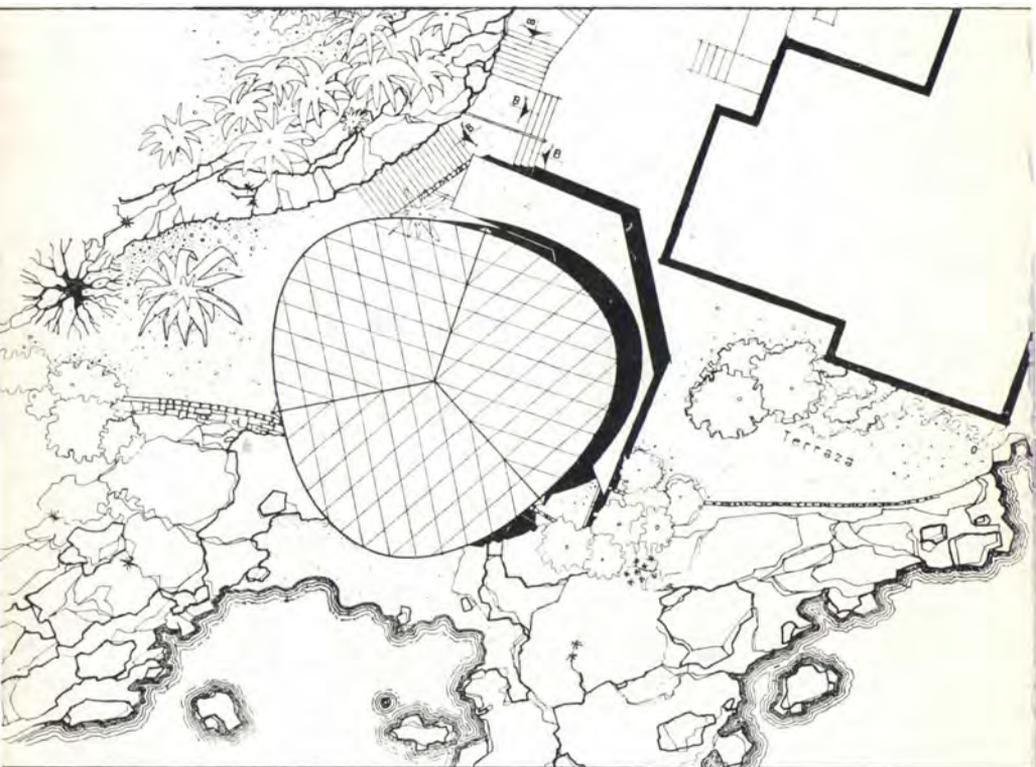




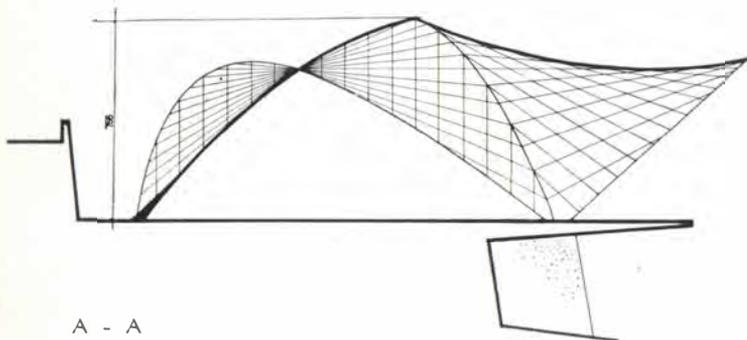
Cabaret La Jacaranda

Acapulca, 1957.

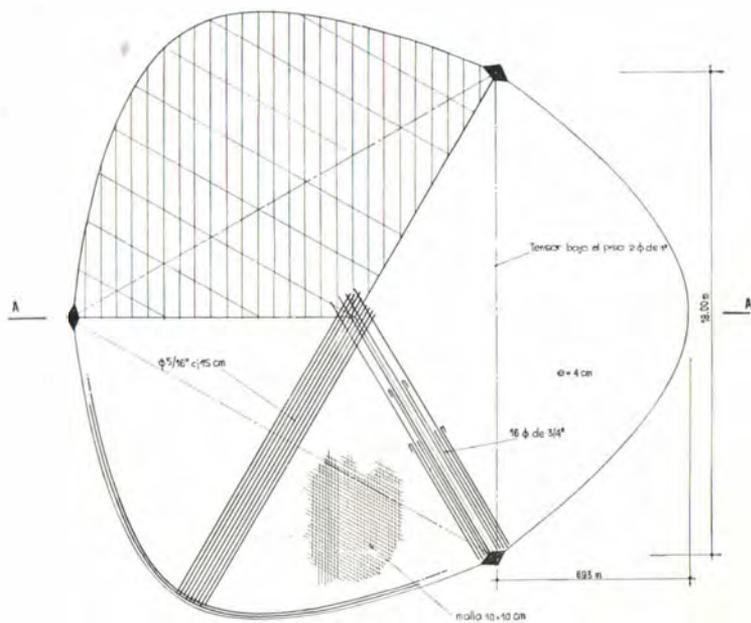
Arq. Juan Sorda Madaleno.

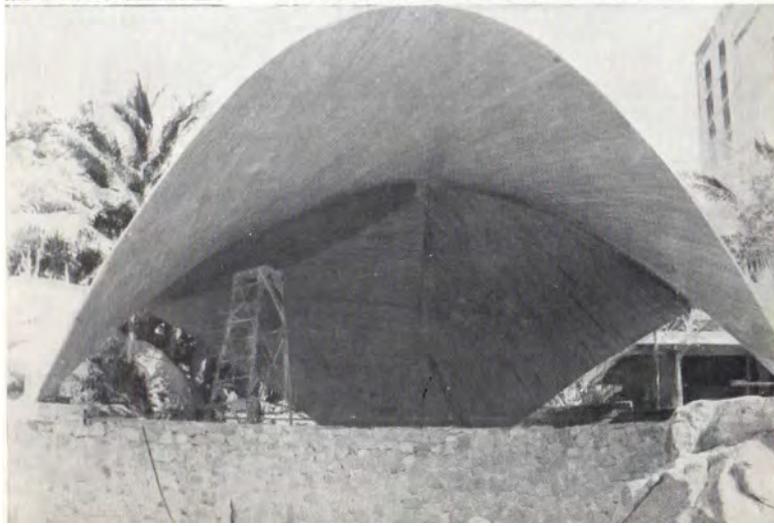






A - A

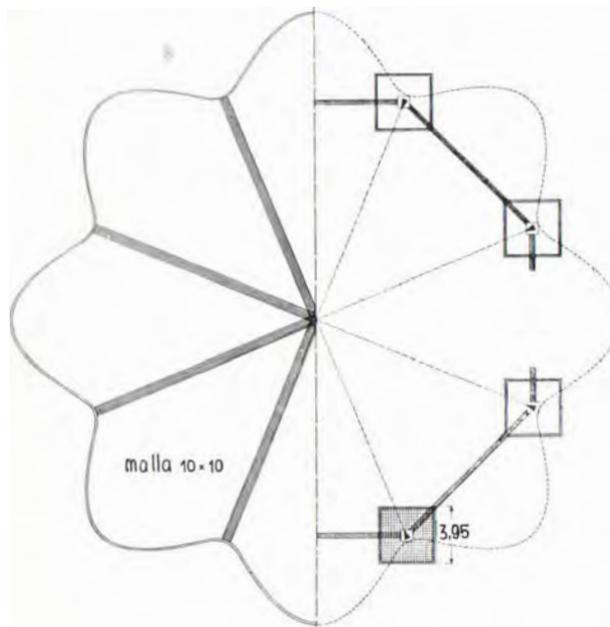
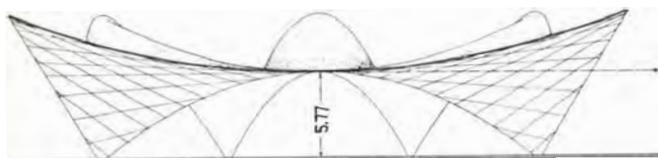




Restaurant Los Manantiales

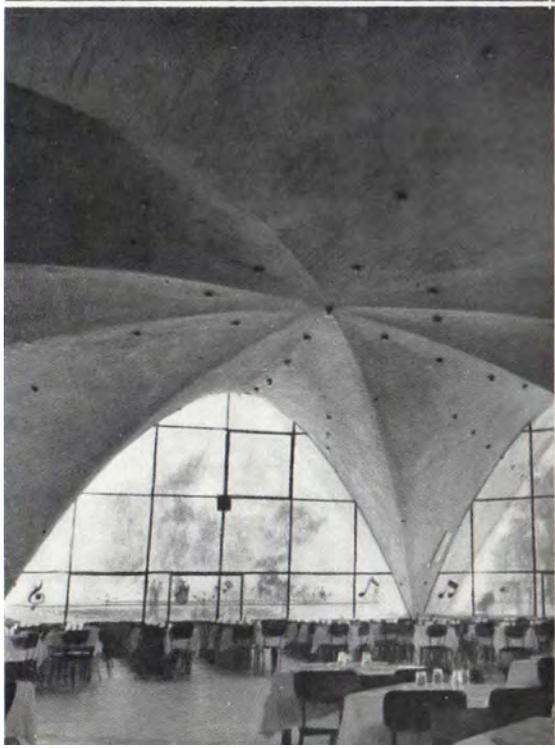
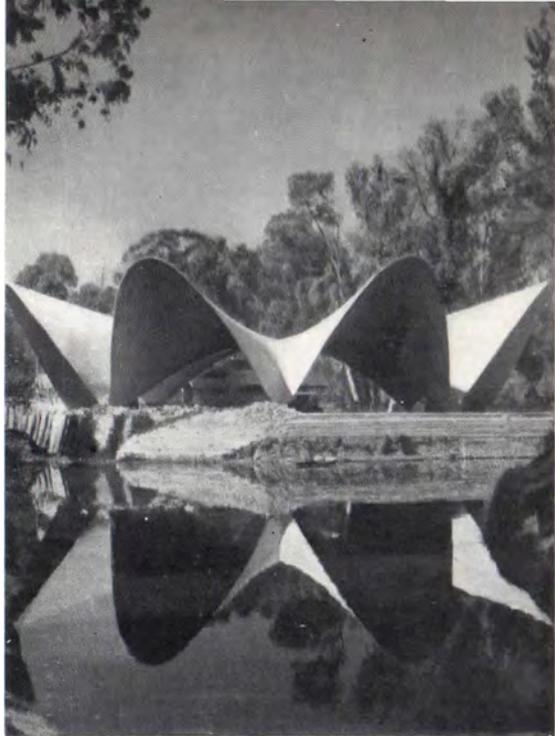
Xochimilco, 1957.

Arq. Joaquín Álvarez Ordoñez.



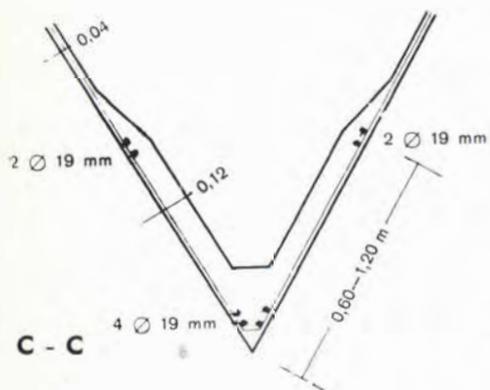
refuerzo fundaciones

20.97

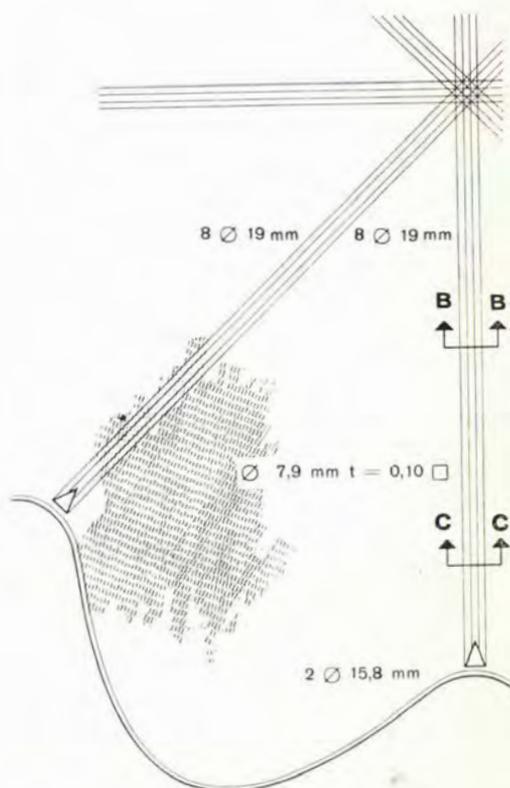




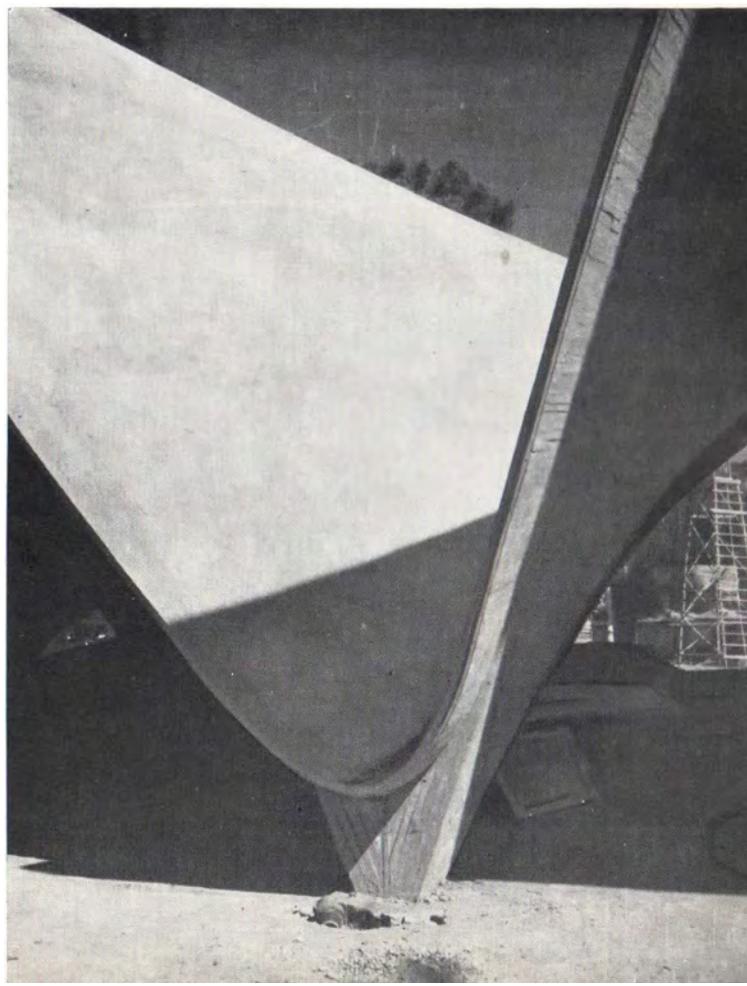
B - B



C - C

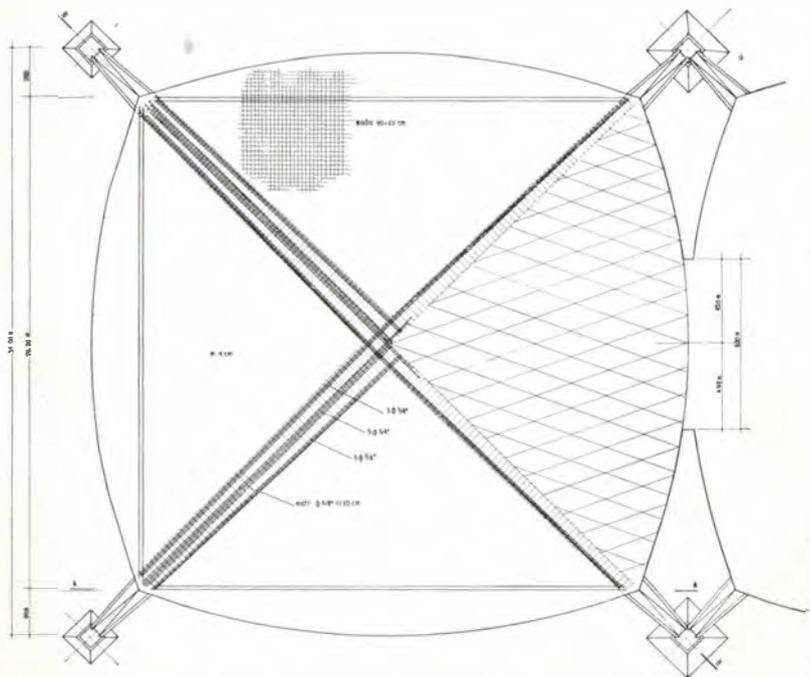


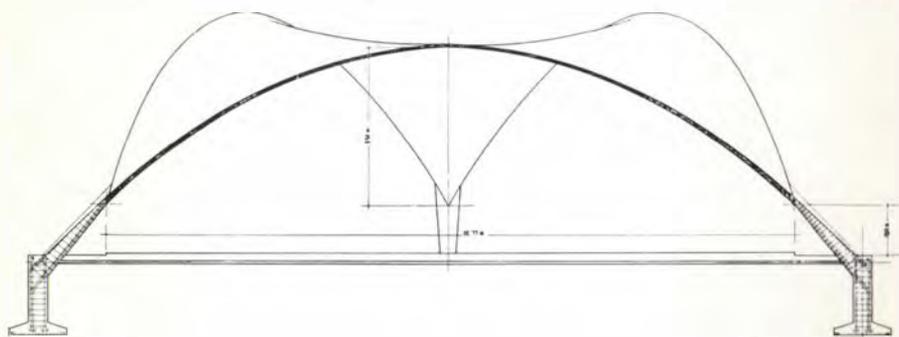
Detalle de la armadura.



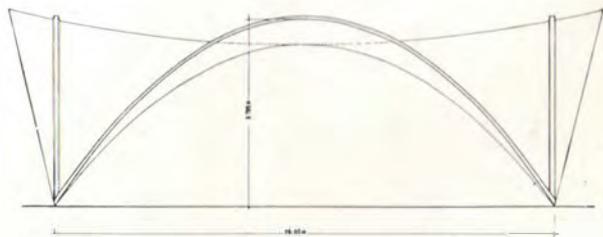
Embotelladora Bacardi

1959.



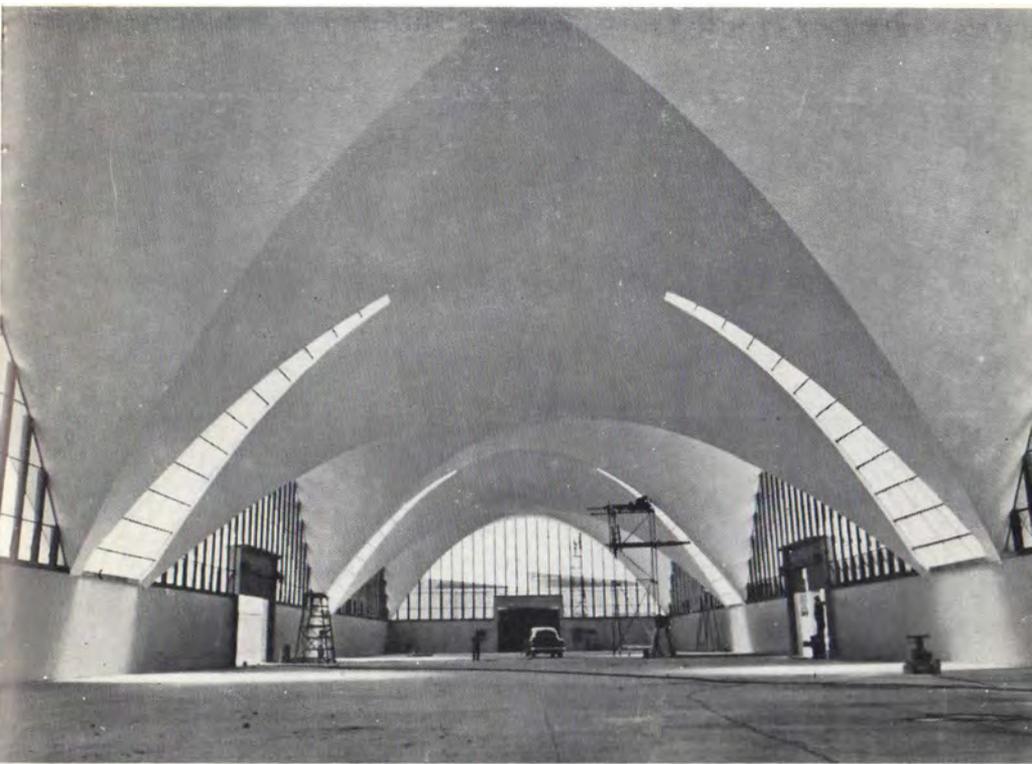


B - B



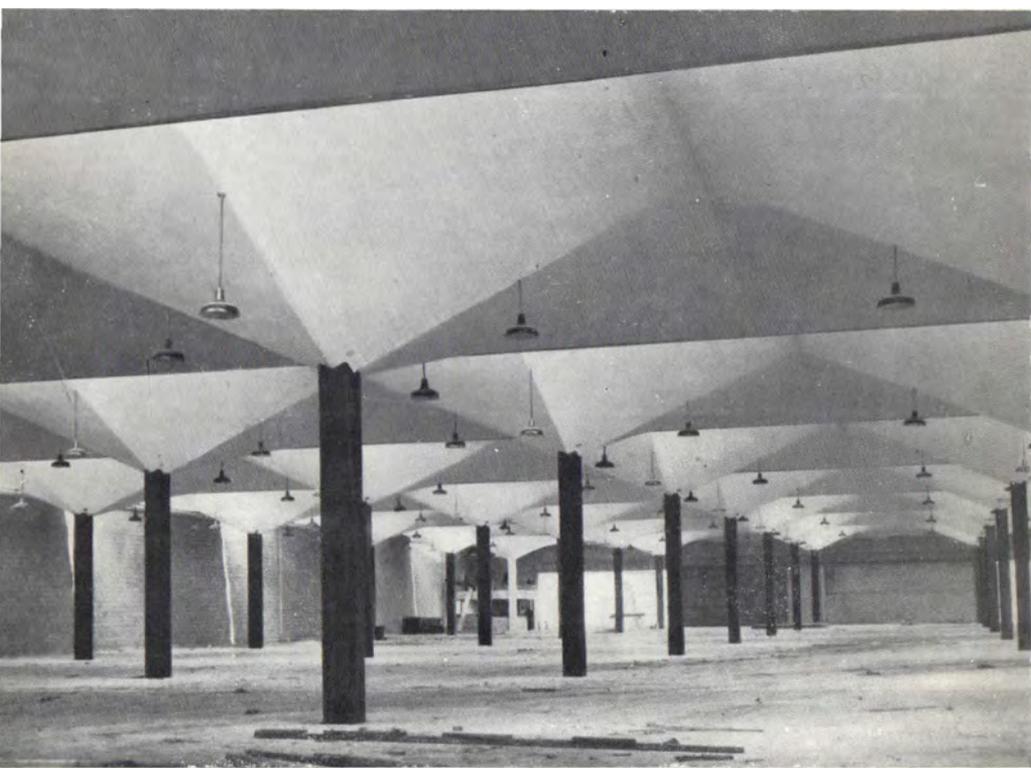
A - A

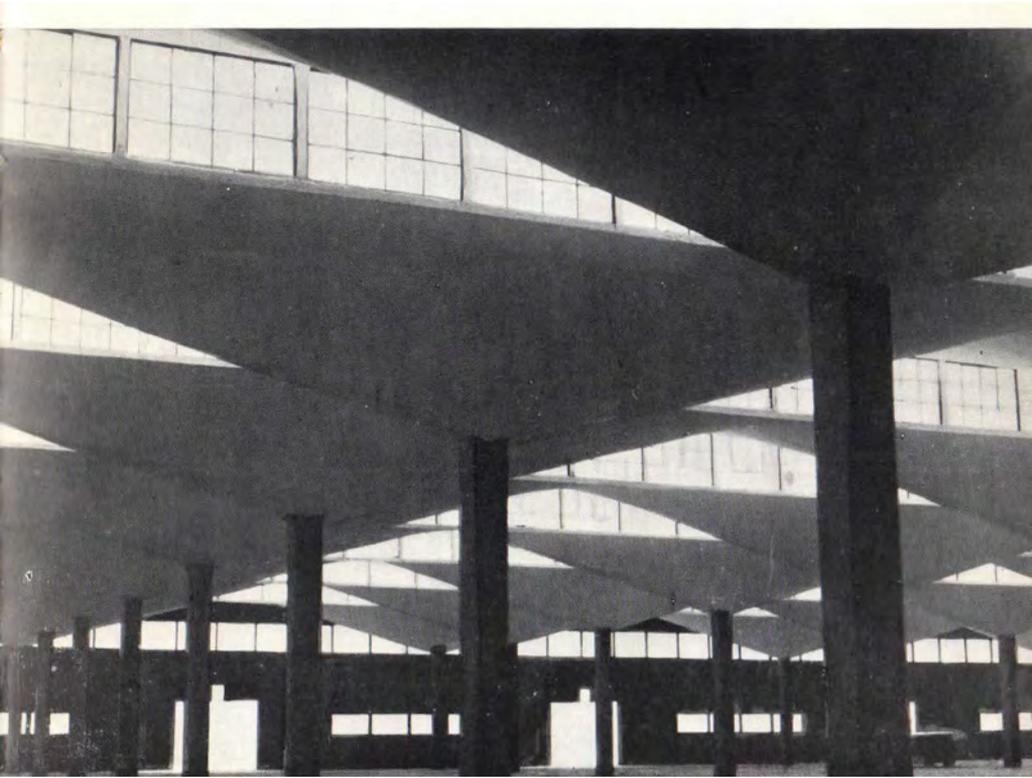


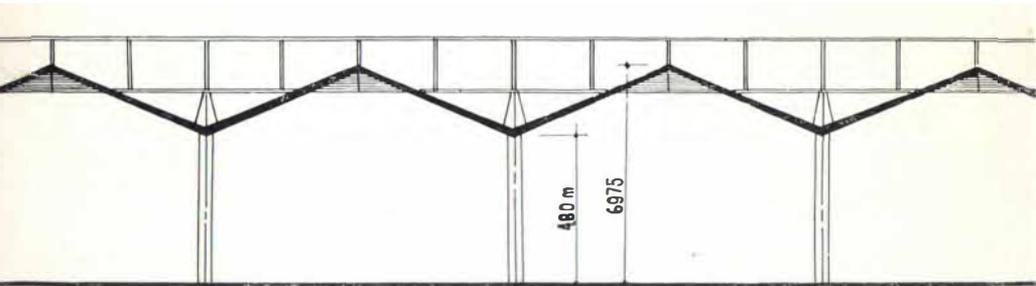


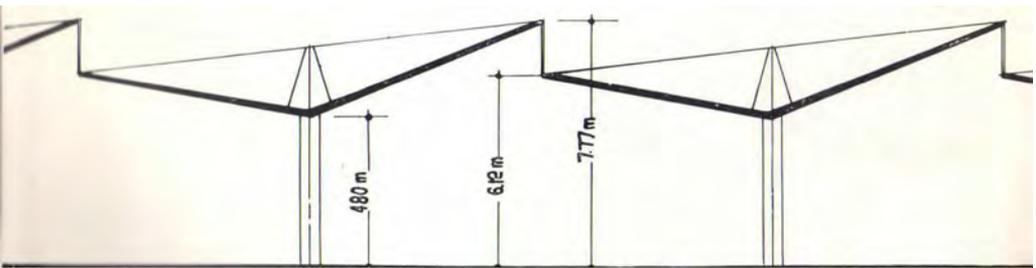
Edificio industrial Bacardi

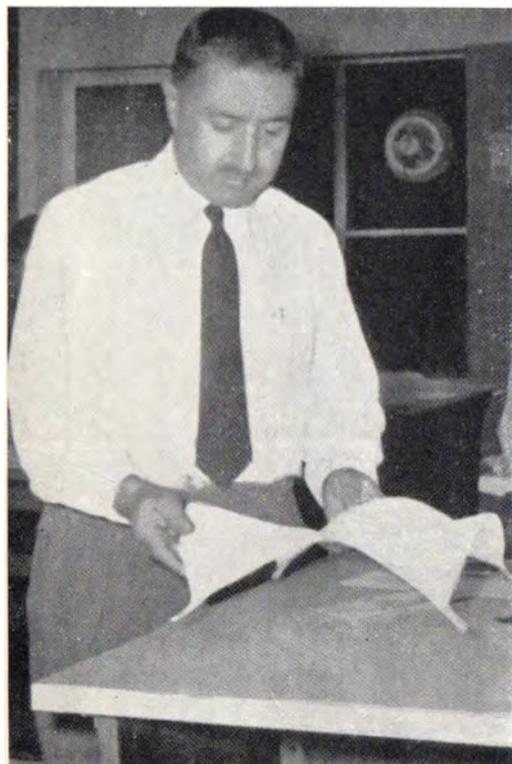
1959.











Se terminó de imprimir
en los talleres gráficos de
Domingo E. Taladriz,
San Juan 3875, Buenos Aires,
el 27 de diciembre de 1961.

La diagramación de tapa y páginas ilustradas
estuvo a cargo del Arq. Félix E. Buschiazzo.

Colaboraron en la diagramación y dibujos la
Arq. Mabel Scarone y Miguel A. Rivarena.

