

06 | Centro Multiusos en Mannheim. Frei Otto. Doblando la malla hasta hacer una concha _Fernando G. Pino

[1]



[1] Frei Otto con su equipo de colaboradores en el Instituto de Estructuras Ligeras de Stuttgart. Fuente: IL Archive from Pritzker Price webpage.

Auto-formalización y Naturaleza. El camino inverso

Una de las cosas que hacen más atractiva la figura de Frei Otto, con el paso del tiempo, es su intemporal visión y su fijación por temas de investigación propios, en una búsqueda que durará toda una vida y que en 2015 fue reconocida con la obtención del prestigioso premio Pritzker de arquitectura a su trayectoria y aportaciones en el campo de la arquitectura. En esta búsqueda, el entendimiento de la forma de trabajo 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. Para Frei Otto lo arquitectónico está íntimamente ligado a la condición humana desde un punto de vista existencial, con todas las implicaciones que conlleva esta visión tan panóptica de las acciones arquitectónicas del hombre ¹. 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 otros profesionales en contacto también con el diseño y la construcción arquitectónicas.

En su texto *Natural Forms* ², Rainer Barthel realizaba una clasificación de los trabajos desarrollados por el equipo de Otto; 'tiendas y películas de jabón', '*pneus e hydros*', 'construcciones suspendidas', 'invirtiendo la forma suspendida', 'conchas en malla', 'estructuras en ramas' y 'formas de la vida natural'. Todas estas líneas de investigación proceden en su clasificación de una manera de ordenar su labor de cara a las publicaciones y la divulgación del trabajo del instituto ³. Los títulos se refieren a los campos de invención y experimentación en los que Frei Otto ha estado trabajando y en los que el uso experimental de maquetas ha sido clave para la creación de modelos que reflejaran los modos en los que la estática de la naturaleza se produce, tanto en sus formas vivas como en las no vivas. En ese sentido Otto como arquitecto deja que la forma hable por sí misma guiada tan solo por el conocimiento que a través de la naturaleza permite establecer los condicionantes propicios para que esta se desarrolle de 'modo natural'. La forma así entendida es consecuencia de procesos de auto-formalización ⁴, tal y como sucede en los procesos naturales. El arquitecto deberá por tanto centrar sus esfuerzos en generar

Resumen pág 64 | Bibliografía pág 68

Arquitecto (ETSAM, 2000)). Phd ETSAM 13 de enero de 2016. Colabora 5 años con Mansilla y Tuñón. Trabaja con Juan Navarro Baldeweg. Bajo su tutela asume las responsabilidades de líder de equipo de proyecto en concursos y obras nacionales e internacionales hasta 2009. Desde 1999, Fernando Pino y Manuel G. Paredes comienzan a trabajar juntos, y dirigen su propia oficina, Paredes Pino Arquitectos, desde 2001. Numerosos Premios en concursos públicos abiertos han marcado su trayectoria. Su trabajo se recoge en publicaciones de todo el mundo y recientemente en la monografía Excepto 24 "Maquinaria Ligera". Es profesor asociado de Proyectos en el DPA de la ETSAM desde 2003, profesor asociado de Proyectos en la Escuela de Arquitectura IE University desde 2010 y profesor de Metodología del diseño y Proyectos de Diseño Industrial en la Universidad Nebrija desde 2012. fergarpino@icloud.com

Palabras clave

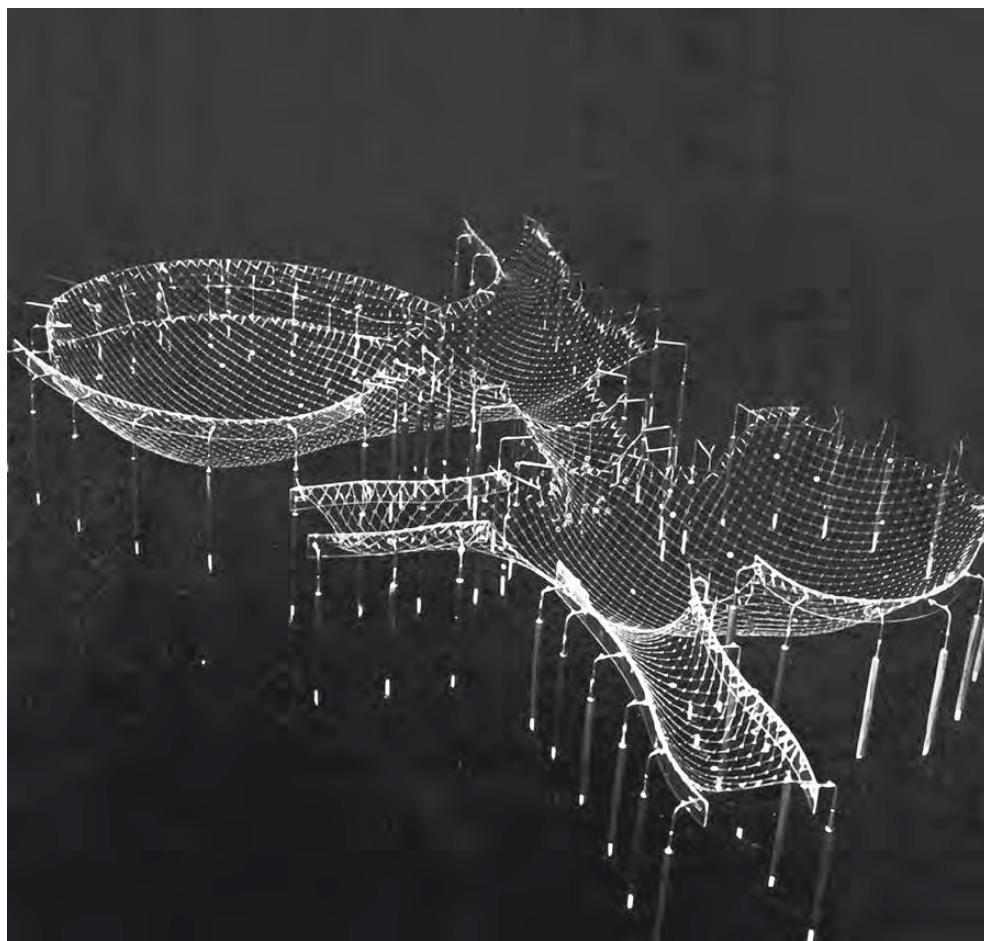
Frei Otto, Doblado, *Grid shell*, camino inverso, formas naturales, mallas de madera, pompas de jabón, Mannheim, laboratorio, estructuras ligeras.

una investigación experimental para obtener invenciones, creaciones informadas a través de una observación de los mecanismos que llevan a la naturaleza a generar sus formas, siempre con una ley de consumo de energía mínima y de empleo del menor material posible [1]. Una visión que comparte con amigos como Buckminster Fuller al que conoce e invita al Instituto de Estructuras Ligeras de Stuttgart. No olvidemos que Frei Otto conoce y establece contactos en congresos o a través de correspondencia con las máximas autoridades en su campo de investigación y experimentación: Eduardo Torroja, Félix Candela, Eladio Dieste, Pier Luigi Nervi, Buckminster Fuller, Heinz Isler, Robert le Ricolais, aunque por otro lado siempre trata de marcar claramente las diferencias de orientación con cada uno de ellos.

Por ejemplo, en la conversación mantenida con Juan María Songel en relación al trabajo de Torroja, Otto conoce perfectamente su libro *Razón y ser de los tipos estructurales* pero precisa: "Entonces se decía que las membranas también eran cáscaras, yo no estaba de acuerdo, pues son dos cosas diferentes: las cáscaras son cáscaras, y las membranas, membranas". Esa era la razón por la que no pertenecía a la Asociación Internacional para las Estructuras en Cáscara fundada por Torroja, puesto que su trabajo por aquel entonces se centraba fundamentalmente en el estudio de las membranas. La mayoría de los estudios experimentales de Otto se resuelven mediante ensayos en los que los esfuerzos de tracción son los predominantes, incluso en el caso de la resolución de cáscaras malladas, como es el de Mannheim, su estudio se realiza mediante el antifunicular con pesos colgados y esfuerzos de tracción. [2]

Efectivamente, la condición estática en la que se resuelven las formas naturales es la que más le interesa, y esta ligazón científica numérica, 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 Thompson y sus estudios sobre el crecimiento y la forma. En un reciente libro que aún escritos de diferentes autores con el significativo título *Form Follows Nature* ⁵, aparece una entrevista con Frei Otto y el propio editor compilador Rudolf Finsterwalder en la que el tema principal es el método seguido por Otto: 'El Camino Inverso'. El libro contiene tres textos más de Frei Otto, uno dedicado a los caparazones de los crustáceos, otro dedicado al estudio de las pompas de jabón y uno más, dedicado esta vez al crecimiento y división de las *pneus*. En el mismo libro se recoge el capítulo V de D'Arcy Thompson 'Espículas y esqueletos espiculares' de su famoso

[2]



[2] Frei Otto . Centro Multifuncional de Manheim. Ensayo con maqueta invertida con pesos para la obtención de la forma. Fuente: OTTO, Frei. *Finding Form. Towards an Architecture of the Minimal*, p 140. IL Archive

¹ En un discurso improvisado en el XXI Congreso Mundial de Arquitectura celebrado en Berlín en 2002 Frei Otto decía lo siguiente: "... la tarea de los arquitectos no es simplemente proveer de refugio de las fuerzas de la naturaleza, sino crear las condiciones que permitan a la gente vivir en armonía con la naturaleza y en paz los unos con los otros." OTTO, Frei, *Complete Works. Lightweight Construction. Natural Design*. Birkhäuser, Basel-Boston-Berlin, 2005, pp 125-126. El libro fue publicado con ocasión de la exposición 'Lighweight Construction, Natural Design', celebrada en el museo de arquitectura de la Universidad Técnica de Múnich entre el 26 de mayo y el 28 de agosto de 2005.

² *Ibid*, pp 17-30.

³ Los trabajos del Instituto de Estructuras Ligeras del que Frei Otto ha sido su director hasta su jubilación el 31 de marzo de 1991, fecha en la que le sucede su antiguo colaborador Werner Sobek, se publican en una serie de libros que edita el propio instituto bajo las siglas IL. El primer número IL 1 se editó en 1969 *Minimalnet*, el último hasta la fecha el IL 41 es de 1995 con el título *Building with Intelligence*. Ahora Frei Otto sigue encargado como miembro honorífico del Instituto de las publicaciones.

⁴ Se usa aquí el término 'autoformalización' en lugar de 'autoformación', aunque los términos 'formalización' y 'formación' de los que derivan, son sinónimos según el diccionario de la RAE del significado de; 'dar forma', en este caso se evita el malentendido, dado que la acepción de 'formación' está más comúnmente ligada a una connotación educativa.

⁵ AAVV, *Form Follows Nature. A history of nature as model for design in engineering, architecture and Art*. Rudolf Finsterwalder

libro *Sobre el crecimiento y la forma*, así como textos y trabajos gráficos de otros importantes autores como Johannes Kepler, Ernst Haeckel, Cornelius Thywissen, etc. El libro recoge por tanto una tradición histórica de siglos atrás en la que la naturaleza ha sido observada más allá de sus formas superficiales, desde las estructuras y los procesos que las hacen posibles.

El propio título del texto reivindica una manera distinta de entender la génesis de la forma, una manera que se aproxima a aquella visión minimalista que promulgó Gropius desde la Bauhaus con su idea de una arquitectura basada en la naturaleza. En el caso de Otto la mirada es más pragmática, estructurada en torno a la técnica. Frei Otto entenderá la simplificación como una expresión de autoformalización estructural. Su definición del 'camino inverso' que hace posible el desarrollo de su trabajo e investigaciones como metodología, sitúa claramente su pensamiento en relación con la naturaleza y las geometrías de formalización derivadas: "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" ⁶.

En el mismo libro en el que la Werkbund nos muestra el trabajo de Frei Otto, y a su vez Otto nos muestra el trabajo de Bodo Rasch ⁷, Otto expresa que las "Construcciones Naturales son un tema para el Futuro". Se vuelve a poner énfasis en la autoformalización y en las construcciones naturales, que necesitan una investigación con liderazgo y con una claridad orientada por las propias nuevas interpretaciones del origen y formación naturales. El texto destaca el papel o tareas pendientes que deberían hacer en el mundo contemporáneo los diferentes protagonistas de la auténtica investigación para una arquitectura del futuro; arquitectos, biólogos, ingenieros científicos, científicos exactos, humanistas, filósofos, etc.

Para Otto la autoformalización es la que permite que la producción humana sea también natural en lugar de artificial y la tarea del arquitecto será 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. Las posibilidades de desarrollo inventivo y científico de mirada natural son infinitas. A pesar de ser muy crítico con los formalismos opulentos del fin de siglo pasado, su optimismo es también patente: "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 aparecer en el horizonte" ⁸.

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. Pero para ello hay que ser conscientes y estar dispuestos al reto. "La discusión sobre el concepto de infinito es de extrema importancia, algo que la mayoría de los arquitectos no entienden, que existen infinitas posibilidades para la arquitectura del futuro. No hay límites" ⁹.

La ley del mínimo esfuerzo. Tensiones superficiales

Ya hemos visto la importancia del método de investigación de Frei Otto y cómo esto supone una manera precursora de entender la relación con la naturaleza en la que no hay una imitación sino una incorporación de la misma a través de sus mecanismos de funcionamiento. Rainer Barthel destaca cómo el trabajo de Frei Otto se centra en los procesos físicos que acaecen en la naturaleza en cuanto a su relación con la lógica del mínimo consumo energético ¹⁰. Y también veíamos cómo el subtítulo común del libro con Bodo Rasch del catálogo de la Werkbund era *Hacia una arquitectura Minimalista*. Pero la búsqueda de esa condición mínima, ¿cómo se realiza en el caso de las investigaciones de Frei Otto? Fundamentalmente mediante el trabajo empírico con modelos a escala y una investigación previa del comportamiento de algunas superficies mínimas, como ahora veremos.

editor. Springer Wien, New York, 2011.

⁶ OTTO, Frei and RASCH, Bodo. *Finding Form. Towards an Architecture of the Minimal. 'The reverse path'*. Munich: Edition Axel Menges, 1992. p.45. El libro se edita con motivo de la exposición del mismo nombre celebrada en la villa Stuck con ocasión del premio Deutscher Werkbund Bayern Prize que reciben Frei Otto y Bodo Rasch en 1992.

⁷ Bodo Rasch fue colaborador en el Instituto de Estructuras Ligeras, y se ha especializado en la realización de estructuras ligeras tensadas y en concreto en estructuras móviles como los paraguas de gran dimensión construidos para la medina en los recintos sagrados de La Mecca 1988-1993.

⁸ *Ibid*, *Natural constructions a Subject for the future*, p. 22.

⁹ OTTO, Frei. *Conversación con Juan María Songel*. Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2008, p.79 También para más información acerca de la relación con el instituto consultar la tesis del departamento 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 de 2005, fecha de difusión 2008.

¹⁰ *Ibid*. OTTO, Frei, *Complete Works*. Para una mayor profundización acerca de las distintas líneas de investigación de Frei Otto, estas están contempladas en el artículo 'Natural forms-Architectural forms', pp. 17-30

¹¹ *Ibid*, pp 48-49.

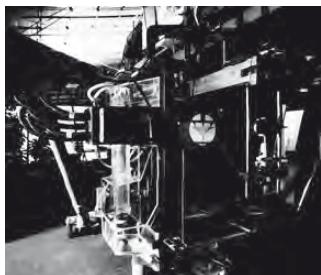
¹² *Ibid*, p. 55.

[3a] [3b] Frei Otto. Máquina para fotografiar pompas y fotografía del instante de formación de la pompa de jabón. Fuente: *Ibid* p. 58 IL Archive.

[4a] [4b] Frei Otto. Ensayos con superficies en jabón obtenidas mediante marcos metálicos con formas diversas. Fuente: AAVV. *Form Follows Nature* 4a p. 263, 4b p.253. IL Archive.

[5] Frei Otto Estudios de doblado 'Grid Shell'. Fuente: IL Archive.

[3a]



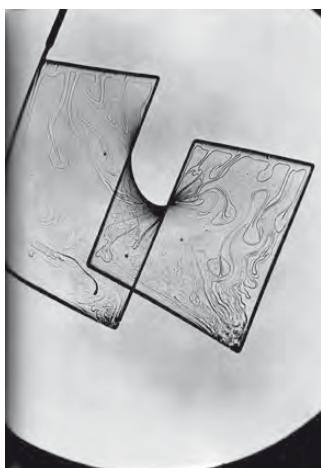
[3b]



[4a]



[4b]

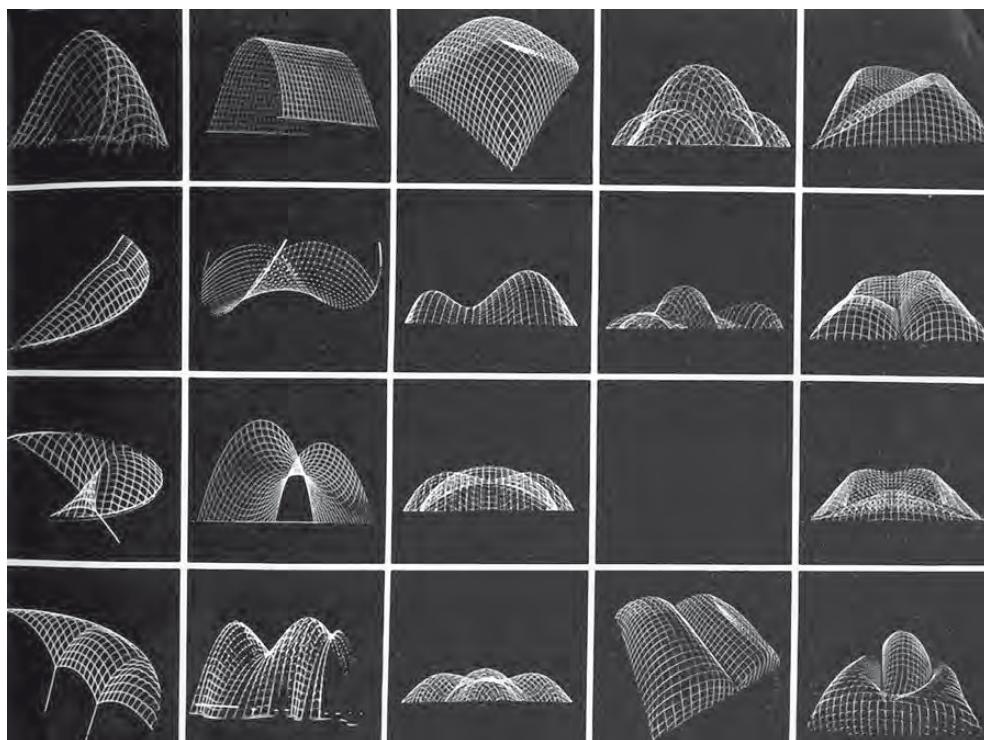


El aprendizaje y contacto directos de Frei Otto con el taller de escultura de su padre pusieron al joven arquitecto en contacto con la materia y con la manipulación de esta de un modo directo, en experimentación pura y ensayos permanentes. Por ejemplo, los trabajos con telas empapadas en escayola suspendidos para luego ser utilizados de un modo inverso pusieron de manifiesto, de un modo experiencial, las demostraciones de Isaac Newton y Robert Hooke con respecto a la igualdad de las formas o diagramas de las fuerzas de las formas colgadas y erguidas, es decir, la igualdad de tensión de las estructuras a tracción y a compresión era ya una evidencia física para Frei Otto. Por lo tanto, no necesitó del aprendizaje a través de las estructuras de Gaudí de cadenas invertidas para también 'inventarlas', como proceso de búsqueda de la forma a través de funiculares invertidos. De hecho esta técnica se convirtió en una práctica común en su laboratorio para dar con la forma apropiada.

En los años 60, Otto inicia una serie de experimentos en los que trabaja con la capacidad de las pompas de jabón de formar superficies extremadamente delgadas en las que la forma es fruto de un equilibrio en el que la tensión superficial de la película consigue resolver con el mínimo esfuerzo posible la unión, desde una activación determinada mediante un elemento o anillo metálico que se introduce en la solución jabonosa. Necesitaba por tanto un mecanismo para convertir en datos fidedignos estos experimentos que, por otro lado, tenían una vida estable corta, ya que una pompa de jabón ofrece una geometría pura y precisa pero inestable en el tiempo. [3] [4] Para ello trabaja con una máquina y técnicas de fotogrametría y aparatos de medición directa que permiten obtener datos de los experimentos de un modo iterativo. Estos datos se usarán luego en los cálculos y en la realización de un segundo modelo. A veces las maquetas le sirven para materializar un comportamiento de un modo permanente, o para ver cómo el cuerpo se deforma de modo elástico. "Nosotros construimos maquetas para conocer la forma y, una vez obtenida, construimos también maquetas para saber lo que ocurre en su interior" ¹¹. Para más adelante ser crítico con la profesión en general y su aproximación a los fenómenos de aprendizaje de la naturaleza: "En la actualidad, el arquitecto se desentiende voluntariamente de las ciencias naturales, pero comete un grave error pues la construcción es una ciencia de la naturaleza aplicada" ¹².

La forma, como ya habíamos visto, es consecuencia de un proceso de búsqueda, no se modela una figura según una forma prevista o anticipada o deseada, sino que la figura se extrae de lo desconocido a través de la experimentación. Por ejemplo, en el caso del estadio de Múnich se realizan maquetas con pompas de jabón para descubrir la forma de las cubiertas y su modelo de trabajo como superficie mínima. Posteriormente se construyen maquetas con cables a escala en el laboratorio y se cargan con las tensiones proporcionales de trabajo para comprobar su funcionamiento a través de sus deformaciones. Para Otto la condición fundamental para hacer estos experimentos es que la maqueta tenga la misma forma y que el material y las cargas sean proporcionales y estén aplicados de la misma manera, de esta forma las deformaciones serán lineales respecto de las reales. [5]

[5]



Ante el debate de la precisión del sistema o la fiabilidad del mismo, Frei Otto plantea que la fiabilidad de los sistemas de cálculo por ordenador dependerán de la fiabilidad del ingeniero y no del programa en sí mismo. Los métodos de cálculo en cualquier caso mantienen el error de ser métodos aproximativos, en los que ni siquiera las cargas que se consideran son reales. Además, cuando uno trabaja en el límite, los cálculos por ordenador a veces no son suficientes y es necesario acudir a otros sistemas como los modelos físicos a escala, algo que comparte con sus ingenieros habituales: el equipo de Ove Arup y el de Ed Happold. No siempre las cosas construibles son calculables y tradicionalmente así ha sido en la historia de la invención arquitectónica. Para Otto, con el uso de los ordenadores solo encuentras lo que buscas, aquello que en el fondo has metido previamente, no es posible encontrar en él invenciones, sin embargo, con la experimentación libre se puede encontrar lo que no se está buscando, el proceso es más abierto y creativo.

De todas formas Otto se muestra también crítico con su propia obra. Por ejemplo, considera que el Estadio Olímpico de Múnich podría haberse realizado mucho más ligero, en ese sentido no es una obra tan depurada a pesar de su fama internacional. Frei Otto prefiere el Aviario del Zoo de Múnich [6], 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.

El trabajo con las pompas de jabón no se limitó a un estudio general de su comportamiento, sino a su aplicación a casos concretos en los que se estudió su limitación como mecanismo o sistema capaz de generar formas. Los resultados de estos estudios vieron la luz en el número IL4778-74 de la revista que edita el Instituto para Estructuras Ligeras y están en íntima relación con otros estudios y artículos relacionados con el comportamiento de otros sistemas y organismos naturales. Esta manera de trabajo materializa una ida y vuelta que siempre es aditiva e integradora de información. Lo que en realidad aprende Otto a través de sus experimentos es el trabajo con películas superficiales muy delgadas y a detectar el modo más natural de curvarlas, doblarlas para obtener de ellas artefactos estructurales y formales con capacidades arquitectónicas al servicio del hombre, y todo ello sin tratar de imitar la naturaleza sino comprendiendo parte de sus complejos mecanismos, para una vez depurados y simplificados convertirlos en técnicas eficaces para la construcción material de la misma. "La Naturaleza no es imitable es demasiado compleja" ¹³.

El experimento de Mannheim. Doblando la malla hasta hacer una concha

Los proyectos de Montreal y el Estadio Olímpico de Múnich habían dado fama internacional y reconocimiento a Frei Otto. Habían supuesto un engranaje perfecto para el desarrollo de técnicas de modelado o de búsqueda de la forma mediante maquetas o modelos a escala, y también de comprobación de estos métodos con edificios reales de enorme dificultad que

[6]



[6] Frei Otto. Aviario del Zoo Munich.1979. Fuente from Pritzker Price webpage. Photo by Frei Otto

corroboraban las tesis y metodología de trabajo del arquitecto alemán. Ambos proyectos se basaban en sus estudios de estructuras colgadas o 'tiendas', es decir, de trabajos con superficies flexibles atirantadas y suspendidas mediante mástiles de apoyo a compresión, una especie de estructura en tensegridad básica o simple.

El proyecto para la Exposición Temporal Federal de Agricultura en Mannheim supuso, sin embargo, un reto en otra dirección. Carlfried Mutschler y Johaquim Langner ganan el concurso convocado en 1970 para la construcción de un Pabellón Multiusos. Deciden una estructura con una sala polivalente a un lado de un pequeño puente y un área de restaurante, en el otro lado. Para la cubierta del café se plantea una estructura de madera y un globo de gas como cubierta, aunque este es 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 Debau, Essen, de 1962. [7]

Un equipo germano-japonés había estado trabajando en el Instituto para Estructuras Ligeras con Frei Otto desde 1971 ¹⁴. Por lo tanto la propuesta de colaboración del equipo de Mutschler y Langner supuso una oportuna oferta que Otto aprovechó para aplicar directamente sus recientes investigaciones. Inmediatamente se puso a trabajar con maquetas realizadas con mallas de cadenas cargadas con pesos para una obtención de la forma. Las formas con las que se empieza a trabajar provienen de los estudios previos con pompas de jabón y con secuencias de sumas de pompas de jabón, así como sus estudios sobre formas neumáticas e hidráulicas. En paralelo al trabajo con estas formas invertidas de mallas de cadena, se trabaja con el ordenador en la retícula principal, de tal modo que el dibujo provenía del ordenador pero a través de los datos de forma y geometría obtenidos de la información estereofotométrica del modelo físico construido por el equipo de Otto a escala. [8]

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 la 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 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. Estos elementos de rigidización de acero son incorporados también en el cálculo. Para dicho cálculo Frei Otto acude a los ingenieros de Ove Arup en Londres y, en concreto, entra en contacto con Ted Happold ¹⁵ 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 dilata en el tiempo. Una vez realizada la primera maqueta

[7] Frei Otto . Pabellón Multiusos de Mannheim. Vista aérea. 1970-75. Fuente: Pritzker Price webpage. Atelier Frei Otto

[8] Frei Otto . Pabellón Multiusos de Mannheim Vista aérea. 1970-75. Fuente: Pritzker Price webpage. Atelier Frei Otto

¹³ Ibid, p. 73.

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.

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 Opera de Sidney de Jern 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.

[7]



[8]



se realiza una segunda de comprobación. Desde Arup se realizan pruebas mediante modelos estructurales en dos direcciones y, dada la novedad de la estructura, el ingeniero Fritz Wenzel 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 80 mm de deformación previstos, se obtienen unos resultados de 79 mm de deformación reales. [9] [10] [11]

Para la construcción, que también supuso un reto de diseño, de un modo simplificado podemos decir que se optó por un sistema doblemente multicapa ¹⁶. Primero por los elementos de madera que conforman la estructura, realizados en madera 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. La malla de 50x50 cm se construyó doble para no perder en rigidez al ganar en sección de cara a reducir la esbeltez de la lámina. Pasadores de unión de ambas mallas superpuestas de 8 mm y discos de reparto de presiones en la fijación de los pernos completan la solución. Los discos en la fijación permitían la transmisión de esfuerzos por rozamiento. La malla se construyó plana sobre el suelo, como una hoja de papel, y se fue doblando hasta llegar

¹⁶ Para una información técnica más detallada se puede consultar el mencionado número IL13 *Mannheim*, publicado por el Instituto de Estructuras Ligeras, Stuttgart, 1978. También se puede consultar el informe de investigación de la revista *Tectónica* en su website, a cargo de Nuria Prieto, en el que se reflejan detalles constructivos de las juntas de la malla de madera.

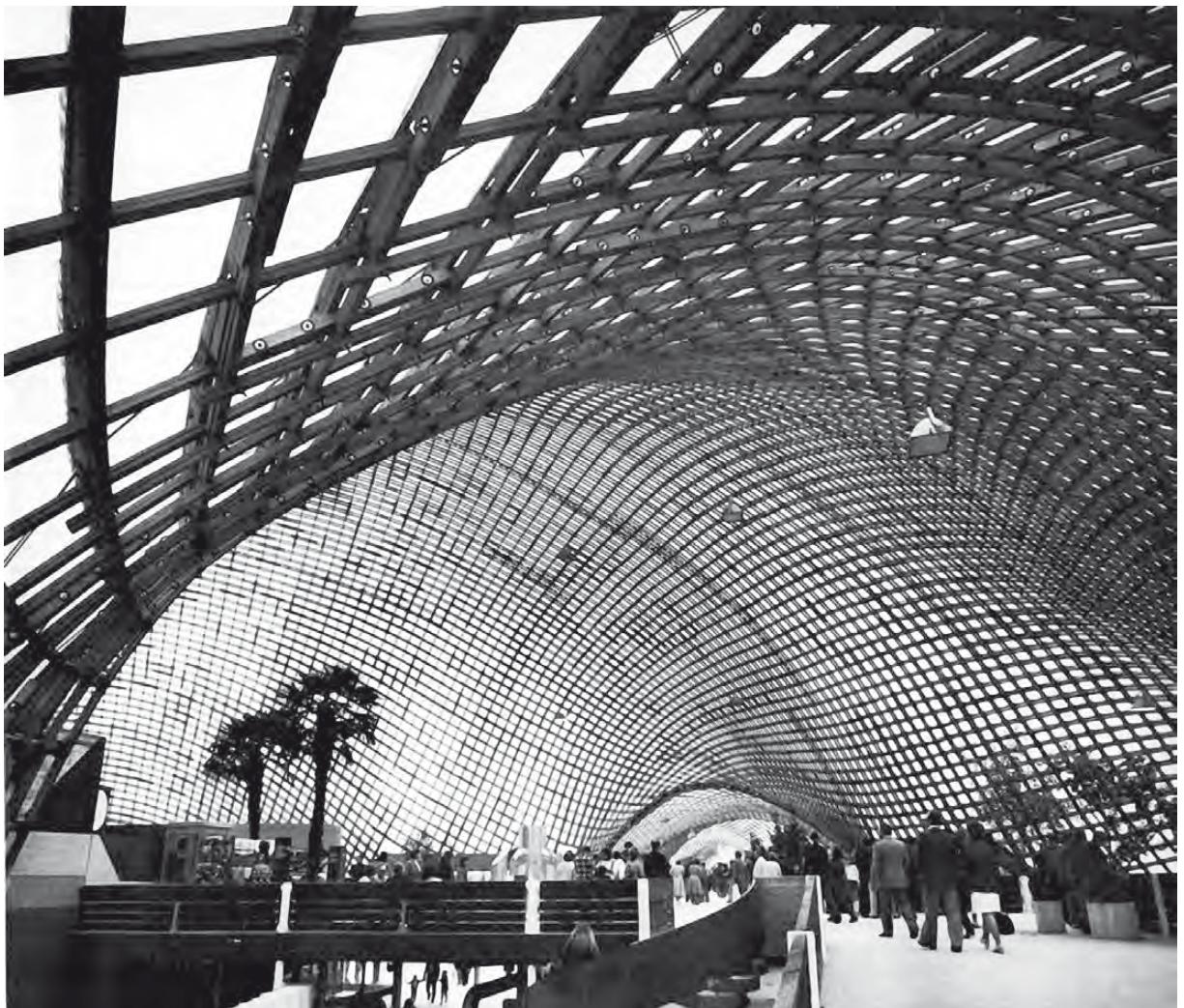
¹⁷ OTTO, Frei, *IL 13 Mannheim*. Institute of Lightweight Structures, 1978, p. 208.

[9] Frei Otto, Pabellón Multiusos en Mannheim, Vista Interior. Fuente IL 13

[10] [11] Frei Otto, fases del proceso de doblado. Pabellón Multiusos de Mannheim 1970-75. Fuente IL 13

[12] Frei Otto . Pabellón Multiusos de Mannheim. Vista interior y exterior simultáneas. Fuente: Pritzker Price webpage. Frei Otto

[9]



[10] [11]



a la posición y forma previstas desde el modelo en maqueta, con un sistema de subestructura de apoyo parcial.

Las piezas de madera contrachapada siempre dan solución a la línea de borde que construye los límites de la hoja de cubierta. Así, en los lugares en los que se produce un hueco serán estos elementos de madera los encargados de rigidizar y construir la línea de borde, y en el caso de los apoyos sobre muros de hormigón unos enanos de acero servirán de fijaciones metálicas hasta alcanzar la madera.

La piel del edificio se construye con fibras de poliéster entretejidas, que permiten un paso del 30 por ciento de la luz, y se impregnan con una pasta de treviso negro en los lugares de protección total de la luz. El material se coloca mediante bandas, por rollos de espesor 0,9 mm sobre la estructura de la cubierta. La camisa de la fibra es brillante y por tanto refleja la luz dando más estabilidad a la madera. Por encima se coloca un película semirígida de 0,7 mm de PVC. Posteriormente se le da una ligera capa de imprimación de PVC transparente para acomodar la unión con la tela. El recubrimiento inferior tiene un espesor mínimo en un material translúcido.

Esta complejidad que acabamos de ver es la que hace que el diseño para su construcción tarde más de lo previsto y el edificio no será realizado finalmente hasta 1975. Se construye en 60 días una superficie de 9.500 m² que cubre un espacio disponible de 7.500 m² más otros 2.150 m² entre el puente y el restaurante. La cubierta tiene un largo de 160 m y un ancho de 115 m con una altura máxima de 20 metros y una luz máxima de 85 metros. Y, aunque el edificio se diseñó como una estructura temporal, sigue en pie aunque solo se realizan en él labores de mantenimiento y no está abierto al público.

Los niños hablan de él como una ballena varada en el parque. El proyecto refleja la intención inicial de dar continuidad a la colina que rodea el emplazamiento. Y, a día de hoy, no deja de ser una preocupación para su autor, ya que más de 40 años después de su construcción, el edificio se mantiene artificialmente, pero sin una actividad humana que es para lo que fue diseñado.

Manfred Sack, tras contar cómo la continuidad en su interior, con los vaivenes de curvaturas, es una percepción sensorial especial acrecentada por el poder de ligereza de la madera, termina aseverando: "La más compleja cubierta sencilla del mundo" ¹⁷. [12]

[12]

