

Multihalle de Frei Otto. Una cubierta generada por compresión, como modelo. Mannheim, 1974-1975

Multihalle by Frei Otto. A cover generated
by compression, as a model. Mannheim, 1974-1975

FERNANDO M. MOLINA LEÓN

Fernando M. Molina León, "Multihalle de Frei Otto. Una cubierta generada por compresión, como modelo. Mannheim, 1974-1975", *ZARCH* 11 (Diciembre 2018): 154-167. ISSN: 2341-0531. http://doi.org/10.26754/ojs_zarch/zarch.2018113213

Recibido: 15-6-2018 / Aceptado: 27-9-2018

Resumen

Frei Otto ha sido muy reconocido por su arquitectura de membranas traccionadas, quizás por eso su trabajo con elementos que trabajan a compresión siempre ha sido eclipsado. El Multihalle de Mannheim es un pabellón de gran dimensión que destaca por su comportamiento estructural salvando tan grandes luces, con recursos muy optimizados. En un principio se ideó para ser de uso temporal, pero los 43 años que lleva en pie el pabellón son testigos su gran valor. Sin los medios tecnológicos con los que contamos ahora el cálculo del Multihalle fue toda una proeza, el propio pabellón fue, a la vez, modelo de pruebas y edificio.

En el presente artículo se describe el proceso de formalización a través de maquetas y el atrevimiento del arquitecto alemán para realizar la más simple cubierta compleja del mundo.

Palabras clave

Frei Otto, Optimización, Estructura de madera, Compresión, Form-finding.

Abstract

Frei Otto is well known for his tractioned membrane architecture. Perhaps that is why his work with elements working in compression has been dismissed. The Mannheim's Multihalle is a pavilion of great dimension that stands out for its structural behaviour: with highly optimized resources, savies such great lights. At first, it was designed for a temporary use, but until now the pavilion has been standing for 43 years, which highlights its great value. Without the technology of today the calculation of the Multihalle was quite a feat. The pavilion served at the same time as a test model and a building.

The daring of the german architect when making the simplest complex cover in the world inspired this article. We describe through models the formalization process of its lattice.

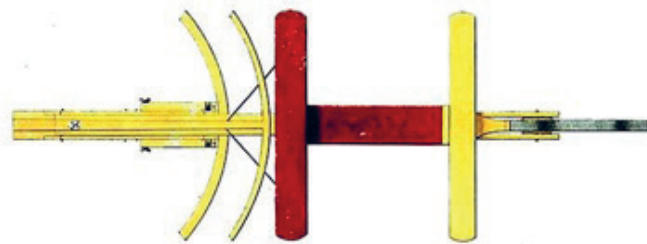
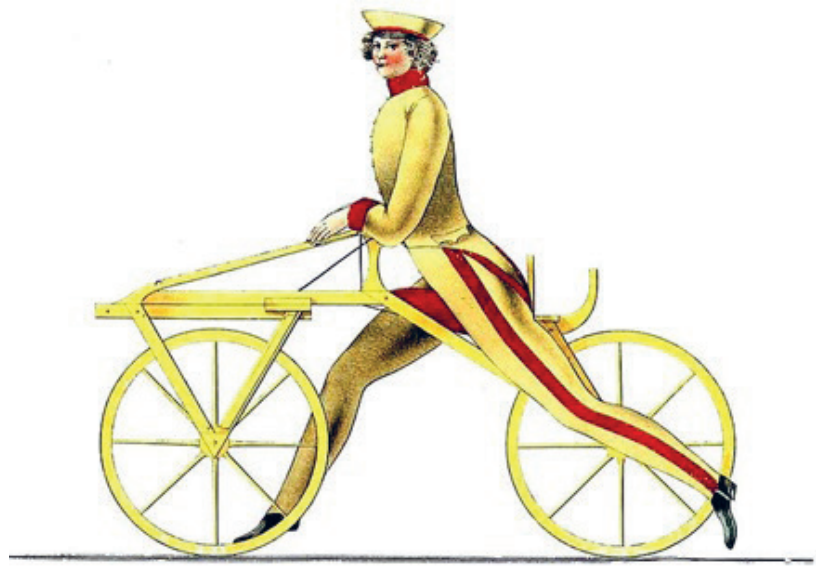
Keywords

Frei Otto, Optimization, Wood structure, Compression, Form-finding.

Fernando Molina es arquitecto por la ETSAS (Sevilla) y profesor en la ETS Arquitectura de la Universidad de Navarra. Desde 2010 investiga en la importancia de trabajar con modelos físicos para la formación, docencia y planificación del ejercicio profesional de la arquitectura. Todo ello lo hace desde la *arquitectura efímera*. Esta manera de trabajar la concibe como un "clima" adecuado para la experimentación y avance de la arquitectura, con una proporcionalidad entre los medios utilizados y los fines buscados en sus obras. Desde 2015 está desarrollando su tesis doctoral sobre este ámbito y compaginando su investigación con la docencia en el primer curso del grado de arquitectura dentro de la asignatura "*Laboratorio de Geometría y Forma I y II*", y en el primer curso del grado de estudios de Diseño de la Universidad de Navarra en las asignaturas de "*Forma e Imagen*" y "*Laboratorio de Integración I y II*". También es el director de Producción Digital del Laboratorio de Construcción de la ETSAUN donde se trabajan modelos digitales y se materializan a través de la tecnología láser y de adición 3D, de los estudios de grado en Arquitectura y Diseño, para el desarrollo de nuevas materialidades. Website: <https://fernandomolinaarquitectura.divisare.pro/>

[Fig. 1] Grandes inventos acaecidos en Mannheim: La primera bicicleta, aún sin pedales, invento de Karl Drais en 1817 y el primer vehículo propulsado por combustión (tal y como los disfrutamos en la actualidad) invento de Carl Benz en 1886.

Fuente: Web oficial de Mercedes Benz.
<https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/classic/history/corporate-history/>
Visitado 2 de febrero de 2018.



1817 PATENTED 1817
Freiherrn Carl von Drais.
Original del. et. imp. Strasbourg 1817

Introducción

Mannheim es, después de Stuttgart y Karlsruhe, la tercera ciudad de Baden-Wurtemberg, uno de los dos estados federados del sur de Alemania. Una ciudad que ha pasado casi desapercibida en la historia pese a haber acogido grandes hitos de ella en relación al desarrollo de la tecnología que hoy disfrutamos.

Aunque el primer auge cultural de la ciudad fue en 1720 con el inicio de la primera orquesta moderna promovida por Carlos III Felipe de Neoburgo (1661-1742)¹, no fue hasta 1817 cuando en el seno de esta ciudad se empezaron a fraguar grandes sueños de la humanidad. El barón Karl Freiherr Von Dais (1785-1851) construyó en Mannheim la primera bicicleta del mundo, aún sin pedales [Fig. 1]. Un invento que revolucionaba la visión del transporte, poco menos que era el primer sustituto del caballo, una máquina tan ligera y sencilla que era capaz de multiplicar la resistencia y velocidad del hombre. Algunos escépticos dudaron de su utilidad al comprobar que su estabilidad dependía del movimiento, pero los resultados, que aún disfrutamos, hablan de su gran triunfo.

Algo más de 60 años después, también en Mannheim en 1886, Carl Benz² patenta su “vehículo propulsado por motor de gas” [Fig. 1] y realiza la primera prueba el 3 de julio. El 5 de agosto de 1888 su mujer Bertha Benz, hace el primer recorrido interurbano de un coche desde Mannheim hasta Pforzheim. Muchos lo habían intentado antes como Nicolas-Joseph Cugnot³ en 1769, con el Fardier, el primer vehículo a vapor, demasiado pesado, caro y ruidoso. También lo intentó William Murdochen 1801 con una réplica de locomotora reducida que tampoco llegó a “cuajar” por motivos muy parecidos.

1 Este monarca, tras trasladar su corte de Heidelberg a Mannheim, comienza a construir el palacio y la transforma en la ciudad residencial de la corte. Inicia así la época dorada de la ciudad donde florece la vida cultural en artes, ciencias y comercio. Esta época durará poco, no llega a 60 años, ya que, en 1778, el sucesor de Carlos Felipe, Carlos Teodoro del Palatinado y Baviera (1724-1799), traslada su residencia a Munich, frenando el florecimiento de la ciudad.

2 Karl Friedrich Benz (1844-1929), fue un ingeniero alemán. Es considerado uno de los inventores del automóvil.

FERNANDO M. MOLINA LEÓN

Multihalle de Frei Otto. Una cubierta generada por compresión, como modelo. Mannheim, 1974-1975

Multihalle by Frei Otto. A cover generated by compression, as a model. Mannheim, 1974-1975



[Fig. 2] Fotografía aérea. El actual recubrimiento es blanco sin brillo pero el original era negro y brillante.

Fuente: *Frei Otto, Carlfried Mutschler, Multihalle*. Georg Vrachliotis. Spector Books 2017.

De nuevo en esta ciudad y gracias al diseño de una máquina mucho más ligera que la de los más recientes hallazgos de la época en torno al desarrollo del nuevo modelo de transporte, cambiaría el rumbo de la técnica desde entonces.

Pese a estos grandes inventos, el país tuvo una entrada lenta en la industrialización; Alemania era un país subdesarrollado cuando Gran Bretaña ya estaba muy desarrollada a principios del siglo XIX. Sin embargo, a lo largo del siglo y hasta la primera guerra mundial, Alemania logró una industrialización bastante rápida y superó a Gran Bretaña en varios sectores de industria hasta convertirse en potencia europea en el advenimiento de la primera guerra mundial.⁴

Después del periodo de las dos guerras mundiales (1914-1918 y 1939-1945), la ciudad y todos sus proyectos quedaron destruidos casi por completo, ya nada hablaba allí de lo que en su día fue esta ciudad. Mannheim, como casi todo el resto de Alemania y gran parte de Europa, tuvo que empezar de nuevo de cero. Pocos medios, poca ayuda... los días de gloria cultural y científica llegaron a parecer parte de cierta mitología.

Pero poco a poco volvió a despertar. En 1967 logra ser ciudad universitaria y en 1975 acoge otra gran proeza tecnológica, esta vez aplicada a la arquitectura, de la mano de Frei Otto, que ha llevado muy lejos a la tecnología aplicada a la construcción; el Multihalle de Mannheim [Fig. 2].

De nuevo un invento revolucionario. De nuevo algo que muchos habían intentado pero con resultados muy poco satisfactorios, pesados, inviables; doblar la malla flexible más grande y delgada del mundo para cubrir una sala de exposiciones [Fig. 3, 4 y 5].

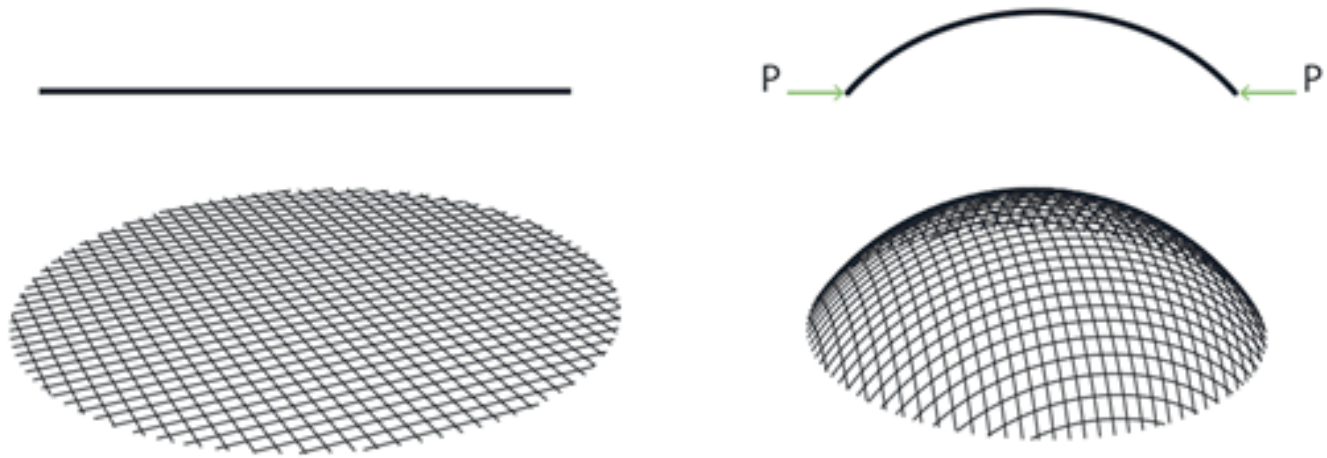
Esta vez la ligereza al servicio de la optimización, conjugando resistencia y bajo coste, dio un resultado de gran belleza natural a esta cubierta gigante hecha a mano.

Diseñada por Frei Otto para sólo ser usada temporalmente, ante la gran acogida de la gente a este edificio tan singular, fue declarada de tan alto interés que se ha conservado hasta nuestros días, algo más de 43 años después.

Pese a ser una "hazaña" constructiva tan interesante, no obtuvo, incomprensiblemente, tanto reconocimiento como otras obras de Frei Otto como el Estadio Olímpico de Múnich o el Pabellón Alemán de la Expo'67 [Fig. 6].⁵

3 Nicolas-Joseph Cugnot (1725-1804) fue un inventor francés a quien también se le atribuye la invención del primer vehículo autopropulsado o automóvil que funcionaba como una máquina de vapor con cañones pesados.

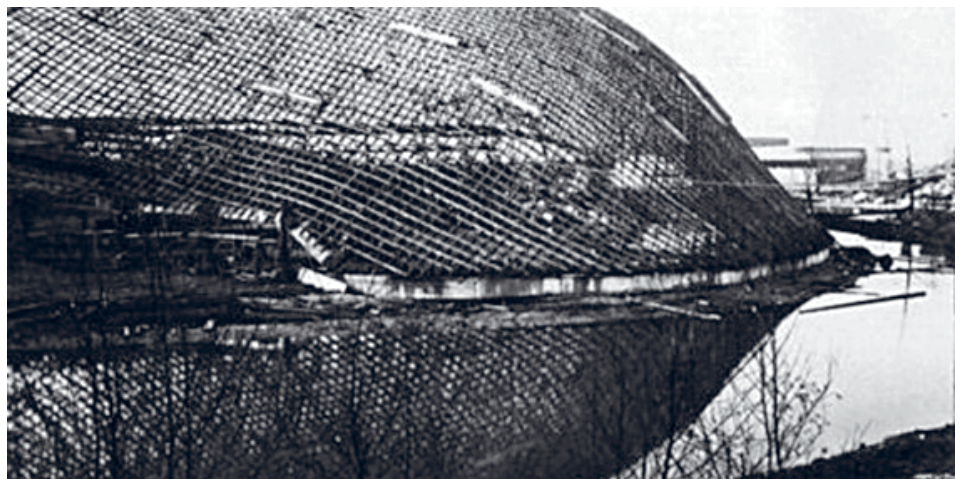
4 <https://unpequenoempujeeconomico.wordpress.com/2013/02/17/alemania-del-desarrollo-industrial-tardio-al-pais-arribista/>



[Fig. 3] Esquema de funcionamiento estructural del Multihalle. Estudio gráfico realizado por la Universidad de Princeton.
Fuente: <http://shells.princeton.edu/Mann1.html> Visitado 20 de diciembre de 2017.



[Fig. 4] Celosía completa antes de ser instalada.
Fuente: *Frei Otto, Carlfried Mutschler, Multihalle.* Georg Vrachliotis. Spector Books 2017.



[Fig. 5] Celosía completa siendo elevada.
Fuente: *Frei Otto, Carlfried Mutschler, Multihalle.* Georg Vrachliotis. Spector Books 2017.

Esta artificial puesta en marcha de procesos naturales en busca de la autoformalización es la esencia de la investigación de Frei Otto.

Es la autoformalización la que permite que la producción humana sea también natural en lugar de artificial y la tarea del arquitecto será construir el “edificio biotópico”, la ciudad como un sistema ecológico, la manera de obtener el edificio con la mínima masa, o con la mínima energía empleada.

5 Otto también se muestra también crítico con su propia obra. Por ejemplo, considera que el Estadio Olímpico de Múnich podría haberse realizado mucho más ligero (Songel, 2009), en ese sentido no es una obra tan depurada a pesar de su fama internacional. Frei Otto prefiere el Aviario del Zoo de Múnich, que es una obra en la que su materialidad, en el límite, sí está en el máximo nivel de ligereza que tienen siempre como objetivo sus obras y proyectos.

Con procesos de autoformalización, el entendimiento de la forma de las geometrías contenidas o interpretables de la naturaleza ha sido una de las constantes de su sistemática labor a lo largo de los años. La naturaleza será vista como modelo de aprendizaje geométrico en el que las cosas se resuelven fácilmente, con el mínimo esfuerzo.



[Fig. 6] [Fig. 5] Grandes obras de Frei Otto: Aviario de Munich, Pabellón Alemán de la Expo'67 en Montreal y Estadio Olímpico de Múnich. Todas ellas funcionando a tracción. El Multihalle permite dar un nuevo rumbo a la investigación de Frei Otto.

Fuente: *Frei Otto. THINKING BY MODELING*. Edited by Georg Vrachliotis and Joachim Kleinmanns, Martin Klunz and Philip Kurz. Spector Books 2017.

6 La Bundesgartenschau (abrv. BUGA) es la exhibición hortícola bienal federal de Alemania. También cubre temas como el ajardinamiento. Tiene lugar en diversas ciudades, cambiando la localización en un ciclo de dos años. Todos los años la Bundesgartenschau es una *internationale Gartenschau* (exposición internacional de jardinería).

Con un alto presupuesto, en las citas respectivas se observan las últimas tendencias de la arquitectura del paisaje y jardinería, en apoyo de los objetivos de desarrollo regional. Una buena discusión general sobre la historia del “*Bundesgartenschau*”, se puede encontrar en el libro “*Grounds for review: the garden festival in urban planning and design*” por Andrew Theokas. Ed: Liverpool, 2004.

Ciudades en las que se había celebrado hasta entonces: 1951-Hanover, 1953-Hamburgo, 1955-Kassel, 1957-Colonia, 1959-Dortmund, 1961-Stuttgart, 1963-Hamburgo, 1965-Essen, 1967-Karlsruhe, 1969-Dortmund, 1971-Colonia, 1973-Hamburgo, y 1975-Mannheim.

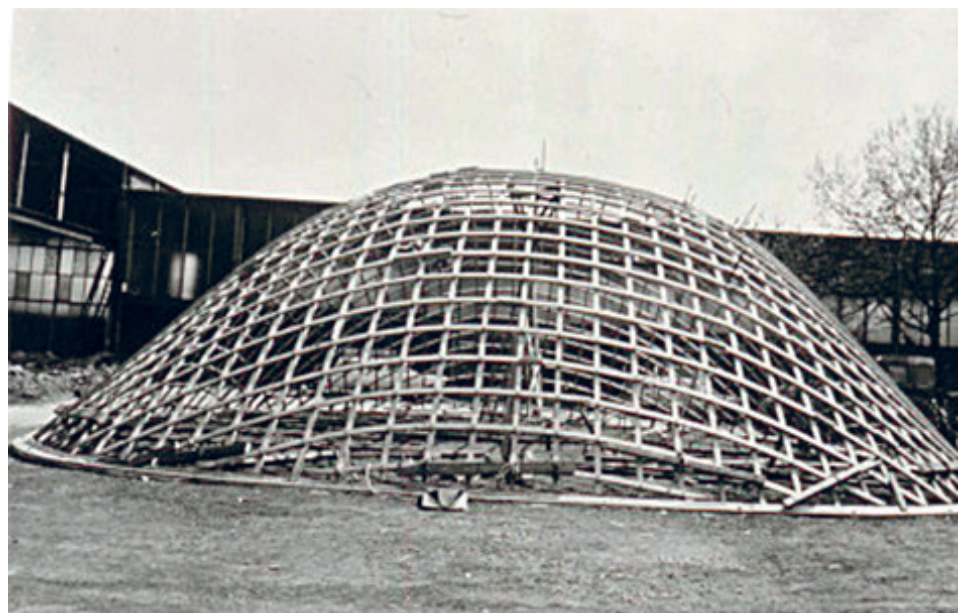
7 Carlfried Mutschler (1926-1999) fue un arquitecto alemán. Realizó edificios complejos a gran escala para el sector privado y público. Desde 1978 enseñó como profesor honorario en la Städelschule (Academia Estatal de Bellas Artes) en Frankfurt.

8 Joachim Langner (1929-2017) era un arquitecto alemán. Sus edificios más famosos incluyen la ampliación de los museos Reiss-Engelhorn (una red de museos de Mannheim que reúne a varios museos, instituciones culturales e instituciones de investigación), el ayuntamiento de Mannheim y el Multihalle.

9 Heinz H. Eckebracht, paisajista, fue elegido para diseñar los jardines que rodean el espacio expositivo.

10 El Herzogenriedpark es un parque público en el distrito de Mannheim Neckarstadt-este, al sur del asentamiento de Herzogenried. Junto con Luisenpark formó parte del Federal Garden Show de 1975.

11 El Prof. Dr.-Ing. Ewald Bubner fue socio de Frei Otto en Warmbronn, cerca de Stuttgart, de 1968 a 1975. Desde 1976 fue director del Instituto de Construcción de Edificios de la



[Fig. 7] Estructura de prueba de caparazón de Essen, Debau, 1962.

Fuente: *Frei Otto, Carlfried Mutschler, MULTIHALLE*. Georg Vrachliotis. Spector Books 2017.

El proyecto. Desde el inicio hasta la construcción

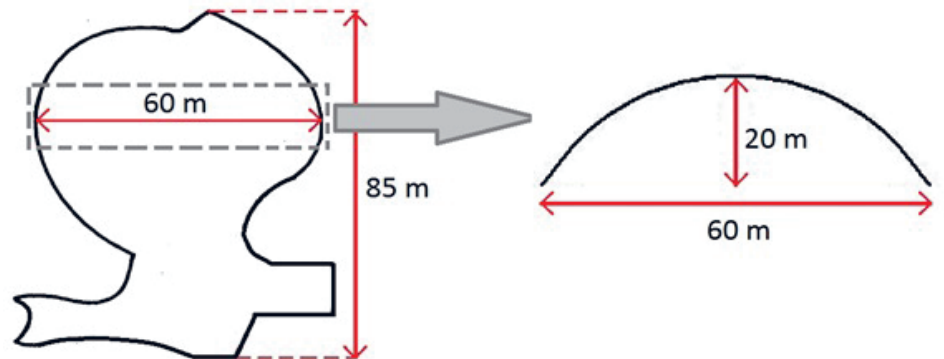
En enero de 1970 se decidió celebrar el Bundesgartenschau⁶ de 1975 en Mannheim. Carl Mutschler & Partners (Carlfried Mutschler⁷ y Joachim Langner⁸) de Mannheim fueron seleccionados como arquitectos y Heinz H. Eckebracht⁹ de Frankfurt como arquitecto paisajista para el Herzogenriedpark¹⁰. El edificio de salón polivalente iba a ser la característica central en una dirección y con un restaurante al otro lado.

Una característica propia del sitio, una llanura del Rin, era un gran montículo formado a partir de material de demolición acumulado de la guerra. Al ver aquello el arquitecto paisajista quiso una continuación de la forma montañosa por medios arquitectónicos.

Después de algunas ideas locas, los arquitectos recordaron los ensayos de celosía de madera de Essen [Fig. 7] de Otto y se reunieron con él en su estudio de Warmbronn. Después de algunos intentos formales preliminares, los arquitectos y los colaboradores de su estudio de Warmbronn, se hicieron con malla de alambre, particularmente Ewald Bubner¹¹, y desarrollaron un modelo de malla de alambre 1:500 con dos estructuras de domo grandes con túneles que los entrelazaban.

[Fig. 8] Foto de Jonas Leihener sobre la maqueta del aspecto final exterior.

Fuente: *Frei Otto. Thinking by modeling.*
Edited by Georg Vrachliotis and Joachim Kleinmanns, Martin Klunz and Philip Kurz.
Spector Books 2017.



[Fig. 9] Esquema de dimensiones principales. Estudio de la Universidad de Princeton. Estudio gráfico realizado por la Universidad de Princeton.

Fuente: <http://shells.princeton.edu/Mann2.html>. Visitado 20 de diciembre de 2017.

Los proyectos que anteriormente dieron fama a Frei Otto se basaban en sus estudios de estructuras colgadas o “tiendas”, es decir, de trabajos con superficies flexibles traccionadas y suspendidas mediante mástiles de apoyo trabajando a compresión, una combinación de estructuras traccionadas y comprimidas, como si de una estructura en tensegridad básica se tratara [Fig. 6].

El proyecto para la Exposición Temporal Federal de Agricultura en Mannheim supuso, sin embargo, un reto en otra dirección. Carlfried Mutschler y Johaquin Langner, ganadores del concurso convocado en 1970 para la construcción de un Pabellón Multiusos¹², plantearon para la cubierta del café una estructura de madera y un globo de gas como cubierta, aunque este fue rápidamente descartado en reuniones con las autoridades por motivos de normativa de seguridad.

El equipo pronto recordó el nombre de Frei Otto y su “gridshell” en la DeuBau (abreviatura de la Deutsche Bauausstellung), Essen, en 1962; un experimento que doblaba una celosía de madera articulada por acción de fuerzas de compresión hasta crear un espacio en su interior que quedaba fijado por un anillo exterior que conservaba la compresión [Fig. 7]. Este proyecto le sirve a Frei Otto como continuación de su investigación aplicada a un modelo real.

El programa del concurso era sencillo. Lo que se pedía era cubrir un espacio libre amplio que sirviera de espacio de exposiciones, en el que había que dejar libre la planta, con el número menor posible de apoyos intermedios. A esa gran sala se le añadiría un restaurante.

Universidad de Essen. Al mismo tiempo, trabajó como consultor para 30 empresas en todo el mundo en el campo de la construcción ligera. También enseñó como profesor invitado en la Universidad de Harvard en Cambridge, EE. UU. Y la Universidad de Belgrano en Buenos Aires / Argentina. Ewald Bubner es autor de libros especializados y artículos especializados y conferencias sobre construcción liviana en Alemania y en el extranjero.

12 “Frei Otto and the development of gridshells”. Case Studies in Structural Engineering. Volumen 4, Diciembre 2015, Págs 39-49

Anatomías
arquitectónicas primitivas
Primitive
architectural anatomies

FERNANDO M. MOLINA LEÓN

Multihalle de Frei Otto. Una cubierta generada por compresión, como modelo. Mannheim, 1974-1975

Multihalle by Frei Otto. A cover generated by compression, as a model. Mannheim, 1974-1975



© DAM UND FREI OTTO \ FOTO: UWE DETTMAR



[Fig. 10] Maqueta colgante tridimensional.
Foto de Uwe Dettmar.

Fuente: *Frei Otto, Carlfried Mutschler, Multihalle*.
Georg Vrachliotis. Spector Books 2017.

[Fig. 11] Modelo final de la cadena colgante
para Mannheim.

Fuente: Fuente: *Frei Otto. Thinking by modeling*.
Edited by Georg Vrachliotis and Joachim Kleinmanns,
Martin Klunz and Philip Kurz. Spector Books 2017.

No poner apoyos intermedios era una tarea pendiente de Frei Otto que traía de proyectos anteriores. Así como en sus anteriores edificios estaba condicionado por los mástiles intermedios que tensaban la cubierta y permitían ganar cota a sus membranas, en este caso los bordes, todo el contorno del edificio sería el que mantendría en pie y en altura a la edificación. Este planteamiento tan radical es el que hace del Multihalle un edificio sin precedentes.

Siendo así, el resultado fue una construcción ligera, optimizada y minimizada. Tuvo una forma generada por compresión, es decir, que al someterla a esfuerzos axiales de compresión se deformaba hasta la forma que finalmente se fijó para el proyecto. Pero había un punto débil que amenazaba el diseño de esta grandísima cubierta [Fig. 8 y 9], la compresión generaría la forma curva pero ¿hasta cuándo? ¿Hasta qué límite había que llegar? Como buen arquitecto que no se deja llevar por criterios únicamente formales necesitaba una justificación de “fuerza mayor” para terminar de “cerrar” el diseño de la cubierta, decidió que curvaría la celosía hasta que coincidiera con la forma de una catenaria, la misma forma que adquiere una cadena colgante [Fig. 10 y 11], para que sólo funcionase a compresión, un reto que antes tenía que comprobar.

Mucho se tardó y se tuvo que estudiar para que una idea tan radical fuese materializada, pero no se escatimó en detalles. He aquí algunos datos verdaderamente re-



[Fig. 12] Trabajos a mano.

Fuente: *Frei Otto, Carlfried Mutschler, Multihalle*. Georg Vrachliotis. Spector Books 2017.

veladores de la construcción: 33.000 nudos hechos a mano [Fig. 12], 7.400 m² de superficie cubiertos, con lo que es fácil pensar en que se eleva la superficie de cubierta a casi 10.000m², 80 metros de longitud, y 60m de luz en el ancho del edificio, 20m de altura, celosía de 50x50mm de celosía, 4 capas de listones, madera de cicutá... Los listones de 50 × 50 mm de sección llegaron en varias ocasiones a longitudes de hasta 6 m. Se les unió en la fábrica en longitudes de 30-40m de longitud mediante uniones hechas a mano. Las juntas y las uniones se hicieron clavando listones de 50 × 25 mm a cada lado de ellas. Esta técnica también se usó para reparar cualquier junta que se rompiera durante la instalación (Vrachliotis, 2017).

Las pruebas de flexión se realizaron en los listones para encontrar el radio mínimo de curvatura antes de romperse. Fue 10-12 m. Donde el radio era menor que esto, y por tanto con una curvatura más pronunciada, los listones se dividieron en dos capas de 25 mm de profundidad para reforzar. En resumidas cuentas, toda una proeza artesanal.

Sólo se habían construido dos edificios de semejante tamaño y sistema con anterioridad de celosía en todo el mundo y sólo por Frei Otto: un pabellón experimental para la German Building Exhibition de 1962 en Essen¹³ [Fig. 7] y la cubierta de la sala de conferencias en el pabellón Alemán de la Expo'67 en Montreal [Fig. 13 y 14].

El material original de la cubierta, por encima de los listones protegiendo el interior y la estructura de las inclemencias de tiempo, era tejido de Trevira, ennegrecido y

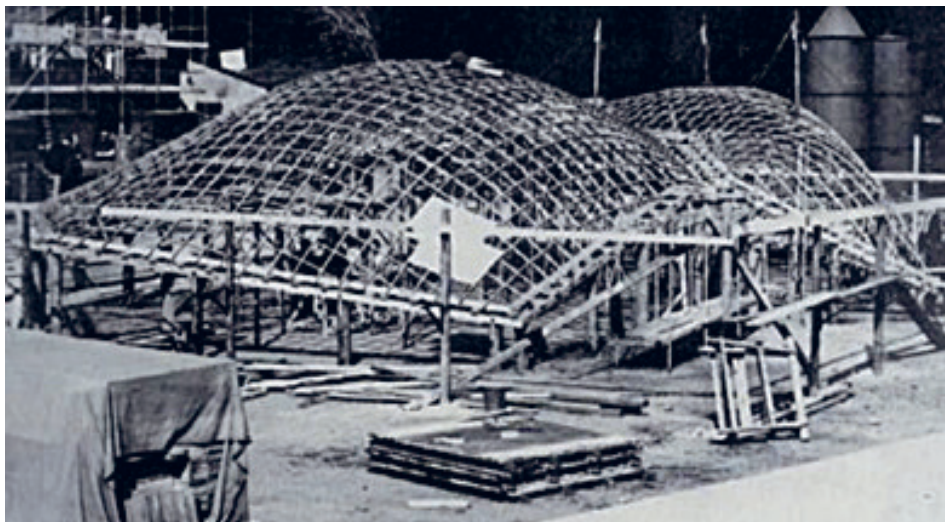
13 El pabellón experimental para la Exhibición de la construcción alemana DeuBau (abreviatura de la Deutsche Bauausstellung) de 1962 en Essen, fue una estructura de 15x15m construida por Frei Otto y Bernd Friedrich Romberg en Deubau, Essen en 1962. Más detalles en el siguiente apartado dentro de este capítulo, está narrado como uno de los modelos previos a los modelos con la forma definitiva.

Anatomías
arquitectónicas primitivas
Primitive
architectural anatomies

FERNANDO M. MOLINA LEÓN

Multihalle de Frei Otto. Una cubierta generada por compresión, como modelo. Mannheim, 1974-1975

Multihalle by Frei Otto. A cover generated by compression, as a model. Mannheim, 1974-1975



[Fig. 13] Cubierta para dos pequeños auditorios del interior del pabellón alemán de la Expo'67 de Montreal.

Fuente: *Frei Otto, Carlfried Mutschler, Multihalle*. Georg Vrachliotis. Spector Books 2017.

[Fig. 14] Interior de una de las dos cubiertas para dos auditorios del pabellón alemán de la Expo'67.

Fuente: *Frei Otto, Carlfried Mutschler, Multihalle*. Georg Vrachliotis. Spector Books 2017.

recubierto de PVC. Las bandas superpuestas de las uniones, se soldaron y se aplicaron a los listones con clavos con clips bukama.

Respecto a la celosía, una extensión infinita de cuadrículas, es bien conocido, pero se vuelve particularmente interesante cuando se consideran las condiciones de borde limitante ¿Cómo se transfiere la lógica de la estructura de la celosía a las fuerzas inherentes de la tierra? A través de tiras de hormigón en el suelo, y vigas de madera de doble capa (montadas en los bordes de la gran concha: hojas de madera de doble capa que proporcionan las mismas superficies y en algunos lugares por los cables que sostienen la cáscara).(Cachola, 2009) [Fig. 15]

Un equipo germano-japonés había estado trabajando en el Instituto para estructuras ligeras con Frei Otto desde 1971¹⁴. Por lo tanto la propuesta de colaboración del equipo de Mutscheler y Langner supuso una oportuna oferta que Otto aprovechó para aplicar directamente sus recientes investigaciones.

Otto utiliza el término “gridshell” para referirse a “tramas deformables” que normalmente ejecuta en madera. Estas tramas se resuelven mediante nudos flexibles y están constituidas por varias capas superpuestas, lo que permite flexibilidad y la sección suficiente para evitar el pandeo. El cálculo del ángulo de inclinación de cada nudo en ambas direcciones confiere a la superficie la capacidad

14 El Instituto para las Estructuras Ligeras de Stuttgart, en su número IL10, titulado Gridshells, que ve la luz en 1974, recoge el trabajo de estos años sobre las cubiertas de “conchas malladas” —cáscaras curvas—. Más tarde aparecerá en 1978 el número IL13 Multihalle Mannheim, que recoge pormenorizadamente la obra de Mannheim una “grid Shell” ejemplar.



[Fig. 15] Imágenes de la construcción.

Fuente: Archivo del IL (Instituto de Estructuras Ligeras de la Universidad de Stuttgart). Mayo de 2017.

de doble curvatura y, al contrario que las conocidas estructuras colgadas de Montreal y Múnich, los elementos de la estructura trabajan todos a compresión, en lugar de estar traccionados.

Otros elementos diagonales son necesarios en este tipo de estructuras para resolver los problemas de estabilidad de la estructura. En el caso de Mannheim la solución será aportada por cables que circulan por las diagonales de los cuadrados de la malla para fijar la deformación de esta en un punto determinado.

Para dicho cálculo Frei Otto acude a los ingenieros de Ove Arup en Londres y, en concreto, entra en contacto con Ted Happold¹⁵ a cargo del equipo Estructuras 3 dentro de Arup. La extremada esbeltez de la estructura y las grandes luces suponen un gran compromiso y un enorme reto para todo el equipo. Esa es la razón por la que el desarrollo del proyecto se dilate en el tiempo (Happold, Liddell, y Dickson, 1976).

15 Edmund Happold, ingeniero británico que inicia tras graduarse en Leeds su trayectoria en contacto con la arquitectura colaborando en el estudio de Alvar Aalto y que entra a formar parte del equipo de Ove Arup, colabora con Peter Rice en el desarrollo de proyectos como la Ópera de Sidney de Jørn Utzon, o del Centro de Arte Contemporáneo Beaubourg, conocido como Centro Georges Pompidou, junto con Renzo Piano y Richard Rogers. También colabora asiduamente con Frei Otto en el desarrollo de estructuras tensadas, y finalmente forma su propia oficina Buro Happold en 1976 con 7 empleados. Hoy tiene oficinas por todo el mundo.

16 Fritz Wenzel fue Ingeniero de pruebas y profesor universitario alemán de reconocido prestigio en Alemania en los años 60-70.

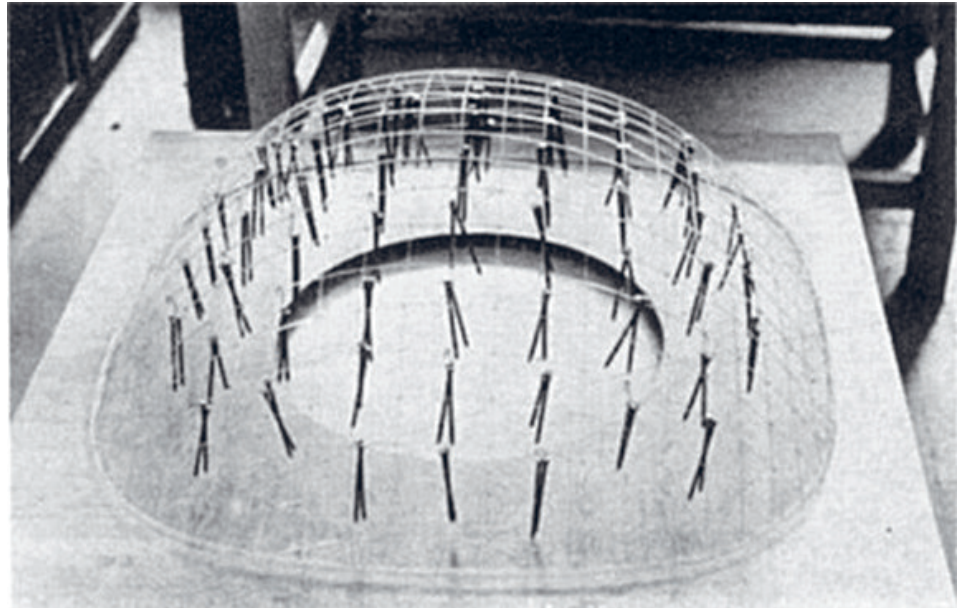
Una vez realizada la primera maqueta se realiza la segunda de comprobación. Desde Arup se realizan pruebas mediante modelos estructurales en dos direcciones y, dada la novedad de la estructura, el ingeniero Fritz Wenzel¹⁶ sugirió una tercera vía de comprobación con una prueba de carga de un modelo a escala real de la estructura. La deformación calculada mediante los métodos del equipo ofrece unos resultados de enorme precisión en su comprobación con la realidad, de los 80mm de deformación previstos, se obtienen unos resultados de 79mm de deformación reales (Vrachliotis, 2017).

La celosía estaba formada por listones de *Cicuta Americana*, que posee unos patrones de fibra extremadamente derechos, lo que garantiza un funcionamiento similar al de los modelos. La madera fue tratada con sales como retardante de cara a su protección contra el fuego. Los discos en la fijación permitían la transmisión de esfuerzos por rozamiento.

FERNANDO M. MOLINA LEÓN

Multihalle de Frei Otto. Una cubierta generada por compresión, como modelo. Mannheim, 1974-1975

Multihalle by Frei Otto. A cover generated by compression, as a model. Mannheim, 1974-1975



[Fig. 16] Prueba de carga del modelo en la gridshell de Essen cargado con clavos a modo de cargas puntuales.

Fuente: *Frei Otto, Carlfried Mutschler, Multihalle*. Georg Vrachliotis. Spector Books 2017.

En invierno de 1974/75, finalmente el caparazón de la celosía se podía erigir sobre los cimientos (Elser y Schmal, 2012).

El aprendizaje y contacto directos de Frei Otto con el taller de escultura de su padre pusieron al joven arquitecto en contacto con la manipulación de materiales y sus comportamientos al manipularlos de un modo directo, en experimentación pura y ensayos permanentes.

Método de investigación de Frei Otto y su aportación a la ciencia de la arquitectura

El método de investigación de Frei Otto supone una manera precursora de entender la relación con la naturaleza. Su acercamiento a la naturaleza no pretende ser una imitación, muchos arquitectos han dedicado sus carreras profesionales a esta empresa con más o menos atino, su propósito es la incorporación de la naturaleza a través de sus mecanismos de funcionamiento.

Este caso del Multihalle de Mannheim es toda una oda al trabajo de la madera a compresión. Cuesta incluso imaginarse que se propusiera tamaña insensatez de trasladar literalmente el modelo a la realidad; Comprimir una celosía descomunadamente grande hasta que se doble y habitar en ese espacio! Se trata de un método de investigación parecido a la biomimesis¹⁷ aplicada a la arquitectura, en el que lo que se imitan son los comportamientos físicos, no la apariencia externa.

Rainer Barthel destaca cómo el trabajo de Frei Otto se centra en los procesos físicos que acaecen la naturaleza en cuanto a su relación con la lógica del mínimo consumo energético (Otto, 2005).

La investigación del arquitecto alemán marca de una manera especial que imitar la naturaleza es imposible, es demasiado compleja. Su método de investigación se basa en simplificaciones del comportamiento natural; respuestas formales y tensionales a una determinada sollicitación, tracciones, compresiones, flexiones... con sus membranas tensadas desde los contornos y desde puntos elevados con mástiles¹⁸, con sus proyectos de embalses inflables, hasta el más distinto de todos los anteriores que es este de Mannheim, donde en vez de traccionar, comprime una celosía de madera.

Hasta entonces, el mundo de la construcción apenas conocía el trabajo de los materiales a compresión, donde los problemas se resolvían únicamente añadiendo

17 La biomimesis (de *bio*, "vida", y *mimesis*, "imitar"), también conocida como biomimética o biomimetismo, es la ciencia que estudia a la naturaleza como fuente de inspiración de nuevas tecnologías innovadoras para resolver aquellos problemas humanos que la naturaleza ha resuelto, a través de modelos de sistemas (mecánica) o procesos (química), o elementos que imitan o se inspiran en ella.

18 Ver Instituto de Estructuras Ligeras de la Universidad de Stuttgart, Pabellón alemán de la Expo'67 en Montreal, Estadio Olímpico de Múnich, Aviario de Múnich...

- 19 Robert Le Ricolais, un arquitecto e ingeniero francés llamado “El padre de las estructuras espaciales”, activo en los Estados Unidos de América y conocido por su investigación sobre estructuras de tensión, estructuras livianas y celosías, cada uno de los cuales tiene conceptos centrales paralelos de tensegridad.
- 20 Alexander Graham Bell (1847-1922) fue un científico, inventor y logopeda británico, naturalizado estadounidense. Contribuyó al desarrollo de las telecomunicaciones y a la tecnología de la aviación gracias a sus inventos sobre estructuras ligeras.
- 21 Konrad Wachsmann (1901-1980) fue un arquitecto alemán. Estudió en las Escuelas de Artes y Oficios de Berlín y Dresde, siendo en esta última Heinrich Tessenow uno de sus profesores, y en la Academia de Bellas Artes de Berlín, donde fue alumno del arquitecto Hans Poelzig, quien despertó su interés por la prefabricación en la arquitectura.

Su formación, que aunaba el dominio tanto de la técnica como de la artesanía, le llevó a trabajar en una compañía de elementos prefabricados en madera. En 1938 se trasladó a París, donde residió hasta 1941, año en que emigró a los Estados Unidos.

Ya en suelo americano, comenzó a colaborar con Mies van der Rohe y de manera más intensa con Walter Gropius, con quien llegó a desarrollar proyectos de prefabricación tales como *The packaged house system*. Paralelamente, actuó en calidad de docente en el Illinois Institute of Technology de Chicago desde 1947 hasta 1964 y en la Universidad del Sur de California entre 1964 y 1974.

- 22 D'Arcy Wentworth Thompson (1860-1948) fue un biólogo y matemático escocés, autor del libro *“On Growth and Form”*, publicado en 1917, un trabajo influyente y calificado como expresión de *sorprendente originalidad*. Ha sido llamado “el primer biomatemático”.
- 23 Thompson publicó el resultado de sus estudios de la morfología del crecimiento y de la forma, discutiendo que las formas de plantas y de animales se podrían entender en términos de matemática pura. El libro se convirtió en una obra clásica inmediatamente para la exploración de geometrías naturales en la dinámica del crecimiento y de los procesos físicos. Este trabajo rezuma de un optimismo evidente, presentando una visión del mundo físico como sinfonía de fuerzas armoniosas. El libro cubre una gama extensa de estudios morfológicos. Registra las leyes que gobiernan la dimensión de los organismos y su crecimiento, la estática y la dinámica de la configuración en células y tejidos incluyendo los fenómenos del empaquetado geométrico, las membranas bajo tensión, las simetrías, y división de células; así como la ingeniería y los esqueletos geodésicos en organismos simples. Thompson concibe la forma no como un hecho dado, sino como un producto de las fuerzas dinámicas que son formadas por flujos de la energía y etapas del crecimiento.



[Fig. 17] Prueba de carga con contenedores de basura llenos de agua.

Fuente: *Frei Otto, Carlfried Mutschler, multihalle*. Georg Vrachliotis. Spector Books 2017.

más material, a veces por desconocimiento de técnicas que ayuden a aligerar la construcción. Por primera vez a gran escala, este edificio afronta el reto de soportar grandes compresiones con poca sección, y además tiene mucho mérito que se hiciera con un material como la madera, flexible, orgánico.

Lo que sí se había investigado, con grandes cabezas como Le Ricolais¹⁹, Graham Bell²⁰, Konrad Wachsmann²¹, etc, era la posibilidad de aprovechar mejor el material disponiéndolo únicamente allá donde era necesario dentro de la cubierta para resistir las cargas, estructuras de barras y pequeños cambios morfológicos no tan sustanciales como las cubiertas de Frei Otto, donde cubierta y estructura se identifican.

Edificaciones con este tipo de solicitaciones sí que ha habido a lo largo de la historia, tiendas de telas tensadas, cúpulas... pero no de una manera controlada y analizada.

La condición estática en la que se resuelven las formas naturales es la que más le interesa, y la correlación con ciencias exactas como la física y las matemáticas, así como su observación en busca de procesos y sus leyes, es la que le coloca igualmente en un territorio paralelo al de D'Arcy Thompson²² y sus estudios sobre el crecimiento y la forma (Thompson, 1917).²³

Así, la naturaleza es observada por Frei Otto más allá de sus formas superficiales, desde las estructuras y los procesos que las hacen posibles, dentro de una manera distinta de entender la génesis de la forma. Su mirada es pragmática, condicionada y enriquecida por el conocimiento técnico y científico.

Frei Otto simplifica lo que analiza en la naturaleza, y entiende este ejercicio como expresión de la autoformalización estructural. A este ejercicio lo denomina “camino inverso”, por llegar a resultados análogos a los fenómenos formales y tensionales de la naturaleza desde otros caminos, muchos desde la forma, aparentemente en el final de todo proceso de generación:

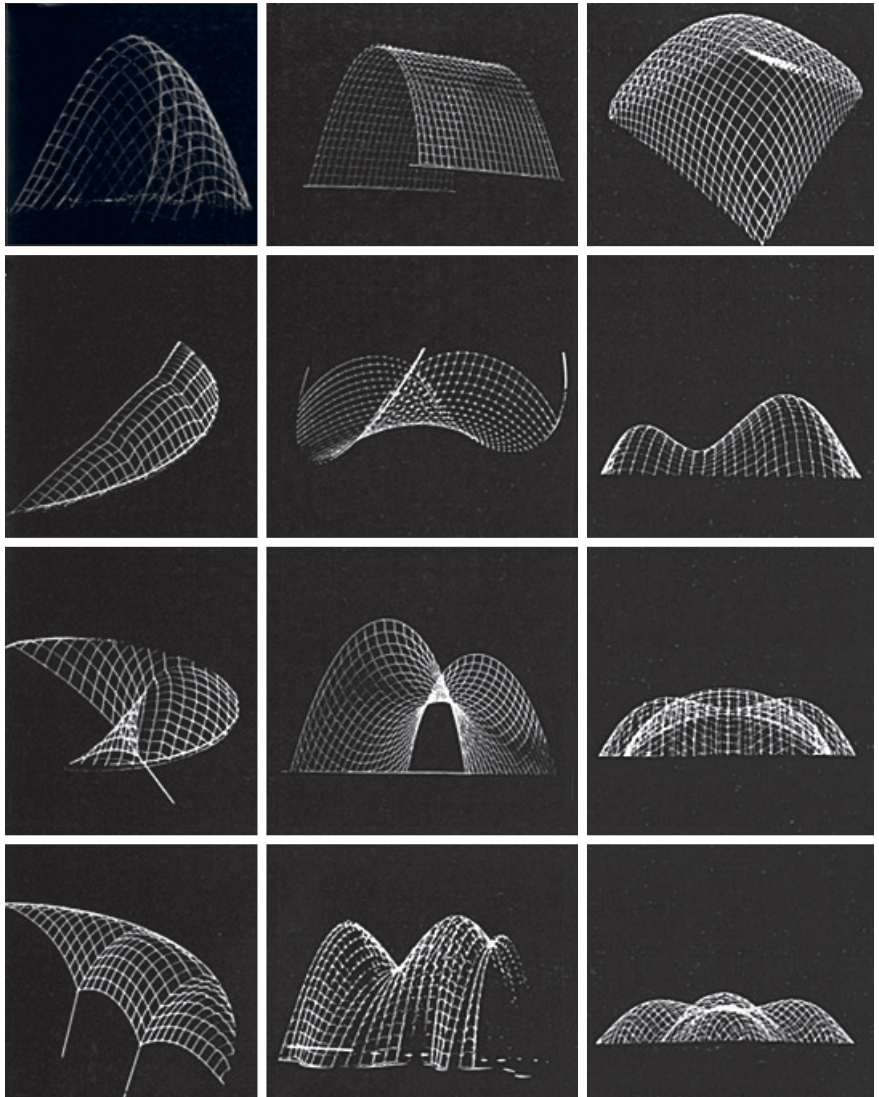
“El método del camino inverso hace posible reconocer los procesos de formación en la naturaleza animada e inanimada en la medida que tales procesos se ponen en marcha artificialmente. Esto es realizado mediante la experimentación y el desarrollo de la técnica de construcción. Los desarrollos técnicos conducen adelante hacia un alto nivel de cualificación que permite un mejor conocimiento de las construcciones no técnicas de la naturaleza. Esto es conocido como el “camino inverso”. La Naturaleza no es copiada, pero se hace comprensible a través de desarrollos técnicos” (Otto, 1992).

Anatomías
arquitectónicas primitivas
Primitive
architectural anatomies

FERNANDO M. MOLINA LEÓN

Multihalle de Frei Otto. Una cubierta generada por compresión, como modelo. Mannheim, 1974-1975

Multihalle by Frei Otto. A cover generated by compression, as a model. Mannheim, 1974-1975



[Fig. 18] Experimentos doblando mallas de celosía: cupuliformes, bovediformes, dobles curvaturas. Frei Otto 1962.

Fuente: *Frei Otto, Carlfried Mutschler, Multihalle.* Georg Vrachliotis. Spector Books 2017.

Para Frei Otto la belleza está en aquello que es innovador como solución a un problema que antes era irresoluble, y reconoce que el arquitecto posee una formación que le permite tener una percepción de los problemas y de sus soluciones mucho más entrenada y creativa que los otros profesionales en contacto también con el diseño y la construcción arquitectónicas gracias al ejercicio de la subjetividad.

Así, contando con la subjetividad como nueva variable en la investigación, las posibilidades del desarrollo inventivo y científico de mirada natural son infinitas.

“Una nueva subjetividad, un entendimiento bastante personal de la naturaleza puede ser una motivación. Observo con enorme respeto qué está ocurriendo delante de mis ojos, especialmente las cosas que son fundamentalmente independientes de los actos no naturales del hombre. También, por lo tanto, adquirir unas nuevas relaciones con aquello hecho por el hombre, las cosas artificiales que hacen posible ver una reducción de lo no natural. Para mí un nuevo entendimiento de la naturaleza, la tecnología y el arte está empezando a parecer en el horizonte” (Otto, 1995)

Otto entiende que lo subjetivo, la visión personal, es fundamental para que se produzca la investigación con éxito. La experimentación sistemática no es suficiente, necesitamos que nuestra interpretación activa haga visible los aspectos que siempre han estado ahí y que son perceptibles solo cuando damos ese salto cualitativo, cuando cambiamos el patrón de mirada para permitir un entendimiento no preestablecido, que evalúa las mismas cosas bajo nuevas perspectivas y que, por tanto, permite una revisión y un aprendizaje infinito sobre la naturaleza y sus procesos como enseñanza (Pino, 2016).

Una mirada así, con un tan amplio campo de posibilidades por delante, hace de Frei Otto un investigador y un optimista de gran nivel:

“La discusión sobre el concepto de infinito es de extremada importancia, algo que la mayoría de los arquitectos no entienden, que existen infinitas posibilidades para la arquitectura del futuro. No hay límites”²⁴

Quizás ese manejo del material con la magnanimidad del alcance de lo subjetivo sea la clave del avance científico, también en arquitectura y quizás también la clave del éxito del Multihalle de Mannheim.

Conclusiones

Del estudio del proyecto del Multihalle observamos dos hitos que han hecho avanzar a la ciencia de la arquitectura:

Hito formal/geométrico: Esta gran cúpula de madera describe la forma de la acción de la compresión, la forma de deformada activa, es decir, la deformada que, en vez de dejarse llevar por la gravedad, la contrarresta. Nunca antes se había construido este hecho de manera tan literal.

Hito científico: Los cálculos se chequeaban directamente de las pruebas materiales. Las últimas pruebas estructurales se hicieron al pabellón una vez construido. El riesgo de no ser viable una vez construido tuvo que asumirse en pos de que la ciencia de la arquitectura avanzase.

Bibliografía

Esler, Oliver y Cachola, Peter Schmal. 2012. “*El modelo de arquitectura: herramienta, fetiche, pequeña utopía*”. Catálogo de la exposición DAM, Zurich.

García Pino, Fernando. 2016. “Centro Multiusos en Mannheim. Frei Otto”, *RITA* n°5 (abril): 106-113.

Happold, Edmund, Liddell, William Ian, y Dickson, Michael. 1976. “Design towards convergence”, *Architectural design*, vol. 46, no 7 (Julio): 430-435.

Otto, Frei. 2005. Natural Forms-Architectural forms. *Frei Otto. Complete works. Lightweight construction, natural design*, 17-30.

_____. 1995. Natural Constructions a Subject for the future. *Finding form: towards an architecture of the minimal*, 22.

Otto, Frei. y Rasch, Bodo. 1992. *Finding Form. Towards an Architecture of the Minimal. The reverse path*. Munich: Edition Axel Menges.

Songel, Juan María. 2009. *Frei Otto. Conversaciones con Juan María Songel*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.

Thompson, D'Arcy Wentworth. 1917. *On Growth and Form*. Reino Unido: Cambridge University Press.

Vrachliotis, George. 2017. *Frei Otto, Carlfried Mutschler, Multihalle*. Leipzig: Spector Books.

24 Frei Otto, “*Conversaciones con Juan María Songel*” Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2008, p79. También para más información acerca de la relación con el instituto consultar la tesis del dpto. de composición arquitectónica de la universidad de Valencia del mismo autor; “Frei Otto y el instituto de Estructuras Ligeras de Stuttgart: una experiencia de metodología, investigación y sistematización en la búsqueda de la forma resistente, mayo 2005, fecha de la difusión 2008.