

Fe de erratas

Susa, Branko Mahuzier (2023). Formas de paraboloides hiperbólicos en la arquitectura en Chile a mediados del siglo XX: materialización de la geometría en la escala del espacio. *Informes de la Construcción*, 75(571): e505.
<https://doi.org/10.3989/ic.6303>

Se modifica este artículo para corregir la filiación del autor Susa, Branko Mahuzier en lugar de “Pontificia Universidad Católica de Chile (Chile)” debe ser “Pontificia Universidad Católica de Chile (Chile) / Universidad Politécnica de Madrid (España)”.

28 de agosto de 2024

Formas de paraboloides hiperbólicos en la arquitectura en Chile a mediados del siglo XX: materialización de la geometría en la escala del espacio

Hypar forms in Chilean architecture in the mid-twentieth century: materialization of geometry in the scale of space

Branko Susa Mahuzier (*)

RESUMEN

El presente artículo es parte de nuestra investigación acerca del tema laminar de mediados del siglo XX en Chile, y se centra en obras y proyectos con paraboloides hiperbólicos poco estudiados pero que nuestra hipótesis valora al crear alternativas a los adintelados que predominan en el país. Son casos inusuales y heterogéneos, no siempre coherentes con *hypars* de concreto de pioneros en los 30s como B. Laffaille, G. Baroni y en los 50s Félix Candela. De hecho, no todos se construyeron en hormigón y no hay estudios sistemáticos como conjunto chileno. Nuestro análisis cualitativo tiene por objetivo formular un conjunto inédito con modelos gráficos para entender por qué su variedad formal y de materiales alcanzó un nivel destacable en eficiencia estructural y en significados del espacio fluido. Como resultado del estudio se revela un grupo pequeño de casos, algunos vinculados a universidades que experimentaron en estas estructuras, y descubrimos particularidades técnicas en base a modelos tridimensionales y nexos de sus protagonistas.

Palabras clave: Chile; geometría; forma laminar; estructura; experimental; paraboloides; hypar.

ABSTRACT

This article is part of our research about the laminar theme of the mid-twentieth century in Chile, and focuses on works and projects with hyperbolic paraboloids than have been little studied but that our hypothesis values due creating alternatives to the lintel flat shapes that predominate in the country. They are unusual and heterogeneous cases, not always consistent with the pioneering concrete hypar shells of pioneers such as B. Laffaille, G. Baroni in the 30s and Félix Candela in 50s. In fact, not all of them were built in concrete and there are not systematic studies of the Chilean complex. Our qualitative analysis aims to formulate an unprecedented set with graphic models to understand why its formal variety and materials reached a remarkable level in structural efficiency and meanings of fluid space. As an result of this study reveals a small group of authors, some linked to universities which experimented in this structures, thus we discover techniques peculiarities from tridimensional models and links between protagonists.

Keywords: Chile; geometry; laminar form; structure; experimental; paraboloid; hypar.

(*) Arquitecto Magister. Pontificia Universidad Católica de Chile (Chile) / Universidad Politécnica de Madrid (España)

Persona de contacto/Corresponding author: branko.susa@gmail.com (B. Susa)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3319-2518> (Branko. Susa)

Cómo citar este artículo/Citation: Susa, Branko (2023). Formas de paraboloides hiperbólicos en la arquitectura en Chile a mediados del siglo XX: materialización de la geometría en la escala del espacio. *Informes de la Construcción*, 75(571): e505. <https://doi.org/10.3989/ic.6303>

Copyright: © 2023 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Recibido/Received: 01/10/2022
Aceptado/Accepted: 20/04/2023
Publicado on-line/Published on-line: 13/07/2023

1. INTRODUCCIÓN

En 1930s, los franceses Bernard Laffaille y Fernand Aimond inician cálculos y obras de *hypars*, además en Italia se inician patentes de Giorgio Baroni (1935s) y en 1940s en Estados Unidos surgen obras de Anton Tedesko, Minoru Yamasaki y otros. En Latinoamérica, en 1950s en Argentina surgen *hypars* con pioneros como Amancio Williams, Eduardo Catalano y otros, Figura 1, y en textos recientes como *La estela de Félix Candela. Cascarones de concreto armado en México y el mundo* (2021) (1), de Juan Ignacio del Cueto Ruiz-Funes y otros investigadores, se revela obras y redes de Félix Candela y *cubiertas ALA* en países como Colombia (Galindo 2021), Cuba (Moreyra 2021), Argentina (Fuzs 2021) y otros. Pero no asocian a Félix Candela con Chile, en efecto, nuestra investigación reveló escasa información del tema, y este artículo indaga en casos de *hypars* que vienen de nuestro análisis acerca del tema laminar en el país.

En Chile, el tema laminar no aparece publicado como conjunto, pero hallamos en 1960s reconocimientos a Félix Candela en la revista *Técnica y Creación* que se publicó en 1960-67, y surgió del Instituto de Edificación Experimental IEE fundado en 1952 en la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Chile, que dirigía el arquitecto Francisco Aedo Carrasco titulado en 1938 en esa universidad, quien valoraba a E. Torroja y F. Candela, y realizó estudios en materiales como el hormigón (2), Figura 2.

La revista se interesó en estructuras optimizadas, exhibía seminarios de título en arquitectura y mostraba asesorías con el otro Instituto de Estabilidad Experimental IEE, de igual sigla, que se fundó en 1940 en esa universidad y que dirigía el ingeniero Julio Ibáñez Valenzuela titulado en 1925 en la misma universidad, quien es otro investigador en obras laminares (3).

Otra fuente de casos es la P. Universidad Católica de Chile, con dos profesores arquitectos titulados en 1950s, Hernán Riesco

Grez y Jorge Larraín Latorre, que usaron *hypars* en iglesias vistas aquí, pero en general no se enfocaron en obras laminares.

En 1967, Félix Candela visitó Chile y dictó una charla que se publicó en el primer número de la revista CA del Colegio de Arquitectos y se titula: El escándalo de la Ópera de Sidney (4), un caso que no es *hypar* pero que Félix Candela usó para ilustrar los problemas de la geometría que no es apropiada para el trabajo de membrana por no llevar cargas en planos tangentes, y explicó cómo las formas con curvatura pueden ser resistentes.

Por otra parte, en los 50s se fundan fábricas de cemento, como Cemento Polpaico S.A. en Valparaíso y en el sur en Talcahuano Cemento Bio Bio S.A. y la Compañía de Aceros del Pacífico CAP (Briones 2020) (5). Estas empresas ayudaron ante los sismos de Chillán (1939) y Valdivia (1960) a la reconstrucción, además de profesionales que exploraban nuevas técnicas, siendo factores influyentes en el origen de *hypars* por la coincidencia de la innovación técnica unida a la renovación de las formas usuales.

En la época también se crean institutos sobre materiales, como el Instituto de Investigación de Ensayos de Materiales IDIEM en la citada Universidad de Chile y el Instituto DICTUC de la P. Universidad Católica de Chile, que si bien estudiaban estructuras ortogonales habituales hicieron ensayos del tema laminar, pero es una vertiente inusual poco conocida en fuentes locales.

2. LA GEOMETRÍA EN IDEAS DE ESTRUCTURA Y ESPACIO

En Chile, las primeras ideas de paraboloides hiperbólicos se ven en el *Tratado de Geometría Descriptiva* de 1845, (6), del ingeniero Andrés Antonio de Gorbea (1792-1852), Figura 3, y en 1907, en el *Curso de Geometría Descriptiva* del ingeniero Francisco Mardones Otaiza (1877-1950), quien indujo la formación

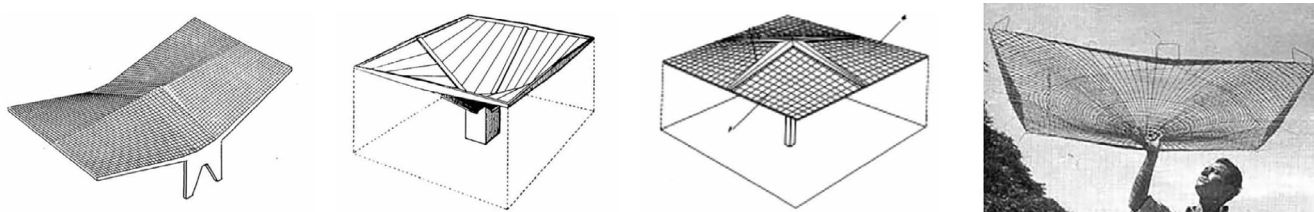


Figura 1. Hypars de concreto europeos en 1930s, B. Laffaille, F. Aimond, G. Baroni. En Argentina Amancio Williams (1940s). Fuente: Catalano 1960.

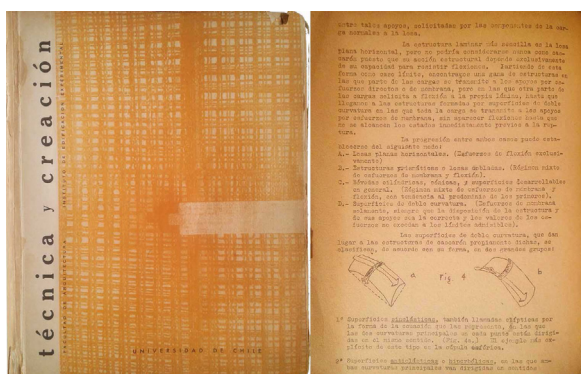


Figura 2. Revista Técnica y Creación, n°1, agosto 1960, Santiago, Chile.

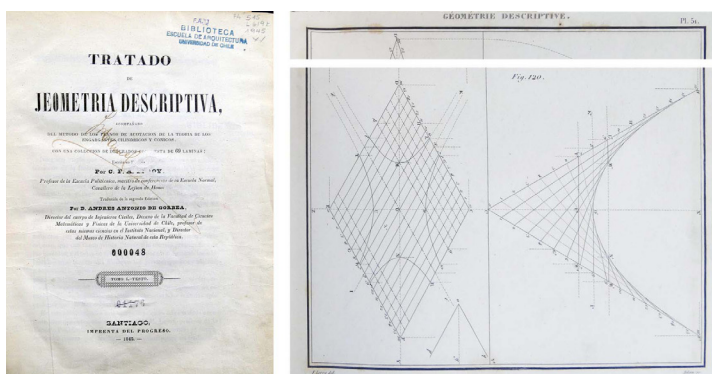


Figura 3. Tratado de Geometría Descriptiva (sic), Gorbea 1845, Chile.

en las ciencias para ingenieros y arquitectos (Aguirre 2010) (7). Luego en los 1950s, se logran construir *hypars* en un contexto de crítica a los estilos y la primera ortogonalidad moderna (8).

Entonces, el dibujo era manual y exigía imaginar el espacio del sistema diédrico con matemática gráfica, para lograr el mínimo espesor en sistemas reglados de generatrices rectas y secciones curvas, y así controlar la curvatura del manto del *hypar* que es doble y opuesta (*anticlástica*), siendo así según Félix Candela, apropiada para el trabajo como una membrana tridimensional.

Y acerca de los apoyos, en Chile vemos *hypars* apoyados sobre sus vértices o en sus directrices rectas y en modos ramificados. Pero hay más opciones, como las de Félix Candela en México con secciones de parábolas e hipérbolas para crear fundaciones continuas que aumentan las zonas de apoyo (Faber 1970) (9).

3. CASOS DE ESTUDIO

Nuestro análisis distingue entre la generación de las superficies y los métodos para estructurar la cubrición física del espacio, ya

que son variados y hay tanto cubiertas abiertas sin cierros como espacios interiores en iglesias, viviendas y salas de clases.

Luego, la geometría debe ajustarse con la construcción a escala real, ya que la superficie puede cambiar de espesor y hay casos que se idearon en hormigón y cambiaron a acero, lo cual hace distinguir entre la continuidad espacial y continuidad material.

En este sentido, se verifica una polaridad entre la continuidad espacial en la visión arquitectónica y la visión de la ingeniería más enfocada a la continuidad material en temas cuantitativos. Pero este análisis es cualitativo y su objetivo fundamental es identificar los casos, sus autores y entender parte del contexto. El conjunto de *hypars* en Chile consta de diez casos que son, a nuestro juicio, los más representativos de la variedad de soluciones espaciales y constructivas, no obstante, hallamos casos aún dispersos que no hemos identificado en el catálogo gráfico. El marco temporal es amplio (1954-80), se ubican en la capital de Santiago, Valparaíso y en la zona sur en las ciudades de Los Ángeles y Concepción. Y acerca de la prefabricación, hay pocos casos en los citados institutos IEE de la Universidad de Chile. A continuación, creamos un catálogo de casos *hypars*, Figura

CATÁLOGO DE CASOS EN CHILE (escalas ajustadas para el cuadro comparativo)

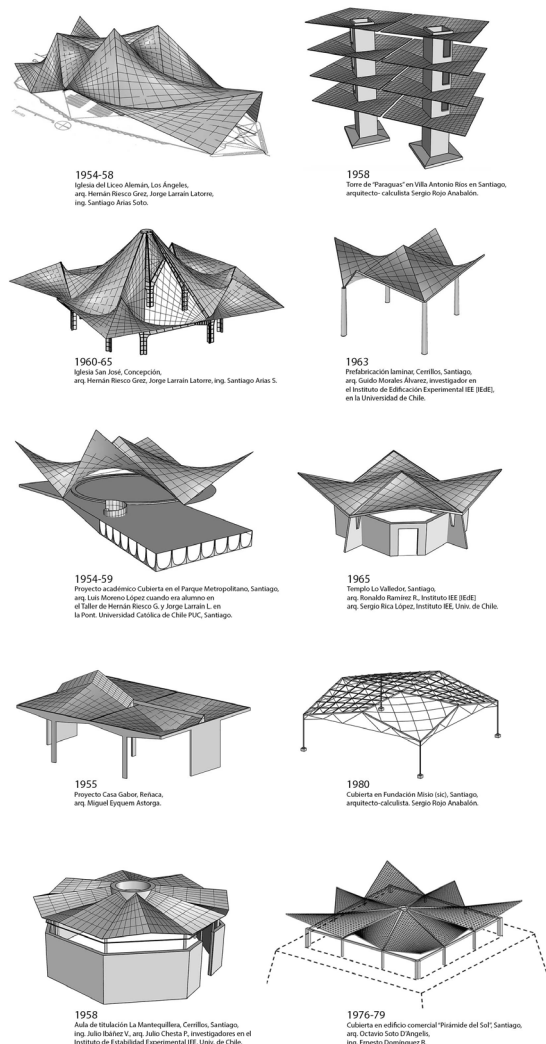


Figura 4. Catálogo en Chile a mediados del siglo XX, obras y proyectos laminares de hypars. Fuente: elaboración propia.

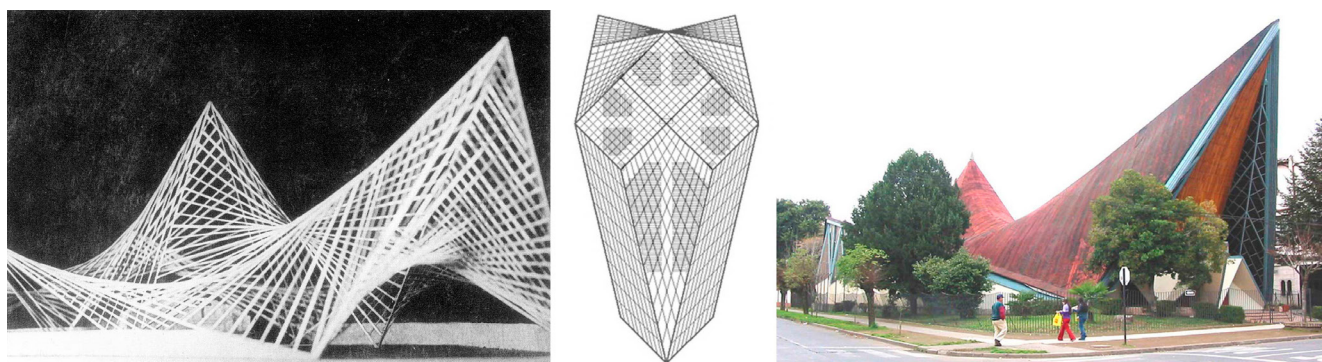


Figura 5. (Izquierda) Iglesia del Liceo Alemán, maqueta original. Fuente: Pérez 1997 (Centro y Derecha) Planta de cubiertas y fotografía. Fuente: propia.

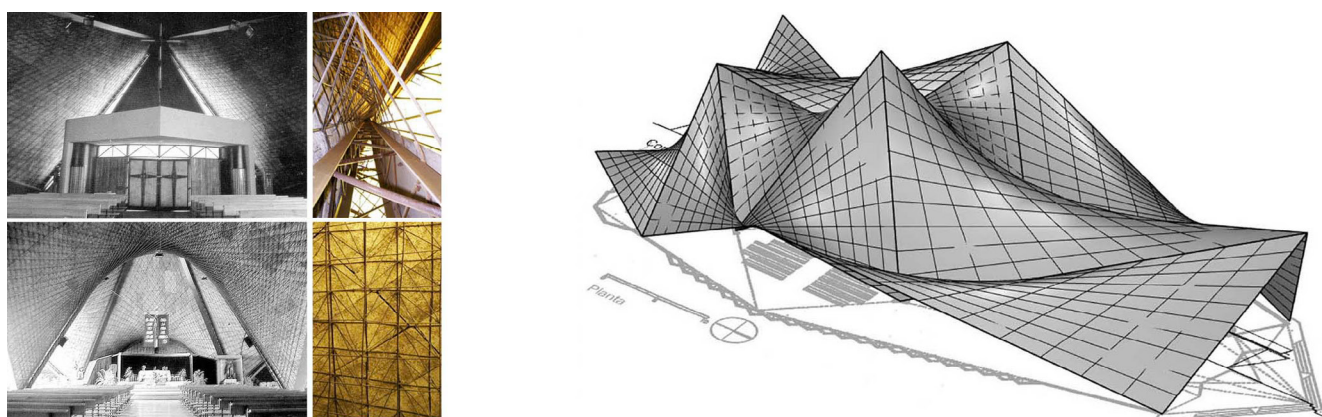


Figura 6. (Izquierda) Iglesia del Liceo Alemán. Fotos interiores. Fuente: Pérez (1997). (Centro y Derecha) Fotos de malla de acero y axonometría. Fuente: propia.

4, donde hay obras y proyectos con datos breves de los autores. Además de un mapa que grafica la singular geografía del largo y angosto territorio que atraviesa variados climas (4000 km).

En 1954-58, se concibe la iglesia del Liceo Alemán en la ciudad de Los Ángeles por la Congregación del Verbo Divino, Figura 5, con los arquitectos Hernán Riesco Grez (1924-2007) y Jorge Larraín Latorre (1922-84) (10), titulados en la generación de 1950s en la Pontificia Universidad Católica de Chile PUC, y el ingeniero Santiago Arias Soto (1922-2013) titulado en la Universidad de Chile en 1945, un experto en cálculo estructural y el tema sismoresistente, pero poco citado en su labor en equipos creativos y docente universitario. La obra se destaca por una geometría que une diez paraboloides hiperbólicos en una planta de 60 x 30 m y altura de 15 m, para acoger a 500 personas en una composición axial que era innovadora en esa época al acercar el altar y rodear la liturgia, según explica el historiador de la P. Universidad Católica de Chile, Fernando Pérez O. (1997), que le asocia a la centralidad sugerida en el Concilio Vaticano II que modificaba la concepción del templo. Y agrega, que los autores chilenos inspirados en Félix Candela vieron la ocasión de difundir ideas modernas en la estructura expuesta en mantos de *hypars* (10).

Otra singularidad en su geometría, es que orienta el espacio y la luz en expresión cóncavo convexa, lo cual exige a los autores aprovechar la doble faz como un lenguaje tridimensional que induce la percepción de movimiento continuo. Y en lo técnico, es un caso que cambió de ser pensado en hormigón armado a ser ajustado a una estructura de barras soldadas de acero, por

la influencia del ingeniero Santiago Arias ante la dificultad de disponer de encofrados más económicos. Arias ideó un sistema de finas barras (ϕ 6-8 mm) según las generatrices rectas, pero en dos capas separadas a ± 25 cm y unidas con diagonales a modo de placas *estéreo regladas* empotradas a bordes rectos, hechos de perfiles y diagonales, con algunos mantos apoyados en muros plegados. Además, las uniones soldadas, hoy tan comunes, en el país recién iniciaban su aplicación, Figura 6.

En 1962, otro caso del citado equipo es la Iglesia de San José en Concepción, de geometría similar a la obra anterior, pero en hormigón mixto y vigas de acero recubiertas. La obra se ordena en torno al altar con dieciséis paraboloides hiperbólicos que celebran la linterna centralizada que sostiene la cruz, Figura 7, y en la escala urbana se enmarca en planes que paralelamente ocurrían por la reconstrucción y renovación de edificios y centros públicos, ayudando a crear hitos referenciales que fueron modernizando la ciudad, considerando que muchas ciudades en el país tienen un trazado fundacional de manzana cuadrada.

La obra replica la idea del cuadrado original en una planta de 34 x 34 m y alturas variables de 5 a 21 m, y la posición es en esquina de fachadas homogéneas, aumentando su percepción visual con retranqueos paralelos a las vías en concordancia y respeto del entorno. En entrevista con el Padre de la congregación, Bruno Romahn (sic) en 2004 (11), nos informó sobre esta iglesia y la antes citada en el Liceo Alemán de Los Ángeles, ya que conocía a los arquitectos y clientes, todos conscientes del carácter experimental de ambas obras,

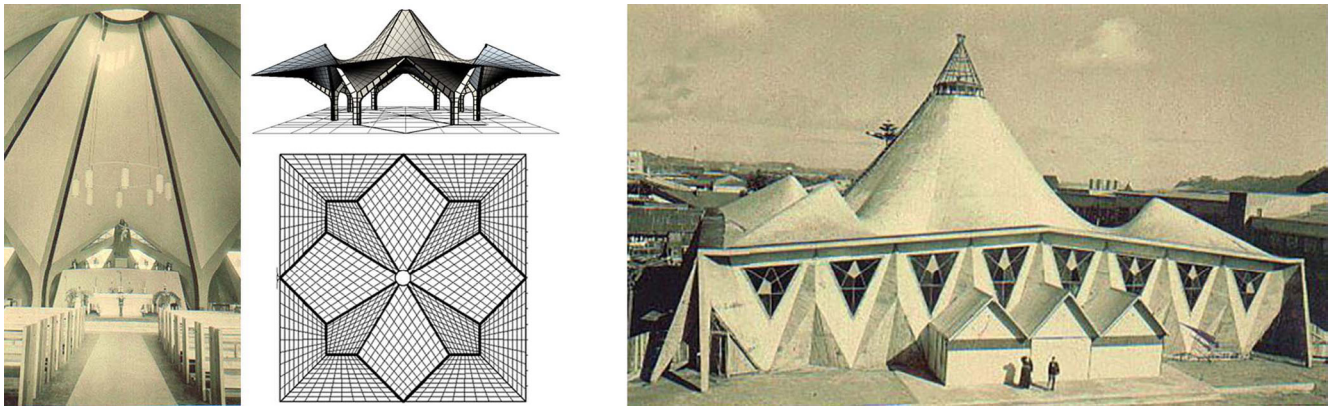


Figura 7. (Izquierda) Iglesia San José, Concepción, interior. (Centro) Perspectiva y planta. Fuente: propia. (Derecha) Exterior. Fuente: Fotos por gentileza de Bruno Romahn (1960s).

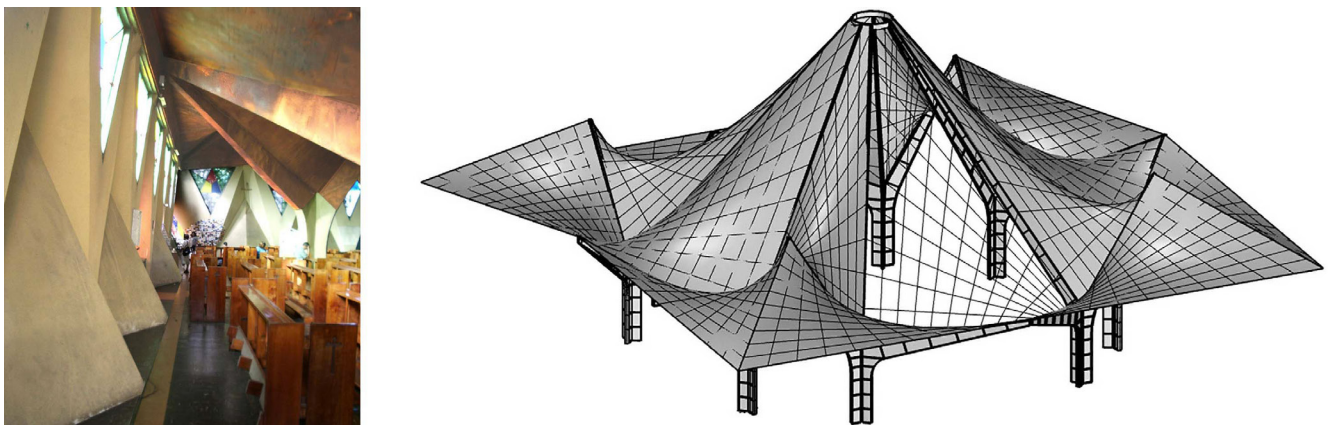


Figura 8. (Izquierda) Espacio interior del deambulatorio. Fuente: propia (Derecha) Axonometría sin los cerramientos plegados. Fuente: propia.

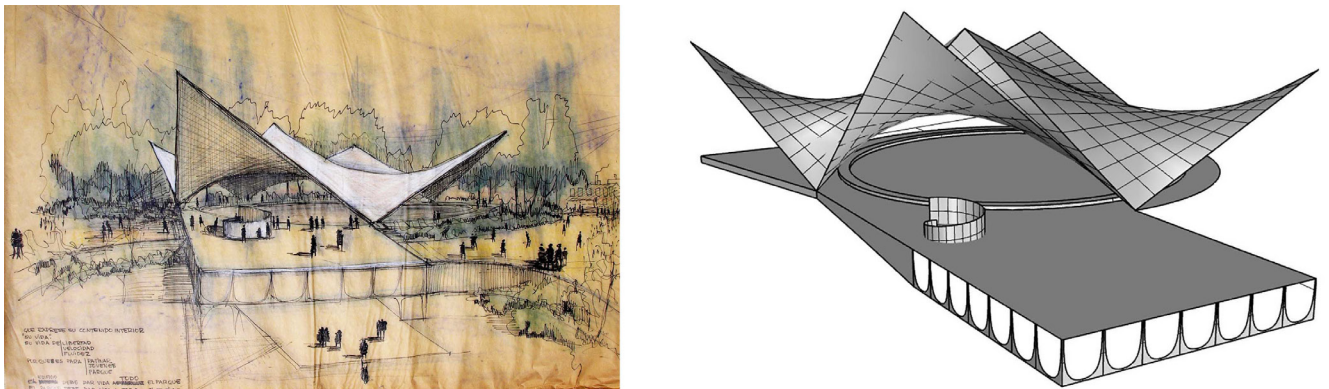


Figura 9. (Izquierda) Proyecto en Parque en Santiago (1959). Fuente: gentileza de Luis Moreno López. (Derecha) Perspectiva. Fuente: propia.

tanto en su propuesta general y el desafío técnico sin precedentes en el país, donde existían templos de orden tradicional. Y pese a no contar con planimetrías de detalle de su construcción pudo transmitir las ideas centrales, por ejemplo, que los cerramientos perimetrales se pensaron autónomos de la cubierta por la luz y los terremotos, y que para obtener estabilidad se pliegan sus bases junto a las vidrieras haciendo tridimensional a la envolvente, Figura 8.

Si analizamos la forma como un entomólogo y contamos sus apoyos, tenemos ocho “patas” de almas de acero rodeadas de hormigón, donde se unen los paraboloides hiperbólicos en tres marcos voladizos que se ramifican en torno a su eje vertical. Pero para Santiago Arias (12) había riesgos en la unión de las láminas de espesor 7 cm con los pórticos y el muro pe-

rimetral, ya que en los sismos se concentran tensiones en esas uniones si no se hacen transiciones de grosor o articulaciones, es decir, se busca evitar aristas por la discontinuidad entre los espesores, y así controlar mejor la diferencia de rigidez de las partes, sobre lo cual no se hallan detalles de armaduras ni especificaciones.

Otro caso coetáneo en los 1950s es un proyecto no construido del arquitecto Luis Moreno López cuando era alumno del taller del citado Hernán Riesco Grez en la Universidad Católica de Chile, donde ideó cuatro cubiertas alabeadas de base 20 x 20 m entre árboles de un Parque en Santiago, Figura 9. Recordemos que entonces Eduardo Torroja visitó Chile (1952) invitado por esa universidad que le otorgó el grado *Doctor Honoris Causa* (Poyán 1962) (13), evento

poco citado en la historia local, así como la visita de Félix Candela (1967) que fueron influencias creativas sobre las formas libres, además de Oscar Niemeyer en Brasil, entre otras referencias dispersas que llegaban al país.

De hecho, la propuesta de Luis Moreno era integrar recorridos libres en la topografía y crear espacios intermedios para acoger actividades lúdicas bajo estos techos asimétricos, cuyo orden implícito es una planta cuadrada que se “ajustaría en el lugar”, según señaló Luis Moreno en una entrevista (2012) y en sus dibujos con leyendas; “...La forma a través de los árboles. Los árboles a través de la forma (...)” (Moreno 1959). En cuanto a la materialidad, propuso una malla de acero en las generatrices rectas, sin precisar detalles pero que Luis Moreno recuerda era similar al caso anterior de la malla de acero de Hernán Riesco.

Por otra parte, en 1955, Miguel Eyquem Astorga (1922-2021), titulado en la Pontificia Universidad Católica de Chile en 1942, hizo el proyecto de la casa Gabor en la costa de Reñaca, región de Valparaíso, Figura 10. Son ocho paraboloides hiperbólicos confinados en un bastidor de 9 x 12 m y altura 5 m, cuyos pilares y muros ordenan zonas de estar, comedor, y rincones cualificados por leves escalonamientos de suelo, amplias vistas, y techos alabeados que alternan puntos bajos y altos, como la lucarna cumbreira. Estas ideas M. Eyquem las retomará luego como docente en la Escuela de Arquitectura de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso PUCV, junto a otros artistas que impulsaban un enfoque poético conocido como *Amereida*.

De modo sintético, la materialidad del primer nivel es de hormigón junto al piso del segundo nivel, sobre el cual se propone el bastidor perimetral y la cubierta en metal ligero para bajar el peso al mínimo posible, creando desafíos con la temperie y la lluvia. Pero al entrevistar a M. Eyquem (2005) afirmó que estos desafíos ayudan a la experimentación a nivel de anteproyecto; “...Estamos hablando de una concepción muy ligera; esto equivale a decir, muy económica de material (...) En este país ganar la ligereza -reducir la inercia en la zona superior del edificio- significa haber superado el cálculo antisísmico, el gran causante del aumento del costo de nuestra arquitectura. En este sentido, es una edificación sustentable.” (Eyquem 2009:71) (14).

Y revelamos otra vertiente del tema laminar en la Universidad de Chile, en dos institutos de investigación creados en décadas de 40-50s cuando se independiza la Facultad de Arquitectura de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. En particular, el Instituto de Estabilidad Experimental IEE dirigido por el ingeniero Julio Ibáñez Valenzuela, y el Instituto de Edificación Experimental IEE [aquí IEDE] dirigido por uno de sus alumnos el arquitecto Francisco Aedo Carrasco, con igual sigla (IEE), lo cual es poco citado y confuso en la historiografía, pero que aquí diferenciamos en cuanto a profesores y alumnos de seminarios.

Así, en 1958, en el Campus universitario Cerrillos en Santiago, se creó el Aula de Titulación llamada “La Mantequillera” para 60 personas, en hormigón armado de espesor 6 cm y con base octogonal pequeña (diá. 14 m) pero pensada como hito simbólico entre edificios convencionales, Figura 11. Su diseño es mérito del citado ingeniero Julio Ibáñez Valenzuela y ayudantes del Instituto de Estabilidad Experimental IEE, como el arquitecto Julio Chesta Peigna, que llegará al cargo de Decano en 2000s.

La forma tiene ocho pares de paraboloides hiperbólicos empotrados al lucernario circular (h 70 cm, flecha 1/20), reuniendo su función estructural y expresión plástica de la luz. La lámina no toca al muro y se apoya en ocho pilares de acero que evitan la expansión radial por monolitismo autoportante. Al entrevistar a Julio Chesta (2007) acerca del origen de las láminas experimentales en los 1950s en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo FAU en esta Universidad, dijo que no se guardó planos o datos y que no necesariamente surgieron de referentes externos como Félix Candela, sino de explorar con escasos medios las formas laminares para involucrar a alumnos en investigaciones teórico prácticas con cálculo, y ofrecer asesorías al área de la ingeniería y laboratorios de materiales. También en 1958 otro ayudante del Instituto de Estabilidad Experimental IEE, Sergio Rojo Anabalón (1929-2016), que empezó sus estudios en la P. Universidad Católica de Chile, pero se tituló de arquitecto calculista (1957) en la Universidad de Chile, creó inéditas torres de paraboloides hiperbólicos o paraguas en Villa Antonio Ríos Sector 3B, Santiago, Figura 12, en el contexto de un proyecto a escala urbana con los arquitectos Tomás de la Barra, Guillermo Geisse, y otros. Si bien el proyecto mayor planteaba formas adinteladas con-

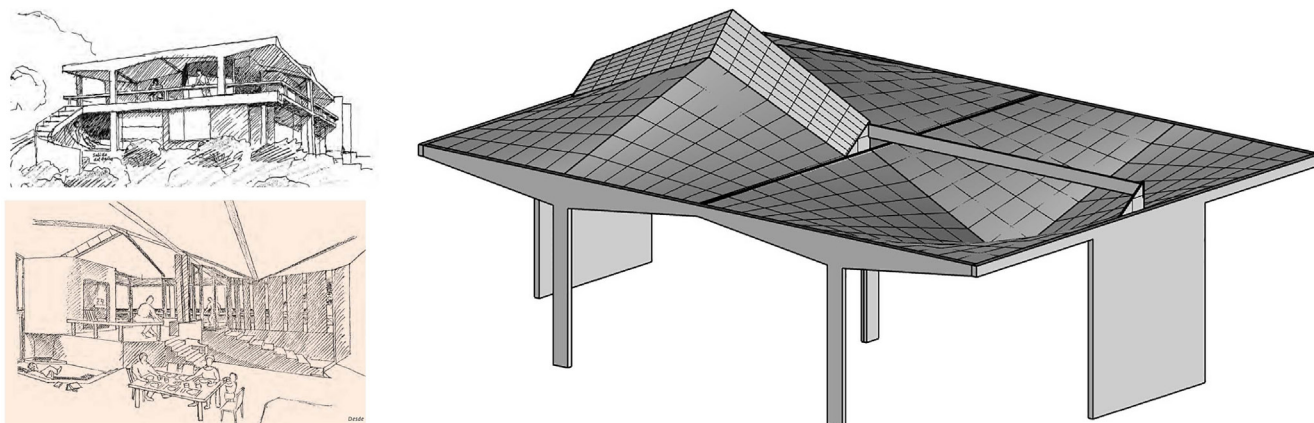


Figura 10. (Izquierda) Proyecto Casa Gabor, 1955. Fuente: Miguel Eyquem (2009). (Derecha) Axonometría digital. Fuente: elaboración propia.

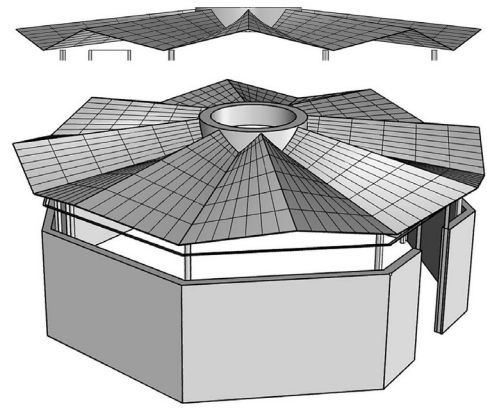


Figura 11. (Izquierda) Aula de titulación “La Mantecullera”. Fuente: Propia. (Derrecha) Modelación de axonometría y elevación. Fuente: elaboración propia.

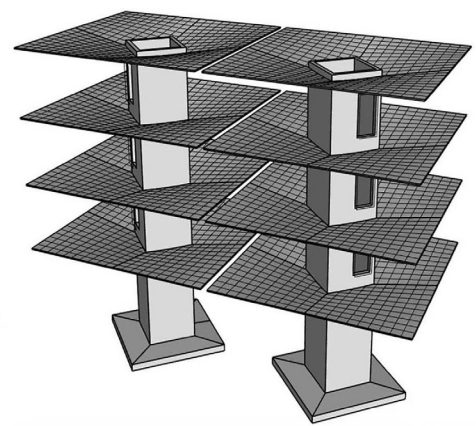
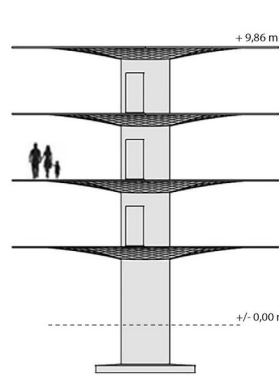


Figura 12. (Izquierda) Fotografía de Torres de Paraguas de Sergio Rojo. Fuente: propia. (Centro y Derecha) Modelo en vista diagonal y perspectiva. Fuente: propia.

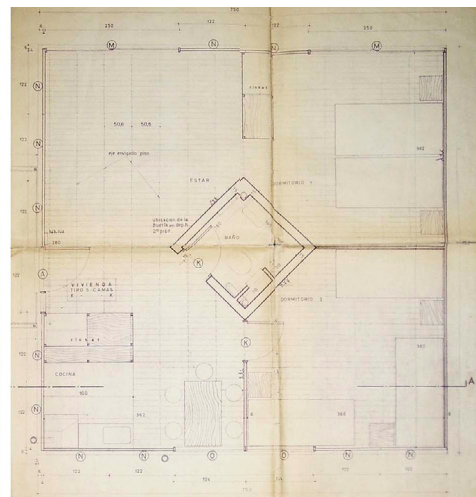
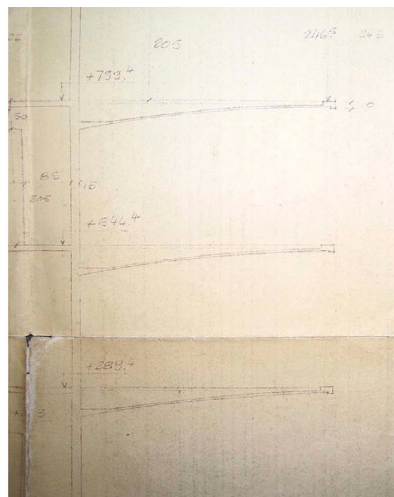
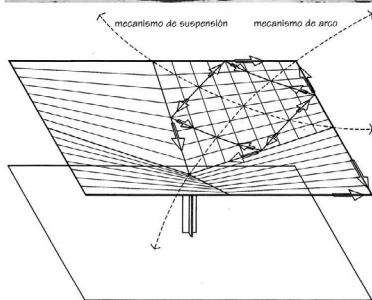


Figura 13. (Izquierda) Arriba Félix Candela en México (1953) (Faber 1970). (Abajo) dibujo de H. Engel (1990). (Centro y Derecha) Planos. Fuente: Sergio Rojo A.

vencionales, Sergio Rojo propuso para unos bloques diferentes un sistema elevado que liberó la planta del nivel de acceso como jardín público, innovando en principios modernos del CIAM que experimentaban en Chile organismos como la entidad estatal CORVI, o Corporación de la Vivienda.

Su materialidad en hormigón armado puede evocar paraguas de Félix Candela sobre un pilar (1953), Figura 13, pero Sergio

Rojo inventa un mástil hueco que junto con reunir los baños resiste los empujes del sismo y las torsiones en planta, quedando firmemente anclado al subsuelo con una zapata reforzada. Nuestra maqueta tridimensional exhibe el sistema estructural de planta cuadrada de 7,3 x 7,3 m, de cuatro *hypars* de espesor de 4 cm, y amarre de 41 cm en vertical en su empotramiento, en cuya diagonal la flecha es 1/10 aprox. Y el cerramiento era innovador, al colgar fachadas “cortina” que

expresan que no son portantes. Por último, cabe distinguir que se forman pares de torres que no se tocan entre sí, separándose según el cálculo sísmico de Sergio Rojo en aprox. 2 mm cada 1000 mm, es decir, 2 cm en los 10 m de altura total (entrevista a S. Rojo 2004).

4. INTENTOS DE PREFABRICACIÓN

En 1960, el citado Instituto de Edificación Experimental IEDE de la U. de Chile inicia su revista *Técnica y Creación*, donde el arquitecto Guido Morales Álvarez publica su tesis *Prefabricación de formas laminares* (Morales, abril 1963, n°6-8) y exhibe sus modelos experimentales de hormigón armado, Figura 14. La forma parece simple, con cuatro *hypars* iguales sobre una planta cuadrada de 5 x 5 m con pilares en las medianas, pero su interés, además del cálculo es la prefabricación en espesor 2 cm sobre moldes en fibrocemento reutilizable, y la capacitación del personal para moldear, izar y ensamblar unidades. Aunque no se registran datos de su uso masivo en el país, a diferencia de otros países como México donde había grandes prefabricados.

Por ejemplo, en México Félix Candela hizo prefabricados como el Laboratorio Lederle (1955) de cuatro *hypars* de hormigón en una planta cuadrada de 14 x 14 m, altura 6 m y espesor 4 cm, que se apoyan en las medianas del cuadrado, Figura 15, usando el equilibrio solidario y con directrices reforzadas

como vigas. Es un esquema simétrico iniciado en Europa y Estados Unidos con pioneros citados como A. Tedesko, M. Yamasaki y Marcel Breuer entre otros que iniciaron la prefabricación de mantos de hormigón con varias geometrías, donde la simetría podía facilitar la agrupación y el control de las técnicas constructivas. Y en Latinoamérica, hubo avances con técnicas incipientes como en Colombia con Álvaro Ortega y otros (Galindo 2022) (15). Pero en Chile hay pocos intentos, como el caso de Guido Morales de *hypars*, y otras bóvedas cortas de ferrocemento en forma libre.

Además, en 1965, los institutos IEE e IEDE crearon la cubierta de hormigón del Templo Lo Valledor en Santiago, de la congregación Ejército de Salvación, Figura 16, donde revelamos asesorías puntuales de los equipos de arquitectos como el de Ronaldo Ramírez R. (IEDE), Sergio Rica López (IEE) y el constructor Raúl Iriarte. La planta también es cuadrada y mide 14 x 14 m, altura 6 m y espesor 6 cm, cuyo cerramiento de ladrillo se separa de la lámina dejando entrar la luz natural perimetralmente. La lámina fue hecha *in situ* pero podría prefabricarse parte del bastidor, de 7 x 7 m y sección mín. 10 x 10 cm, para encima fijar las cimbras de cada lámina, aunque no podemos corroborarlo en los registros en la citada revista (16). La escala es pequeña, pero al visitar la institución en un barrio modesto el templo se ve acorde al lugar, y su forma ingravida alude significados como el vuelo, la superación de

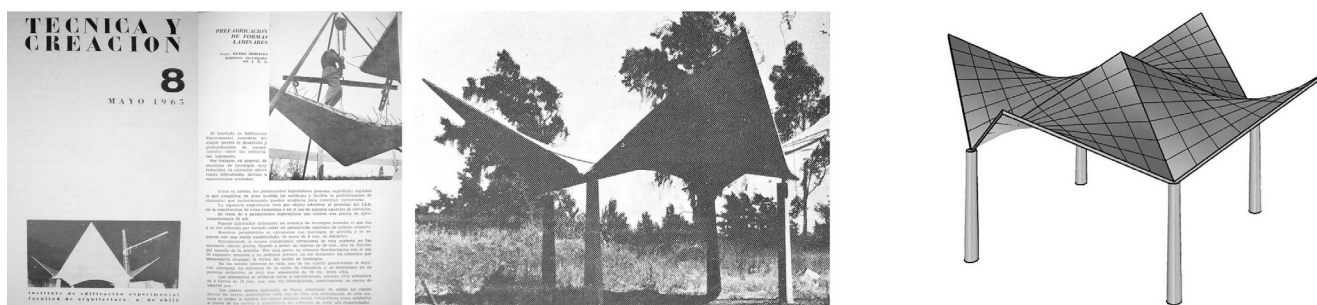


Figura 14. (Izquierda). Revista Técnica y Creación. Fuente: Guido Morales (1963). (Derecha). Modelación digital. Fuente: elaboración propia.



Figura 15. (Izquierda) Cubierta en Laboratorio Lederle de Félix Candela. Fuente: Faber 1970. (Derecha) Comparación con caso en Chile (Arriba).



Figura 16. (Izquierda). Templo Lo Valledor (Centro) Exterior e interior. Fuente: propia. (Derecha). Modelación digital. Fuente: elaboración propia.

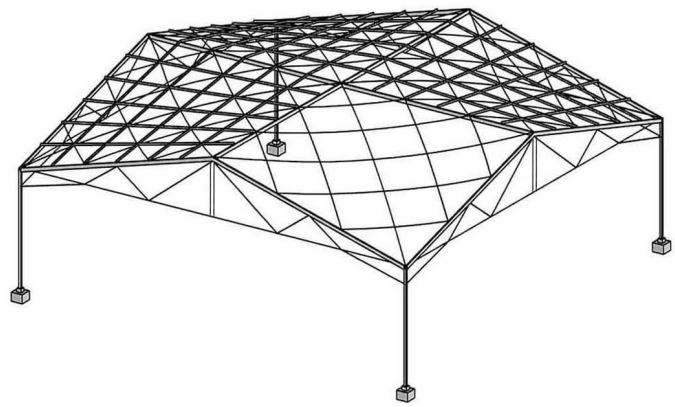
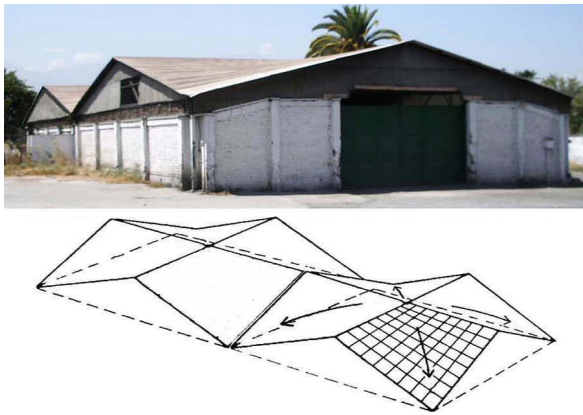


Figura 17. (Izquierda). Fundación Misio (sic) 1980. Fuente: propia y Siegel 1960. (Derecha) Modelación tridimensional del módulo. Fuente: elaboración propia.

desafíos con pocos medios y el énfasis religioso apoyado por la luz elevada y el recorrido en diagonal.

En 1980s, el citado Sergio Rojo creó una cubierta económica en un Taller de Trabajo Social de la Fundación Misio (sic), hoy Fundación Cristo Vive ubicada en la comuna de Huechuraba en Santiago, Figura 17. Su director, el arquitecto Gustavo Donoso Castro tenía el objetivo de asistir a los pobres y enseñar oficios, requiriendo un espacio amplio con posibilidad de modularse en bajos costos de construcción y mantenimiento. Ante este desafío, Sergio Rojo abstrae de la geometría del paraboloide hiperbólico los elementos de su forma y los construye en acero y madera. Es decir, en acero las directrices rectas de borde y parábolas, y de madera las generatrices rectas donde se fijan hojas de zinc. La planta cuadrada mide 15 x 15 m, y altura 6 m en la cumbrera horizontal del manto que no toca al cerramiento, el cual puede hacerse de ladrillo u otros materiales, pero con el cuidado de no aplicar cargas adicionales al sistema autoportante cuyo peso propio ha sido reducido y donde el mayor riesgo sería el viento.

Nuestro modelo tridimensional se basa en datos de Sergio Rojo sobre sus modelos. Los bordes de los *hypars* son vigas de acero plegadas en frío (+/- 150 x 60 x 30 x 3 mm) y cerchas con diagonales finas (20 x 20 x 3 mm) siendo algunas un refuerzo que rigidiza los pilares (150 x 150 x 3 mm) cuyas fundaciones son individuales de hormigón. Cada *hypar* tiene parábolas delgadas cruzadas en diagonal (15 x 3 mm aprox.) unas en tracción y otras comprimidas, rigidizadas con las co-

rreras de madera económica (2 x 2") que además de recibir las cubiertas metálicas fijan la cuadrícula y cumplen funciones estructurales. El autor, Sergio Rojo, continuó estos experimentos y replicó su sistema en proyectos que no se han publicado en las fuentes revisadas.

5. CASO DE HYPAR EN ALTURA

Por último, en 1978, se crean *hypars* en el edificio "La Pirámide del Sol" en Santiago, del arquitecto Octavio Soto D'Angelis, que fue compañero del citado Luis Moreno en la Universidad Católica de Chile, y el ingeniero estructural Ernesto Domínguez Ríos, titulado también en esa Universidad. La obra es maciza y la cubierta contrasta por su estética ligera de acero, basada en generatrices regladas que debían permitir ser izadas en partes manejables hasta la azotea a los ocho pisos de altura, Figura 18.

La planta de 26 x 26 m y altura 2,6 m, tiene dos tipos de láminas: en las medianas de luz 7,5 m y en diagonales de luz 10,5 m. Es un sistema piramidal mixto de ocho vigas de acero plegado de bordes rectos, y el manto traslúcido es fibra de vidrio sobre las generatrices rigidizadas por parábolas cruzadas hechas con finas barras de acero de sección rectangular (+/- 50 x 3 mm).

Este caso evidencia que los *hypars* en planta no informan con claridad de su volumetría, ya que no se apoyan en vértices del cuadrado sino en puntos de los lados. Nuestro modelo

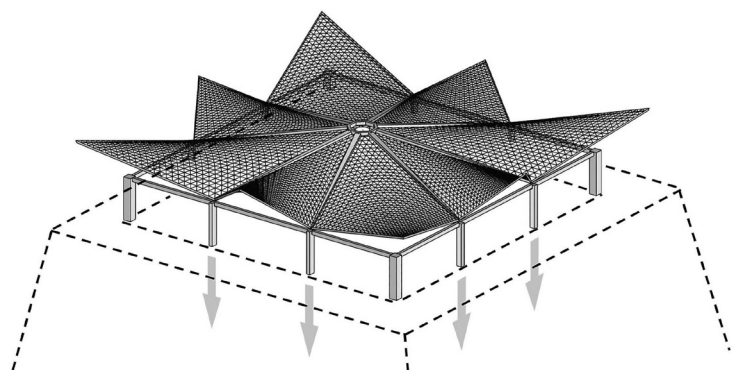


Figura 18. (Izquierda) Cubierta Pirámide del Sol. 1978. Fuente: G. Earth. (Centro) Fotografía interior. Fuente: propia. (Derecha) Modelación digital. Fuente: propia.

ilustra que los pilares siguen la estructura inferior, y el dintel de apoyo se une al cerramiento de vidrio que no toca el manto pero ayuda a proveer iluminación y ventilación natural al atrio central.

6. BREVES COMPARACIONES

Al comparar plantas, Figura 19, revelamos similitudes con un referente europeo nombrado por Hernán Riesco (Pérez 1997), el arquitecto alemán Otto Bartning (1930s) (izquierda). En efecto, hay parecidos con la Iglesia de San José de

Concepción (1962) (centro) y la Pirámide del Sol (1978) (derecha). Ahora bien, Bartning no usó *hypars*, pero las plantas comparten la composición radial que alterna dos sectores angulares, en medianas y diagonales, en el sentido del estudio de la liturgia que variaba de la lógica basilical alargada a una lógica más centralizada; en cada caso con cualidades singulares. Paralelamente, Félix Candela en Madrid creaba la Iglesia Nuestra señora de Guadalupe (1963) con los arquitectos Enrique de la Mora, José R. Azpiazu y el ingeniero José A. Torroja, donde también hay similitudes. Pero el parecido con

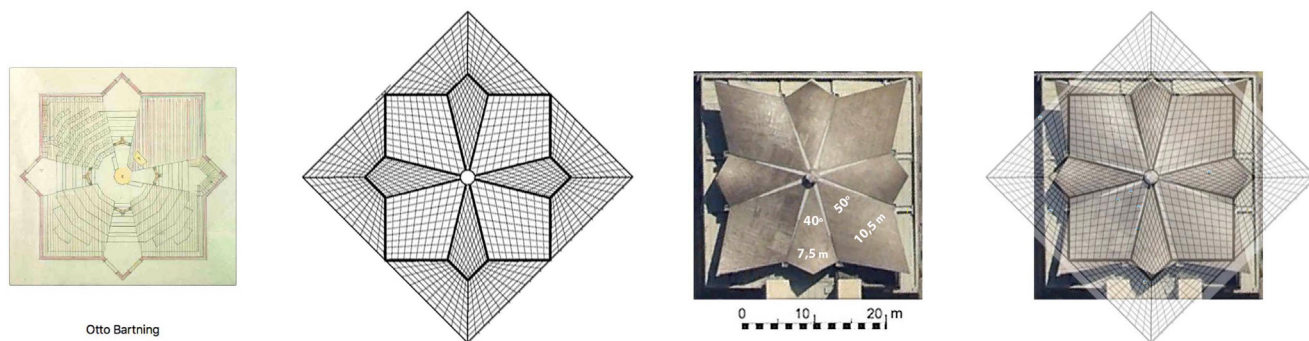
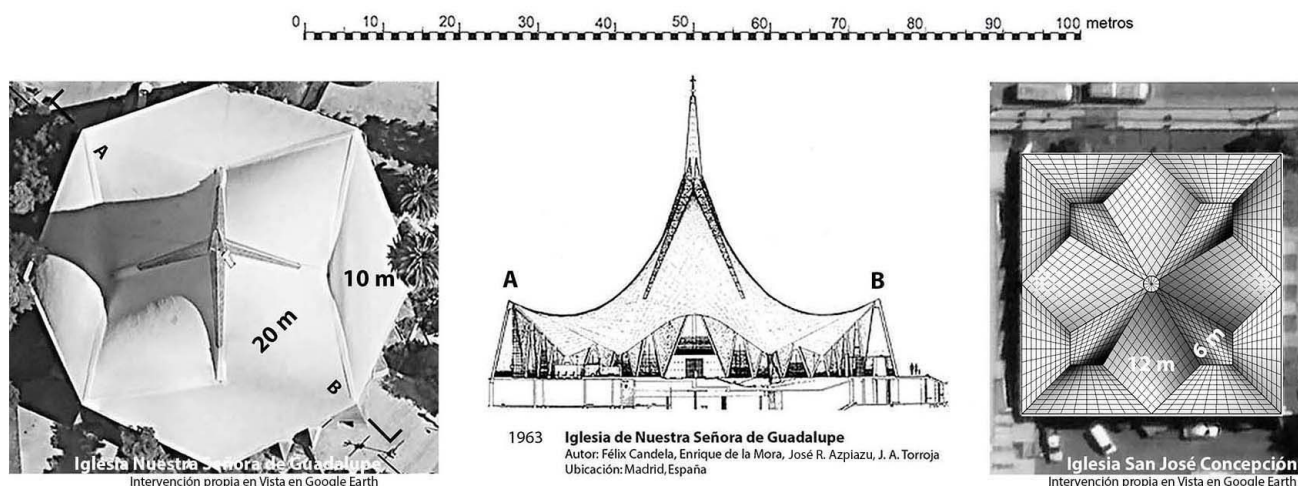


Figura 19. (Izquierda) Ideas de iglesias, O. Bartning (1930s). Fuente: Pérez 1997. (Centro y Derecha) Iglesia San José y Pirámide del Sol. Fuente: propia y G. Earth.



Comparación de casos chilenos en elevación a igual escala de tamaños

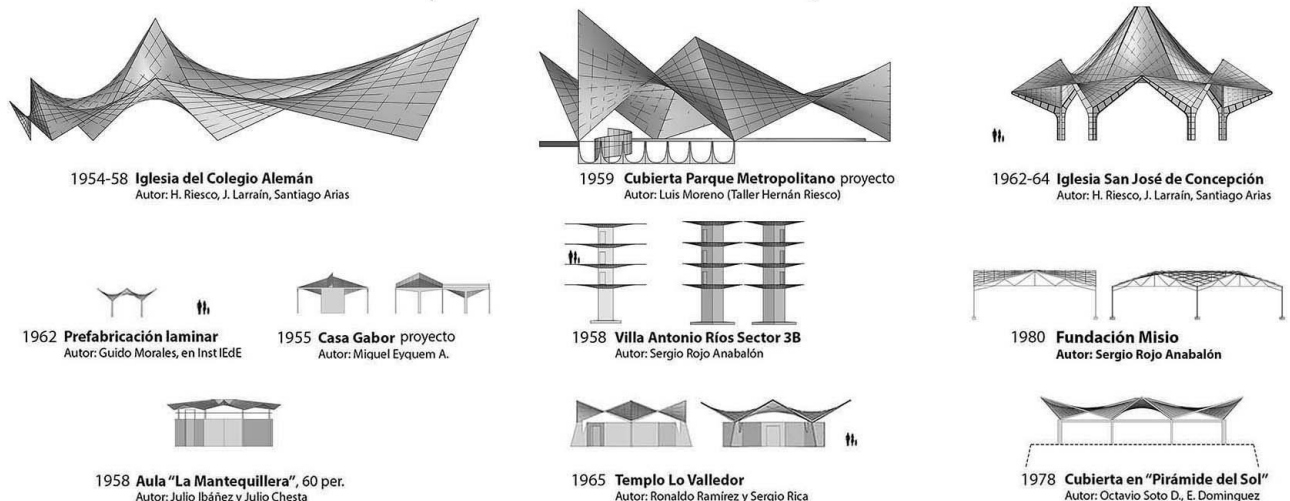


Figura 20. (Abajo) Escala comparativa, casos locales. Fuente: propia. (Arriba) Nuestra Señora de Guadalupe, Madrid. Fuente: G. Earth y arqfoto.com.

las iglesias chilenas no se puede atribuir a algún nexo entre autores ya que Chile entonces estaba relativamente aislado, y las coincidencias pueden provenir por temas de la eficiencia estructural de Félix Candela, la geometría reglada de Hernán Riesco y la prudencia sísmica del ing. Santiago Arias Soto.

La imagen anterior reúne a la misma escala los casos chilenos con la Iglesia Nuestra Señora de Guadalupe (1963) de Madrid, Figura 20, de planta octogonal (A-B=50m, alt 40m) y *hypars* centrales de luz 20 m y *hypars* laterales de 10 m. Félix Candela, decía que la luz debe ser menor a 28 m, ya que si crece la forma no crece proporcionalmente su peso y dilatación térmica, como antes se citaba de Galileo Galilei (Thompson 1917:27) (17). Así, Enrique de la Mora equilibró ocho *hypars* con pilares y bordes ordenando espacios de asamblea y deambulatorio. Es un caso donde la escala técnica aporta a la escala perceptual del espacio al organizar el interior junto a reducir el tamaño de los mantos.

Respecto de la escala humana y los *hypars*, al parecer en varios casos se pierde la relación de escala, pero en los cerramientos la escala es menor y vuelve a crear relación con el cuerpo, como en vanos, vitrales y en plegamientos. Es un tema que implica un enfoque interdisciplinario (18) que nos permite afirmar que no siempre coincide la escala técnica que inspira al ingeniero con la escala perceptual del arquitecto. Luego, la idea de escala es más amplia que comparar un patrón externo con la obra, y al ver todos los casos se revela un rango muy amplio de medidas.

Por otra parte, al comparar cerramientos vemos pliegues que buscan crear estabilidad propia para evitar “cargar” a la lámina por el viento o los sismos, es decir, evitando flexionar la lámina por momentos de giro en bordes comunes, Figura 21, según nos comentó Santiago Arias en una entrevista en 2004, acerca de las citadas iglesias que diseñó en el equipo de Hernán Riesco, y cuyos paramentos tienen diagonales o zigzag en sus bases, sea por temas estáticos como estéticos que afectan a los vidriados.

Respecto del material de los casos chilenos, cinco son de hormigón armado, cuatro de acero y uno mixto de acero y madera. Así, predomina la variedad de materiales ante la escueta cantidad del elenco local. Y las mayores luces se construyeron en acero en La Pirámide del Sol (22 x 22 m) e Iglesia del Liceo Alemán, Los Ángeles (15 x 30 m), Fundación Misio (15 x 15 m), en hormigón en la Iglesia San José de Concepción (20 x 20 m), la “Mantequillera” (diá. 14 m) y Templo Lo Valledor (12 x 12 m). Es decir, las mayores luces se observan en las

iglesias, en cubiertas comerciales y el galpón Fundación Misio fabricado de metal mixto con correas de madera del citado Sergio Rojo A.

Respecto del uso y significado de los casos chilenos, tres son espacios religiosos, uno deportivo, dos viviendas, un aula, un Taller de Oficios, un comercio, y un prototipo de prefabricado. Es decir, no hallamos uso industrial de *hypars* prefabricados, como sí lo logró en México Félix Candela al experimentar en cubiertas industriales de bajo costo, a veces sin usar cerramientos. Pero es en las iglesias en donde los casos chilenos lograron resultados similares a Candela, quizás con menor fineza por la citada prudencia sísmica, pero con interés estético en la relación entre geometría, estructura y luz (Pérez 1997) capaz de cambiar el significado de estas formas eficientes en templos.

7. CONCLUSIONES

El trabajo realizado confirma que en Chile el tema laminar tuvo un desarrollo con obras y proyectos de valor técnico y estético en sintonía con el tema en la región. Pero no se había estudiado dentro de un conjunto coherente para analizar casos, autores y sus características o rasgos distintivos en el contexto nacional.

En el país, el tema laminar no ocurrió de manera masiva en prefabricados ni en una vertiente clara de la arquitectura, sino que se crean obras distintas en sus formas, materiales y usos, lo cual se relaciona a objetivos especulativos más que productivos de rendimiento o economía como suele ser en amplias naves. Ello puede explicar el tono experimental en términos técnicos y de expresión de las estructuras a la vista, con la incorporación de temas artísticos, valores del lugar o la liturgia en las iglesias.

Al formular el conjunto revelamos que tiene menos cantidad de casos si se compara con México, Colombia y países que, -según recientes libros de Juan Ignacio del Cueto Ruiz Funes (2021) y Jorge Galindo Díaz (2022)-, tenían nexos con Félix Candela o su firma *Cubiertas Ala* cuyas redes de profesionales facilitaban hacer proyectos de variado propósito y tamaño en otros países.

Pero en Chile, fueron arquitectos e ingenieros locales de varias universidades que compartían temas de Geometría Descriptiva quienes dieron el “salto” a experimentar siguiendo el ejemplo de referentes citados como B. Laffaille, F. Aimond y estudios de Franz Dischinger en cálculo y construcción, según corroboramos en revista *Técnica y Creación* en sus listados de

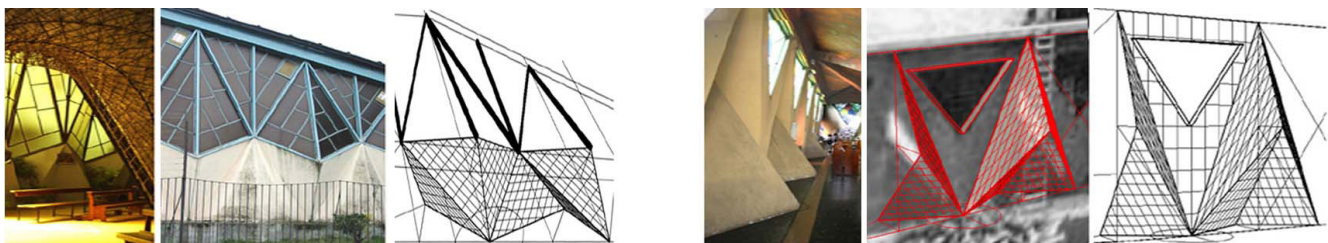


Figura 21. (Izquierda) Iglesia del Liceo Alemán en Los Ángeles (1954-64). (Derecha) Iglesia San José de Concepción (1960-62) Fuente: fotos y modelación propia.

bibliografías, que tocan ingeniería europea y americana. Entre ellos, Eduardo Torroja y Félix Candela, si bien son reconocidos en los institutos de estructuras chilenos y visitaron el país no hallamos registros de casos de paraboloides hiperbólicos de su autoría o asesoría, lo cual ha sido omitido en la historiografía.

Los autores del tema laminar, que incluye *hypars*, surgen de fuentes distintas: en la Universidad de Chile en dos institutos y en la P. Universidad Católica de Chile en un grupo pequeño de autores y de modo individual. Aunque hallamos otras fuentes de autores, pero se trata de obras que no son *hypars* sino que abarcan otras geometrías no regladas. Luego, algunos de esos autores fueron profesores en otras escuelas de arquitectura que surgieron en los 1960s y fueron asesores o nexos entre equipos como el ing. Santiago Arias Soto y arq. Sergio Rojo Anabalón. Esta idea central, la materialización de la geometría, nos lleva a valorar la labor de los citados institutos IEE en su interés en el tema laminar y al dictar seminarios de título de alumnos de arquitectura. Se trata, a nuestro juicio, de un modo de transferencia de conocimiento de modo interdisciplinario en la investigación aplicada con varios materiales y no solo del hormigón.

En ese sentido, hay dos dimensiones del tema laminar, una es la forma y la otra el estudio de materiales. Y es en el encuentro de esos dos mundos donde se encuentra a nuestro juicio la tesis de la investigación más amplia del tema laminar, ya que, según nuestra hipótesis, es en estas alternativas a los modos convencionales de adintelados ortogonales donde sintonizan los autores del género laminar en general, y los *hypars* en particular.

El tema no es la forma o los materiales por separado, sino que los autores unieron el mundo teórico y el mundo material con estas geometrías. Si bien son superficies conocidas hace siglos pocos se atrevían a construirlas por diversas razones, sea por el gusto de la época o falta de habilidad para concretarlas a escala real y darles uso práctico o con significado. Así afirmamos que los casos crean significados en la transferencia de conocimientos en el espacio habitable, y denotan la polaridad entre un modelo de pruebas abstracto y una obra orientada en un lugar.

El tema sísmico, hay que considerarlo como un catalizador de intereses distintos y no una causa del tema laminar. Por un lado, instó la búsqueda de seguridad en las construcciones y se empezó a valorar el monolitismo en estructuras solidarias, y por otro, surgió la audacia estructural como expresión moderna de la plasticidad y resistencia de materiales como el hormigón y el acero. Pero los expertos en cálculo no siempre eran expertos en obras laminares, de hecho, el cálculo era incipiente y se usaron criterios de equilibrio simplificados con normas no específicas del tema laminar, ya que no son guías de diseño formal (Arias 2004). Aunque fueron autores de la línea laminar quienes estudiaban cálculo avanzado y probaban usar esta geometría en la arquitectura (Rica 1960) (19). Por último reiteramos que este estudio es cualitativo, y al entrevistar autores se reveló que casi no se conocían entre sí o sus obras, y pocos usaban cálculo sino las virtudes resistentes de las láminas que algunos probaron en modelos a escala reducida con proporciones simplificadas, con pocos medios y en variados materiales.

REFERENCIAS

- (1) Cueto Ruiz-Funes, Juan Ignacio del (2021). *La estela de Félix Candela. Cascarones de concreto armado en México y el mundo*, México, B. Artigas. ISBN 9786078781447.
- (2) Aedo, Francisco (ed.) (1960). Presentación y propósitos, *Técnica y Creación*, N°1, Agosto; 1-2.
- (3) Pavez, María Isabel (1992). *La institución del Urbanismo en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile (1928-1988)*, Santiago: Universidad de Chile; 21-31. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/118077>.
- (4) Candela, Félix (1968). El escándalo de la Ópera de Sidney, *CA Colegio de Arquitectos de Chile*, N°1, Enero Febrero; 13-19.
- (5) Briones, Á.; Oliva, I.; Ramírez, K. (2020). Industria del cemento en Chile: CBB y su mirada hacia el futuro. *Estudios de Administración*; Vol.27 N°2, Julio Diciembre; 64-95. Recuperado de <https://revistaschilenas.uchile.cl/>. <https://doi.org/10.5354/0719-0816.2020.58179>.
- (6) Gorbea, Andrés Antonio de (1845). *Tratado de Jeometría Descriptiva* (sic), Santiago: Imprenta del Progreso; s/n.
- (7) Aguirre, Max (2010). *La arquitectura moderna en Chile (1907-1942)*. *Revistas de arquitectura y estrategia gremial*, Chile, Santiago: Editorial Universitaria. ISBN 956112369x.
- (8) Eliash, H.; Moreno, M. (1989). *Arquitectura y modernidad en Chile 1925-1965. Una realidad múltiple*, Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- (9) Faber, Colin (1970). *Las estructuras de Candela*, México, CECSA. (Candela, the Shell Builder, 1963).
- (10) Pérez O., Fernando (1997). *Iglesias de la Modernidad en Chile. Precedentes europeos y americanos*, Santiago, Chile: ARQ Universidad Católica de Chile; 130. ISBN 10: 9561404532.
- (11) Entrevista al Padre Bruno Romahn (2004). Concepción, Chile.
- (12) Entrevista al ingeniero Santiago Arias Soto (2004). Santiago, Chile.
- (13) Poyán, Daniel (1962) evocación...(sic), *Informes de la Construcción*, Vol 14, N137, Enero Febrero, CSIC, Madrid; 4-7.
- (14) Eyquem, M.; Baixas, J.I.; et al. (2009). *Hormigón en obra; forma resistente 6.1*, Santiago: ARQ Universidad Católica; 71. ISBN N° 978-956-14-1044-2.
- (15) Galindo, Jorge; Botti, Giaime (2022). *Construcción, estructuras y transmisión de conocimientos en la arquitectura del siglo XX, Láminas de hormigón armado del arquitecto Félix Candela en Colombia*, Manizales: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Primera edición; 24-47.
- (16) Morales, Guido (1963). Prefabricación de formas laminares. *Técnica y Creación*, Abril 6; 15.
- (17) Thompson, D'Arcy (1917 [1992]). *On Growth and Form*, Cambridge: Dover; 27.
- (18) Cassinello, Pepa; Schlaich, Mike; Torroja, José A. (2011). *Estructuras ligeras*, Madrid: Mairea; pp. 9-20. EAN: 9788492641864
- (19) Rica López, Sergio (1960). *Arquitectura de las superficies. Introducción al estudio de las estructuras laminares*, Santiago, Chile: Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo; s/p.