



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

CÁTEDRA DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO

MONOGRAFÍA DE ANÁLISIS DE AUTORES

FREI OTTO

BIAGETTI, LUISINA
CROSETTI, MARÍA SOLEDAD
GARCÍA, JULIÁN
LÓPEZ, FRANCO
VIOLANTE, JIMENA

28 DE OCTUBRE DE 2010

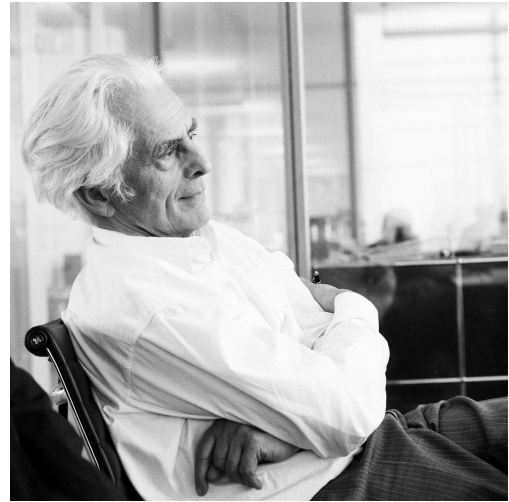
ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	3
BIOGRAFÍA.....	4
ASPECTOS TÉCNICOS.....	5
OBRAS REPRESENTATIVAS.....	7
PABELLÓN ALEMÁN EXPO '67.....	17
ESTADIO OLÍMPICO DE MÚNICH.....	19
PALACIO TUWAIQ.....	22
CONCLUSIONES.....	27
BIBLIOGRAFÍA.....	28

Introducción:

Frei Otto es uno de los arquitectos más renombrados del siglo XX y todavía en actividad en el XXI; es la más grande autoridad en estructuras tensadas y de membrana de bajo peso, y ha encabezado avances en matemática estructural e ingeniería civil.

Frei Otto ha logrado desarrollar con sus estructuras livianas, una síntesis entre la transmisión de las cargas y la forma arquitectónica, generando una nueva tipología estructural. Concretando espacios arquitectónicos de grandes luces, se basó en simples conceptos: liviandad, sencillez tecnológica y manifestación estética de la estructura.



Los objetos arquitectónicos diseñados por Frei Otto son expresiones de su posición intelectual y espiritual con respecto al hombre y la naturaleza. El *Principio de la construcción liviana* comprende algunos conceptos más: diseñar y construir tan liviano como sea posible, con capacidad de adaptación al sitio de implantación y según los principios de la naturaleza. Éstos eran las formas tensadas lineal de la catenaria y de superficie de una burbuja de agua jabonosa, ambas en equilibrio estático.

Frei Otto ha caracterizado a los ingenieros más innovadores en la creación de formas con los nuevos materiales del siglo XX.

Podemos encuadrarlo dentro del paradigma positivista, ya que desarrolló una idea sin que ésta sea opuesta a otra existente, sino que inspirándose en trabajos realizados por otros arquitectos e ingenieros, y dándole consistencia a través del estudio de la física y la naturaleza, logró perfeccionar una forma de construir de gran utilidad.

Además, según la Teoría de los Intereses Constitutivos del Saber de Habermas, podríamos ubicar a Frei Otto dentro del interés práctico, ya que en su obra intenta y logra adaptar las estructuras al medio que las rodea, consiguiendo un bajo impacto en el paisaje preexistente, y una alta funcionalidad para los usuarios de los espacios creados.

Biografía:

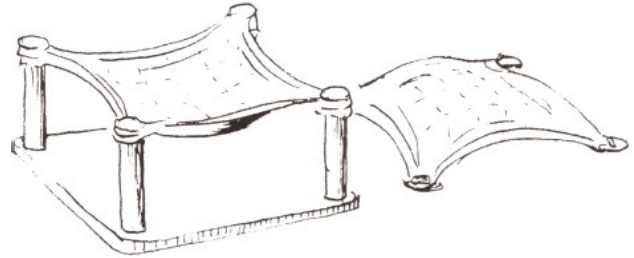
Frei Otto nació el 31 de mayo de 1925 en Siegmars, Alemania. Su padre y su abuelo eran escultores. Luego de la escuela primaria, realizó una capacitación laboral como picapedrero, lo que más adelante le permitió estudiar la capacidad portante de cúpulas y arcos.

Se alistó en las fuerzas aéreas alemanas y participó de la Segunda Guerra Mundial. Fue internado en un campo de concentración en Francia como prisionero de guerra, donde permaneció durante dos años en trabajos de reparación y construcción de edificios. Debido a la carencia de material, sus conocimientos en ingeniería de aviación y la necesidad urgente de materializar cubiertas, comenzó a experimentar con las tiendas para el abrigo.

Allí fue responsable del cementerio, elaborando las placas funerarias de sus compañeros fallecidos en cautiverio.

Fue en este período en el que comienza a experimentar, con una experiencia que aprendió de su padre, introduciendo un pañuelo con yeso en un recipiente con agua, al que dejaba luego endurecer para invertir su forma, descubriendo así un mundo nuevo de cúpulas y arcos, basados en la forma invertida de la curva catenaria.

Al concluir la guerra, ingresó a la Universidad Tecnológica de Berlín, donde estudió Arquitectura. Posteriormente estudió Desarrollo de la Sociología y del Urbanismo en la Universidad de Virginia en Estados Unidos, para aplicarlo en la problemática habitacional de la posguerra en su país. Allí visitó las obras de Frank Lloyd Wright, Eero Saarinen, Ludwig Mies van der Rohe y Fred Severud, quien construyó la Raleigh Arena, que cautivó a Otto por su sencillez tecnológica al ser materializada con cables atirantados colgados.

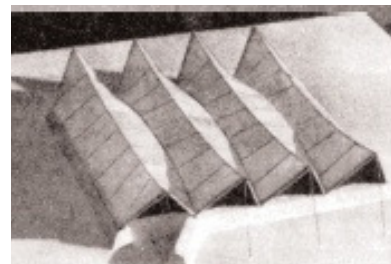
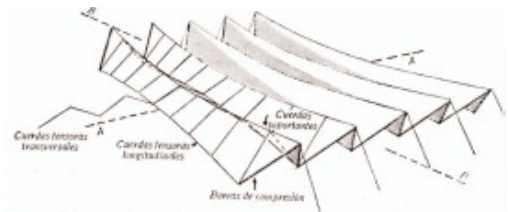


Para ese entonces no había formación profesional sobre cubiertas colgadas y atirantadas. Otto debió recurrir a empresas del campo de carpas y telas para solicitar información técnica, y a artesanos para aprender a materializar costuras y refuerzos. De lo que se tenía conocimiento era que la tela atirantada flamea con el viento, y que la tela en forma curva sólo podía ser atirantada en dirección radial.

En 1952 se graduó como Ingeniero Civil, y ejerció su profesión en Berlín. Posteriormente, en 1954, publica su tesis doctoral sobre cubiertas suspendidas. Con ello propició las primeras cubiertas de membranas plegables.

En 1957 inicia el Centro de Desarrollo de Estructuras Livianas en Berlín. Más adelante, a partir de 1964, fue fundador y director del Instituto de Estructuras Livianas de la Universidad de Stuttgart, Alemania.

A lo largo de su carrera Otto fue muy reconocido y premiado por importantes instituciones y organismos. En la actualidad continúa ejerciendo su profesión como arquitecto e ingeniero.



Aspectos técnicos:

Uno de los aspectos más característicos de la nueva profesión de ingeniero civil desde su aparición a mediados del siglo XVIII, ha sido el afrontar el diseño de sus obras siguiendo un criterio de economía de medios, que lo impulsaba a buscar la optimización de la respuesta resistente de los nuevos materiales, llevándolos al límite de sus posibilidades, a partir de un conocimiento riguroso de sus propiedades y características mecánicas.

El paradigma planteado se rige por las leyes de la estática, e integra de ese modo forma y estructura.

Tanto la obra y la experiencia de Frei Otto y su instituto, como la tradición de los ingenieros en la búsqueda de la forma resistente, se pueden considerar en el contexto de este principio de economía. En efecto, uno de los principios que han caracterizado toda la obra y la experiencia de Otto desde sus inicios ha sido el principio de la construcción ligera, que él define de forma sintetizada como el modo de construir con un consumo mínimo de medios (materiales, energéticos y económicos).

En esta tendencia hacia la ligereza, la aportación de Frei Otto y su instituto enlaza con la tradición de los ingenieros. Después de los logros alcanzados en el siglo XIX con el hierro se va produciendo a lo largo del siglo XX un proceso de aligeramiento de las estructuras de hormigón, cuyo paradigma emblemático serían las cáscaras delgadas de hormigón armado. Las estructuras de cables de acero y membranas desarrolladas por Otto y sus colaboradores representan un salto cualitativo en ese proceso.

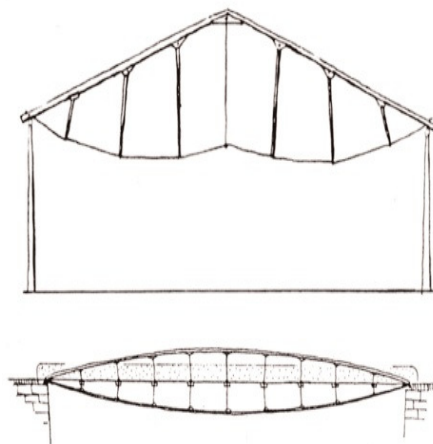
La posibilidad de diseñar estructuras cuyo principal modo de trabajo sea a tracción, evitando los problemas de pandeo de las estructuras comprimidas esbeltas, hace que se puedan cubrir mayores luces con un peso propio muy reducido con relación a las cargas que se deben soportar. Como consecuencia lógica de este objetivo de la optimización de la forma resistente y del empleo de la mínima cantidad de material, se va planteando el principio de la forma antifunicular.

Su propia metodología experimental supone una comprensión científica del proceso de generación de la forma, que ha llevado a una presencia constante de especialistas de muy distintos campos entre sus colaboradores a lo largo de toda su trayectoria.

Con ayuda de simples diagramas de fuerzas desarrolló un método para optimizar vigas biapoyadas uniformemente cargadas. La forma, según Otto, no estaba predeterminada, sino que surge casi por sí sola a partir del diagrama de fuerzas. Así cristalizó la forma de una viga lenticular en la que se combinan un cordón superior curvado comprimido y un cordón inferior de curvatura inversa traccionado, ambos con solicitaciones de magnitud similar en el estado de carga máxima. Se aúnan así el principio del puente en arco y el del puente colgante, de manera que en los apoyos no hay ni empujes exteriores ni tracciones hacia el interior.

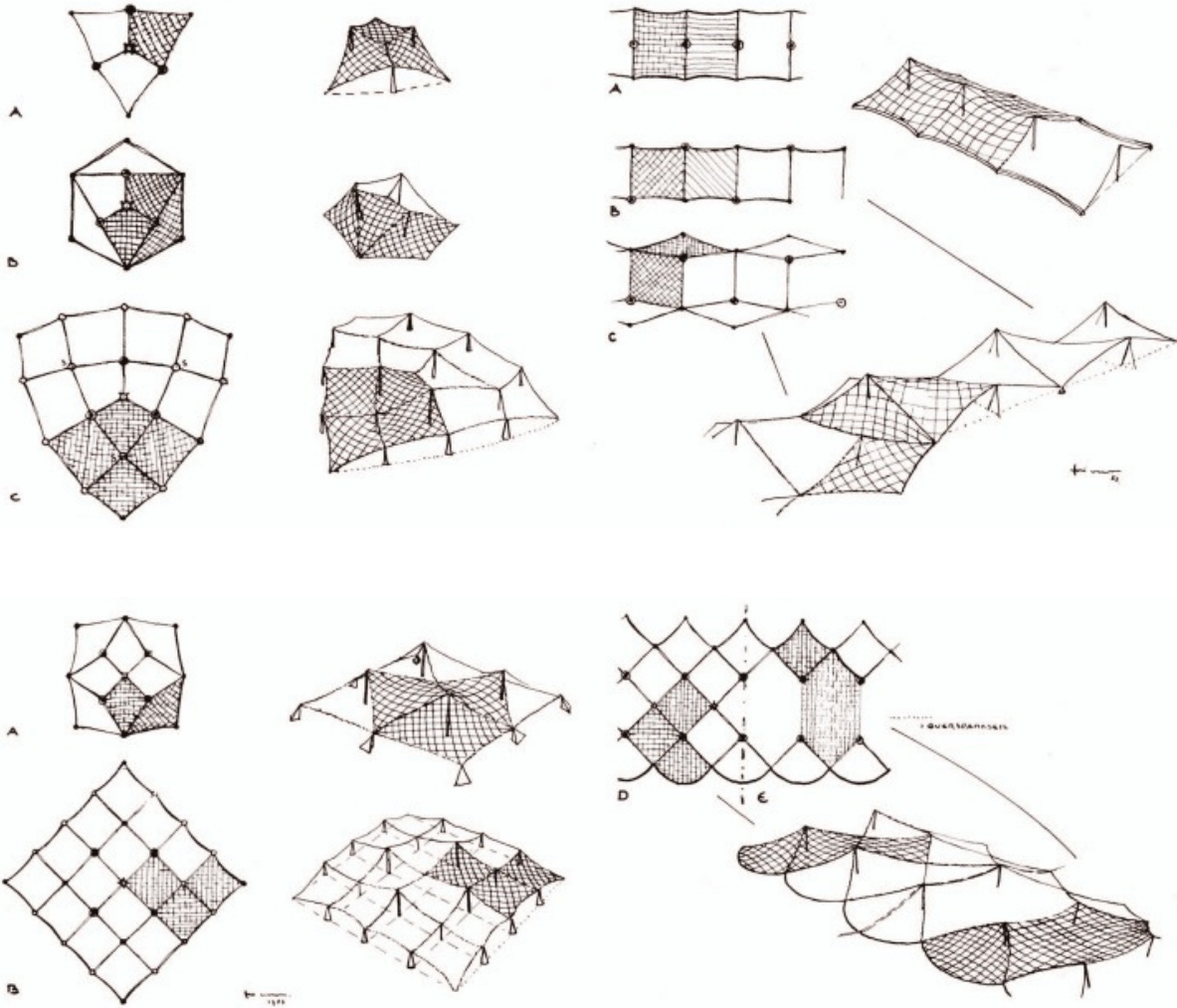
Las investigaciones realizadas por Otto y sus seguidores fueron motivadas en parte por la necesidad de encontrar la forma más eficiente de estructuras muy ligeras, tales como las carpas o las estructuras neumáticas. Es decir tenían inicialmente un carácter aplicado, con una finalidad práctica concreta. Pero pronto se obtuvieron resultados que no sólo eran útiles para responder a determinadas exigencias, sino que además tenían una validez general.

Su análisis de películas de jabón hizo que se procurara en los diseños posteriores evitar carpas cuyas membranas pudieran tener tensiones muy desiguales, y buscar para ellas formas que



fueran superficies específica mínimas, con tensiones iguales. Así se abordaron cuestiones como los caminos mínimos.

En base a sus estudios y la información que le brindaron empresas y artesanos elabora una tesis sobre cubiertas suspendidas, analizando en ella distintos tipos estructurales de carpas y cubiertas.



Obras representativas:

1955

Obra: Pabellones para la Exposición Federal de Jardinería de Kassel.

Descripción: Carpa alabeada tetra puntual, carpa ondulada en estrella, y toldos fungiformes.

Estado: Obra construida.

Autores: Frei Otto con Hermann Mattern, Siegfried Lohs y Peter Stromeyer.



1957

Obra: Pabellones para la Exposición Federal de Jardinería de Colonia.

Descripción: Arco de entrada, carpa ondulada radial para la pista de baile, carpa apuntada y carpa entibada

Estado: Proyecto parcialmente construido.

Autores: Frei Otto con Ewald Bubner, Siegfried Lohs, Dieter Frank, L. Stromeyer & Co. y F. Leonhardt & Ändra.



Obra: Salas de exposición, cafetería, restaurante y cubierta de protección de la orquesta en la Interbau de Berlín.

Descripción: Carpas entibadas, carpas alabeadas tetra puntuales y carpa de doble inversión.

Estado: Obra construida.

Autores: Frei Otto con Karl Otto, Günter Günschel, Ewald Bubner, Karl Heinz Bubner, Siegfried Lohs, Dieter Frank y H. Haseloff.

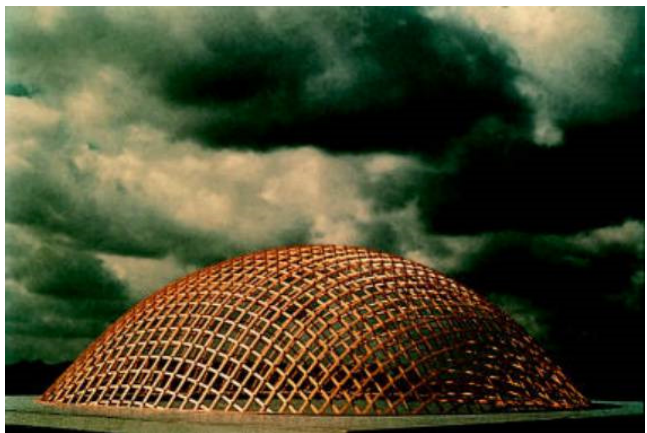
1962

Obra: Cubierta experimental para la feria alemana de la construcción (DEUBAU) en Essen.

Descripción: Bóveda de celosía de capa única y malla cuadrangular.

Estado: Obra construida.

Autores: Frei Otto con John Koch, Eva Pietsch y Bernd Friedrich Romberg.



1963

Obra: Pabellones para la Exposición Internacional de Jardinería en Hamburgo.

Descripción: Carpas onduladas paralelas y radiales y carpa de doble inversión.

Estado: Obra construida.

Autores: Frei Otto con Hans Heinrich Habermann, Christian Hertling, John Koch y L. Stromeyer & Co..

Obra: Campanario para la iglesia evangélica en Berlín-Schönow.

Descripción: Celosía espacial formada por módulos cúbicos con nudos rígidos de chapa de acero.

Estado: Obra construida.

Autores: Ewald Bubner con Frei Otto.

Obra: Pabellón "Nieve y Rocas" para la Exposición Nacional Suiza de 1964 en Lausana.

Descripción: Estructura apuntada de redes de cables alabeadas recubiertas por una membrana.

Estado: Obra construida.

Autores: Marc Saugey con Frei Otto, Christian Hertling, Bernd Friedrich Romberg y Uwe Röder.

1965

Obra: Cubierta para el teatro al aire libre Masque de Fer en Cannes.

Descripción: Membrana plegable colgada de un haz radial y cónico de cables cuyo vértice está soportado por un mástil exterior inclinado y curvado

Estado: Obra construida.

Autores: Robert Tallibert con Frei Otto, Bernd Friedrich Romberg y A. Edzard

1965-1967

Obra: Pabellón alemán en la Exposición Universal de 1967 en Montreal.

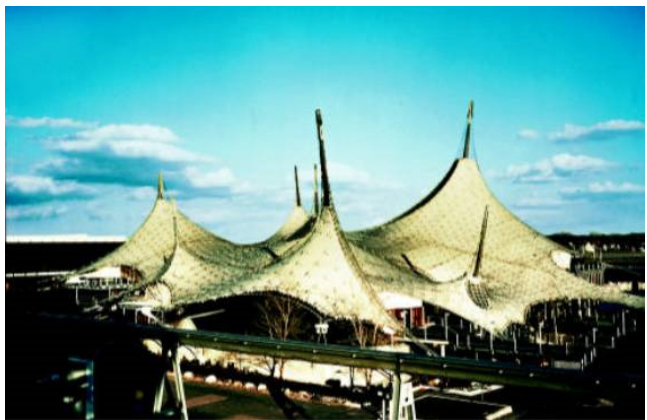
Descripción: Cubierta de red pretensada de cables de acero con picos y depresiones, de la que cuelga una membrana de poliéster translúcido.

Plataformas formadas por estructura espacial de perfiles de acero en doble T con perfil longitudinal triangular.

Bóvedas de celosía de capa única y malla cuadrangular cubierta con tablero contrachapado con aislamiento e impermeabilización, para la sala de conferencias y teatro.

Estado: Obra construida.

Autores: Frei Otto con Rolf Gutbrod, Hermann Kendel, Hermann Kiess, Larry Medlin, Berthold Burkhardt, Eberhard Haug, Leonhardt & Andrä, L. Stromeyer & Co., et alt.



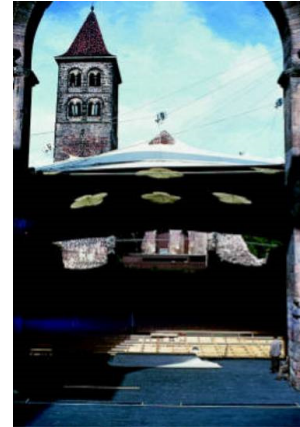
1967-1968

Obra: Cubierta para teatro al aire libre en las ruinas del monasterio de Bad Hersfeld.

Descripción: Membrana plegable colgada de un haz radial de cables soportado por un mástil exterior vertical atirantado al suelo.

Estado: Obra construida.

Autores: Frei Otto con Ewald Bubner, Bernd Friedrich Romberg, Uwe Röder y L. Stromeyer & Co.



Obra: Sede del Instituto de Estructuras Ligeras de Stuttgart.

Descripción: Reconstrucción y adaptación de la estructura de prueba del pabellón de la Expo 67 en una ubicación definitiva para el IL.

Cubierta de red pretensada de cables en forma de tienda apuntada soportada por un mástil interior con cable intermedio en forma de lazo, limatesa y cables de borde. Plataformas formadas por estructura espacial de perfiles de acero en doble T con perfil longitudinal triangular.

Estado: Obra construida.

Autores: Frei Otto con Berthold Burkhardt, Friedemann Kugel, Gernot Minke y Bodo Rasch jun.



1967-1969

Obra: Vivienda y estudio de Frei Otto en Warmbronn, Stuttgart.

Descripción: Dos edificaciones separadas construidas sobre una pendiente orientada al sur. Parte superior vivienda con gran cristalera envolvente en la parte central y pública, y toldo desplegable de protección solar. Parte inferior invernadero con estudio, taller y garaje.

Estado: Obra construida.

Autores: Frei Otto con Rob Krier.



1969-1970

Obra: Grandes paraguas para la Exposición Federal de Jardinería de 1971 en Colonia.

Descripción: Doseles plegables formados por un entramado extensible de perfiles de acero con membrana inferior de tejido de poliéster revestido de PVC.

Estado: Obra construida.

Autores: Frei Otto y Ewald Bubner con Bodo Rasch.



1970

Obra: Gran espacio multimedia (Estadio Hoechst).

Descripción: Cubierta plegable formada por membrana colgada de un haz radial de cables soportado por dos mástiles inclinados exteriores que forman en la base un ángulo de 90° atirantados al suelo

Estado: Proyecto no construido.

Autores: Frei Otto con Berthold Burkhardt, Mike Eekhout, Richard Plate y Bodo Rasch jun.



1968-1971

Obra: Cubierta para pista de hielo en Conflans St. Honorine, Francia.

Descripción: Membrana plegable colgada de arcos de celosía espacial dispuestos radialmente.

Estado: Obra construida.

Autores: J. Blasco y D. Girard con Frei Otto, Ewald Bubner, Rob Krier y Bernd Oleiko.

1970-1971

Obra: Ciudad en el Ártico.

Descripción: Membrana doble transparente reforzada por una red de cables formando una cúpula neumática estabilizada por sobrepresión interior cubriendo una ciudad con un diámetro de unos 2 kilómetros.

Estado: Proyecto no construido.

Autores: Frei Otto y Ewald Bubner con Wolf Bienhaus, Bernd Oleiko y Einar Thorsteinn; Kenzo Tange & URTEC con Koji Kamiya. Ingenieros: Ove Arup & Partners – Edmund Happold, et alt.



1968-1972

Obra: Cubiertas para el parque olímpico de Munich.

Descripción: Estructura pretensada de red de cables suspendida de mástiles, con cables de borde y anclajes en el suelo, cubierta con membrana transparente de placas de vidrio acrílico.

Estado: Obra construida.

Autores: Proyecto de concurso: Günter Behnisch, Fritz Auer, Winfried Büxel, Erhard Tränkner, Karlheinz Weber y Jürgen Joedicke. Planificación de la ejecución: Behnisch & Partner.

Asesoramiento técnico para el desarrollo del proyecto: Frei Otto y Ewald Bubner.

Investigaciones sobre maquetas: Instituto de Estructuras Ligeras de Stuttgart (Frei Otto con Berthold Burkhardt, Dieter Godel, Rolf Wiborg Groehler, Ulrich Hangleiter, Jürgen Hennicke, Christian Hesse, Matthias Kreuz, Friedemann Kugel, Fritz Lausberger, Franz Mohr, Franz Stockert, Hans-Peter Winter y Günther Zwick).

Cálculo y desarrollo de detalles estructurales: Leonhardt y André. Director de proyecto: Jörg Schlaich.

Fotogrametría y cálculos matemáticos: Klaus Linkwitz con Hans-Dieter Preuss, y John H. Argyris con Th. Angelopoulos.

Asesoramiento técnico de materiales: Wilhelm Schaupp.



1970-1972

Obra: Cubierta para una piscina en Regensburg.

Descripción: Membrana plegable colgada de un haz radial de cables soportado por un mástil inclinado exterior atirantado al suelo.

Estado: Obra construida.

Autores: Proyecto: Schmatz, Schmid, Mehr y Eckel. Asesoramiento: Frei Otto y Ewald Bubner.

1973

Obra: Prototipo de tienda "Sarabhai", India.

Descripción: Tienda con estructura de armazón de barras tubulares de aluminio y cubierta de membrana de lona con puntas y depresiones formando un módulo cuadrado de 4 x 4 m. agregable para cubrir cualquier extensión.

Estado: Obra construida.

Autores: Frei Otto con Ewald Bubner, Matthias Banz, Jean Goedert, Alf v. Lieven, Georgios Papakostas, Geoffrey Wright y Nicholas Goldsmith.

1968-1974

Obra: Hotel y centro de conferencias en La Meca, Arabia Saudí.

Descripción: Cubiertas colgantes pesadas y flexibles formadas por cables y barras rígidas, en las salas de conferencias. Ombráculos de rejillas soportadas por vigas apoyadas en cerchas de cables radiales, y, en otro lugar, en una retícula ortogonal de pilares tubulares de acero.

Estado: Obra construida.

Autores: Rolf Gutbrod con Amine Charif, Armin Claar, Hermann Kendel y Frei Otto. Cálculo estructural: Ove Arup & Partners – Edmund Happold y Peter Rice.



1973-1974

Obra: Pabellón con sala multiuso y restaurante para la Exposición Federal de Jardinería de 1975 en Mannheim.

Descripción: Bóveda de celosía de listones de madera, de malla cuadrada antifunicular, cubierta con tejido de poliéster traslúcido revestido de PVC.

Estado: Obra construida.

Autores: Carlfried Mutschler, Joachim Langner y Dieter Wessa con Wolfgang Langner; Frei Otto y Ewald Bubner con Matthias Banz, Jean Goedert, Alf v. Lieven y Georgios Papakostas. Ingenieros: Ove Arup & Partners – Edmund Happold.



1975

Obra: Carpa ceremonial para Isabel II en Dyce junto a Aberdeen, Escocia.

Descripción: Membrana de doble inversión, con protuberancias y depresiones redondeadas

Estado: Obra construida.

Autores: Design Research Unit, Frei Otto con Ewald Bubner, Peter Stromeyer & Co. Ingenieros: Ove Arup & Partners – Edmund Happold..

Obra: Grandes paraguas para la gira de conciertos de Pink Floyd.

Descripción: Cubierta de protección de la lluvia formada por doseles plegables con membranas de tejido de mezcla de algodón alojados bajo el suelo una vez plegados.

Estado: Obra construida.

Autores: Frei Otto, Geoffrey Wright, Nicholas Goldsmith, Heinz Doster y la oficina de ingeniería Happold.



1977

Obra: Centro gubernamental (KOCOMMAS) en Riad, Arabia Saudí.

Descripción: Bóvedas de celosía de malla hexagonal formada por tubos soldados de acero con soportes arborescentes, cubiertas de redes de cables y edificación pesada de varios pisos.

Estado: Proyecto no construido

Autores: Rolf Gutbrod, Hermann Kendel, Frei Otto y Johann Fri Oficina de ingeniería Happold y Ove Arup & Partners.



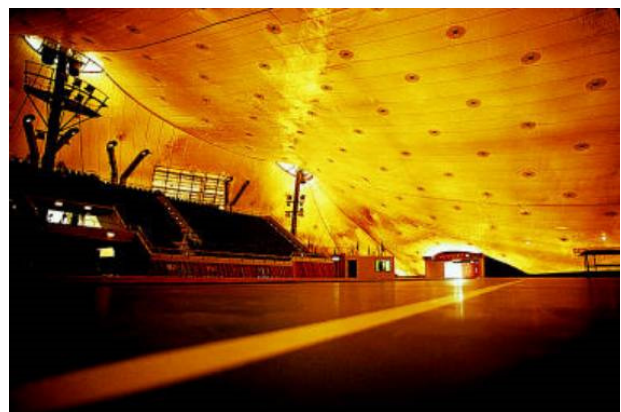
1978-1981

Obra: Pabellón de deportes en Jeddah, Arabia Saudí.

Descripción: Estructura de red pretensada de cables soportada por ocho mástiles tubulares interiores y cubierta con una membrana exterior y otra interior.

Estado: Obra construida.

Autores: Rolf Gutbrod, Wolfgang Henning, Hermann Kendel, Ulrich Jerrentrup, Günter Schnell con Frei Otto, Johannes Fritz, Nicholas Goldsmith. Oficina de ingeniería Happold y Ove Arup & Partners.



1979-1980

Obra: Pajarera para el parque zoológico Hellabrunn de Munich.

Descripción: Red de alambre de malla cuadrada de 60 x 60 mm colgada de diez mástiles tubulares interiores mediante haces de cables y pinzas móviles sujetas a la red.

Estado: Obra construida.

Autores: Jörg Gribl con Frei Otto, Johannes Fritz y Heinz Doster. Oficina de ingeniería Happold.



1981

Obra: Prototipos de tiendas para alojamiento de peregrinos en la montaña y el valle Muna, junto a la Meca.

Descripción: Armazón modular de barras tubulares ligeras autoportante, de planta cuadrada (4 x 4 m.), con plataformas de madera contrachapada, patas extensibles y paredes y cubierta de tela.

Estado: Obra construida.

Autores: Frei Otto con Sami Angawi, Bodo Rasch jun.

1983-1985

Obra: Palacio Tuwaiq en Riad, Arabia Saudita.

Descripción: Muralla curva sinuosa que encierra un jardín interior, con tres grandes carpas de Teflón adosadas al lado exterior de la muralla y dos tiendas adosadas al lado interior. En el centro del jardín se encuentra una tienda más pequeña.

Estado: Obra construida.

Autores: Omrania con Frei Otto, Johannes Fritz, Heinz Doster, A. Hartkorn, C. Lorenz, Bettina Otto. Oficina de ingeniería Happold.



1985

Obra: Cubiertas para la Hooke Park Forest School.

Descripción: Carpa de troncos colgados radialmente de un mástil central, bóveda de celosía de madera, y cubiertas a dos aguas formadas por cables paralelos colgados de un cable de cumbrera.

Estado: Obra construida.

Autores: Richard Burton, Ahrends, Koralek con Frei Otto, Johannes Fritz, M. Heller, Christine Otto. Oficina de ingeniería Happold.

1987

Obra: Ampliación del edificio Wilkhahn en Bad Münders.

Descripción: Cubiertas colgadas de dos pares triarticulados centrales en A, simétricamente inclinados, uno a cada lado, y unidos en la base, formando entre ellos lucernario acristalado.

Estado: Obra construida.

Autores: Frei Otto con Christine Otto-Kanstinger, H. Gesterling. Ingenieros: Stratman, Speich y Hinkes.

1980-1994

Obra: Viviendas ecológicas para la Exposición Internacional de Arquitectura de Berlín 1987.

Descripción: Estructura vertical de pilares y forjados de hormigón armado con núcleo de instalaciones comunes, en la que se pueden levantar células de vivienda de uno o dos pisos adaptables a cada usuario. Aprovechamiento pasivo y activo de la energía solar, con grandes superficies ajardinadas.

Estado: Obra construida.

Autores: Frei Otto, Johannes Fritz, Heinz Doster con Rolf Gutbrod, Hermann Kendel, Wolfgang Henning, Riede. Oficina de ingeniería Happold.



1998-2008

Obra: Transformación de la Estación Central de Stuttgart.

Descripción: Gran bóveda perforada sobre andenes subterráneos, con diferentes propuestas, entre ellas bóveda, soportes y perforaciones continuos de hormigón armado, o bien de piezas comprimidas de granito formando una malla hexagonal antifunicular.

Estado: Proyecto en fase de elaboración.

Autores: Ingenhoven Overdiek Kahlen & Partner, con Frei Otto y Sonderkonstruktionen un Leichtbau (dirigido por Jürgen Bradatsch). Oficinas de ingeniería Happold, y Leonhardt André und Partner.



1999-2000

Obra: Pabellón de Venezuela en la Expo 2000, Hannover, Alemania

Descripción: estructura de tres niveles con una bóveda de 16 pétalos que se abren y cierran sobre un "tallo" hidráulico de 19 metros de altura.

Estado: Obra construida.

Autores: Fruto Vivas, Frei Otto, Bodo Rash, Bradash, José de Llotens y Poppinhaus.



2000

Obra: Pabellón de Japón para la Exposición Universal de 2000 en Hannover.

Descripción: Bóveda de celosía de capa única formada por barras de tubo de cartón, que fue reutilizado después de la Exposición.

Estado: Obra construida.

Autores: Shigeru Ban con Frei Otto.



PABELLÓN ALEMÁN EXPOSICIÓN UNIVERSAL '67 MONTREAL, CANADÁ

En la construcción de este espacio, Frei Otto y Rolf Gutbrod se inspiraron en el tema de la Exposición, que trataba sobre la íntima relación e interdependencia entre la humanidad y la tierra. Para esto, diseñaron una imaginativa secuencia de paisajes hechos por el hombre, mutuamente superpuestos, relacionados entre sí, que armonizaban con la configuración natural de tierra y agua que rodeaban el lugar.

La cubierta consistía en una red de cables de acero tensados, que formaban una malla de cuadrados de 50 cm de lado, de la cual se suspendía una membrana textil tensada, blanca y translúcida. La cubierta en su totalidad, colgaba de ocho puntos altos materializados con mástiles, y sostenida del suelo de tres puntos que daban una forma de embudo a la membrana y a la malla de acero.

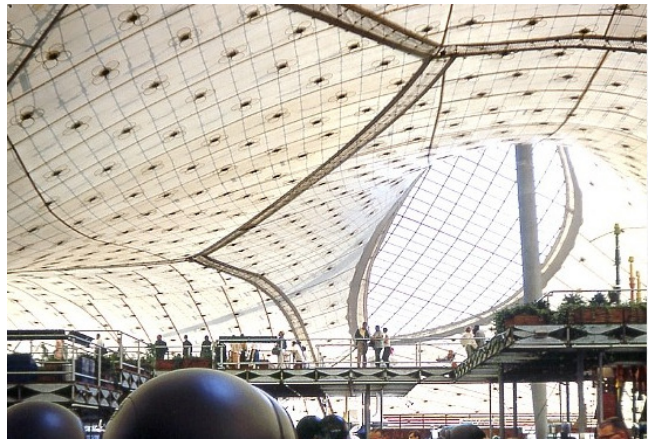
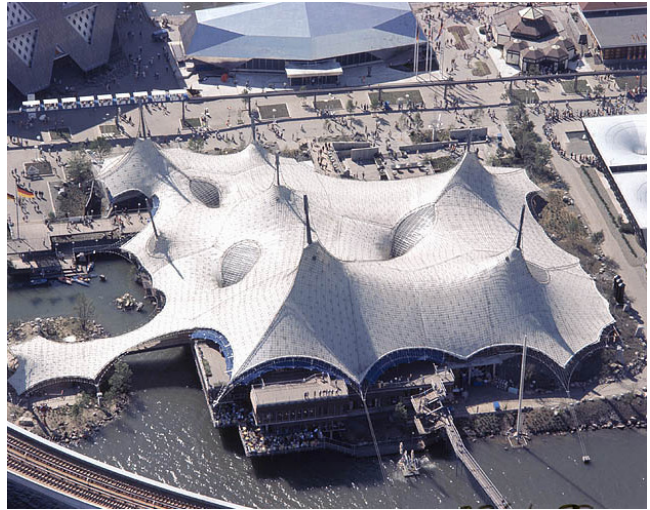
La membrana presentaba espacios transparentes para permitir el mayor paso de iluminación natural, ubicados de forma de aprovechar al máximo este beneficio.

La red de cables que formaba la malla se unía a un cordón perimetral, que era sujetado mediante uniones de acero a bases de hormigón.

El espacio creado bajo la cubierta era de alrededor de 8000m² de superficie libre, con la ventaja de escasa presencia de elementos estructurales debido al poco espacio ocupado por mástiles y sujeciones de la membrana al suelo. A lo largo de todo el perímetro se colocaron paredes de vidrio, deflectoras del viento, de 2,25m de altura, que no conformaban un cerramiento completo, ya que se dejó una parte superior abierta entre la membrana y estas paredes, para ventilación natural en verano, y que en invierno era cubierta para impedir el pasaje del frío.

Esta construcción fue la culminación de más de una década de investigación intensiva sobre formas y estructuras hechas con membranas livianas que cubrían grandes espacios, redes, y mallas. Además, este pabellón marcó un avance hacia una nueva forma de construir, que ya es adoptada y tenida en cuenta por todos los proyectistas y constructores.

El tiempo de diseño y realización de este pabellón fue de sólo 14 meses, por lo que fue una gran responsabilidad para el equipo de trabajo desarrollar la forma, estudiar y elegir los detalles estructurales, fabricar las partes de la estructura y del interior en Alemania, trasladar todo en barco hasta Canadá y erigir la construcción en el sitio previsto.



La prefabricación total de la red de cables, los mástiles y la membrana hicieron posible que el pabellón fuera construido en el corto tiempo de 8 semanas, agregándole a este período, 5 semanas necesarias para conseguir, gradualmente, el estado final de tensión de la red de cables y la membrana.

En el proceso de construcción, primero se colocaron los mástiles en posición y se estabilizaron con cables guías auxiliares. La red de cables fue montada alrededor de los mástiles y levantada a los puntos más altos de estos, mientras las secciones de la red más alejadas se iban agregando. Luego de completada la malla de acero, esta fue sujeta a los puntos exteriores y a los puntos bajos interiores. La tensión inicial se logró levantando los mástiles a su altura definitiva. En tanto, la tensión final fue lograda tensionando el cable perimetral. La membrana textil fue montada en partes en el suelo, incluyendo las partes transparentes de la misma, y fue sujeta en puntos reforzados a la malla de cables de acero.



Luego de la Exposición '67, el edificio iba a permanecer en su sitio, a pesar, de que había sido un punto importante en la planificación, la posibilidad de desarmarlo y re construirlo en otro lugar. La ciudad de Montreal adquirió el pabellón, que alojó posteriores muestras y eventos. En Noviembre de 1972, se decidió una demolición sin re localización de la estructura, ya que el lugar iba a ser utilizado para construcciones deportivas para los Juegos Olímpicos de 1976. Alrededor del año 1972, se suspendió el mantenimiento del edificio, lo que produjo que durante la temporada de nevadas se acumulara una carga dos o tres veces mayor a la permisible, y la estructura se viera comprometida. Como consecuencia, algunos cables que llegaban a un mástil se cortaron, provocando que la red y el mismo poste colapsaran. La separación de la red fue solucionada rápidamente mediante la colocación de uniones en los cables cortados. Afortunadamente, el área dañada fue pequeña y la estructura pudo permanecer entera, a pesar del nuevo estado de equilibrio. La membrana no sufrió daños, pero el poco interés por mantener el edificio llevó a que sea demolido.

ESTADIO OLÍMPICO DE MÚNICH

Inaugurado en 1971, este estadio se construyó para albergar los Juegos Olímpicos de Múnich 1972, y con posterioridad fue sede de la Copa Mundial de Fútbol de 1974. El autor del estadio, con su característica cubierta textil, fue Frei Otto. Nació bajo la sombra histórica y dramática del Estadio Olímpico de Berlín que en 1936 acogieron los Juegos Olímpicos bajo el predominio de la Alemania nazi y su figura cumbre, Adolf Hitler. En 1972, unos 36 años después, las autoridades germanas volvieron a organizar el evento olímpico y decidieron darle la espalda al pasado ignorando a Berlín y respaldando al estadio Olímpico de Múnich.



Cubierta del Estadio Olímpico:

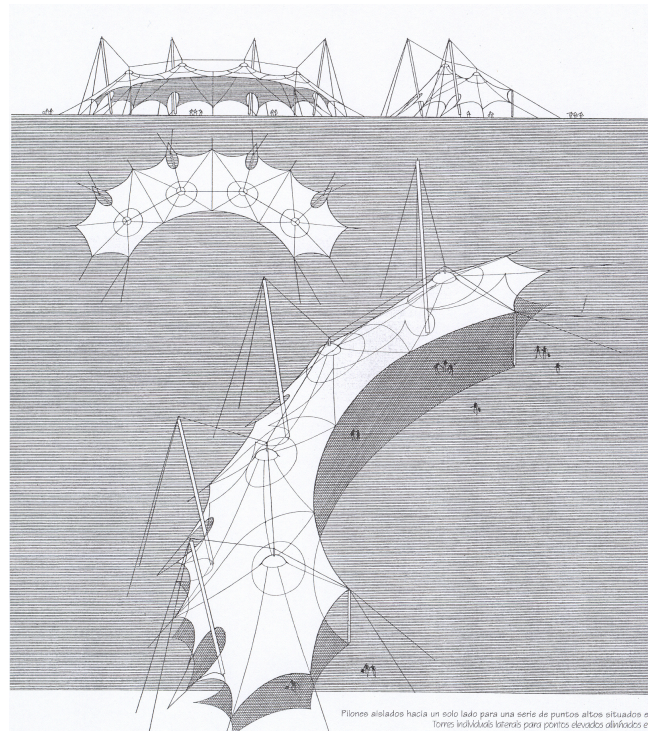
El deseo del ingeniero era conseguir el mínimo impacto sobre el parque, como un velo tendido sobre la colina; pero por primera vez en su experimentación con carpas de mallas de cable, la generación de la forma no provenía de procesos físicos naturales, sino de un diseño preconcebido ya que debía adaptarse a una forma previamente diseñada por el ganador del concurso, el arquitecto Günter Benisch.

Una red de malla rectangular de cables pretensados, de longitud variada entre 440 y 65m, espaciados en ambos sentidos 75cm y con ángulo de intersección variable, permite acomodarse a las curvaturas de la cubierta. La cubierta tiene una superficie de 74.800m².

El cerramiento de la estructura consiste en una lámina de poliéster revestida de PVC, de 2,9 x 29m y 4mm de espesor. Para evitar deformaciones a causa de la temperatura, descansa sobre válvulas de neopreno. La tela esta suspendida sobre 12 mástiles de acero de más de 80m de longitud.

Elementos que componen la cubierta:

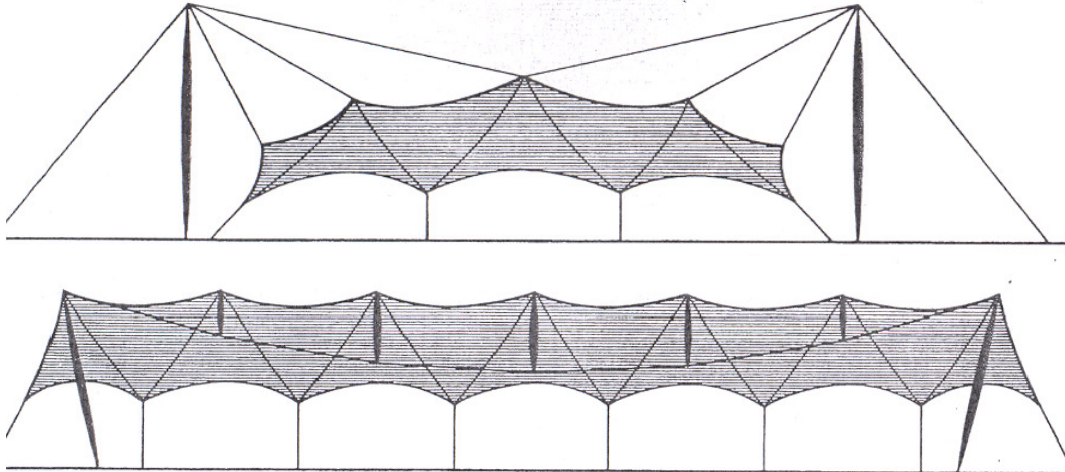
- Ancho del elemento de membrana 75 x 75cm.
- Cables de borde cordones cerrados.
- Cables interiores cordones abiertos.
- Nudos de acero de fundición.
- Mástiles de tubos de acero.
- *Cubierta* cristal acrílico (Plexiglás).



Los mástiles de acero utilizados para sustentar la cubierta se clasifican dentro de dos grupos:

- Soportes exteriores con cables suspendidos para puntos altos situados en el centro.
- Soportes interiores con cable portante para apoyar los puntos altos centrales

Los mástiles son los elementos estructurales encargados de transmitir las cargas hacia la parte firme, y lo hacen de una forma inclinada. La unión entre los distintos cables que conforman la malla estructural se materializa mediante un nudo de acero de fundición, con un sistema de anclajes por medio de atornillados y tensados.



El plexiglás utilizado en la cubierta, a veces también llamado acrílico es un termoplástico amorfo, transparente e incoloro, duro, rígido pero quebradizo y sensible a la entalla. Tiene una buena resistencia a la abrasión y a los rayos UV, una excelente claridad pero una resistencia débil a las temperaturas, a la fatiga y a los solventes. A pesar de ser inflamable, su emisión de humos es débil.

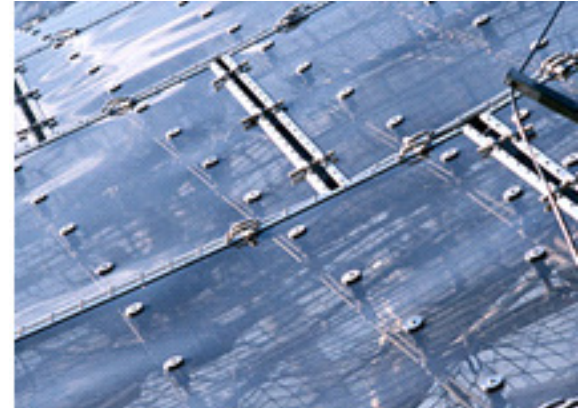
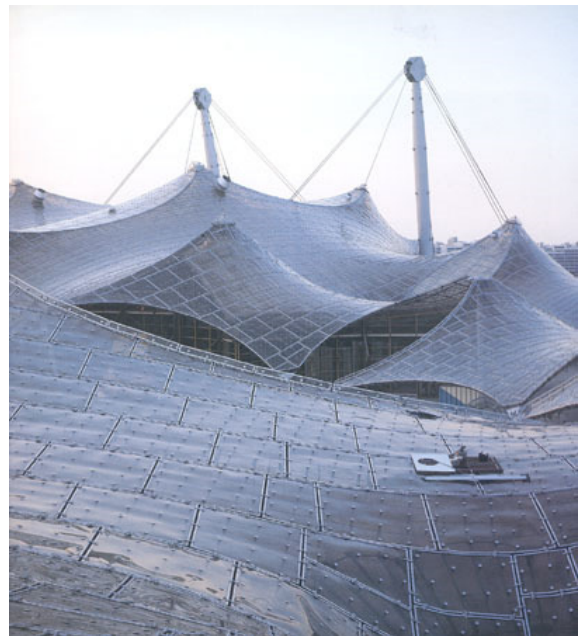
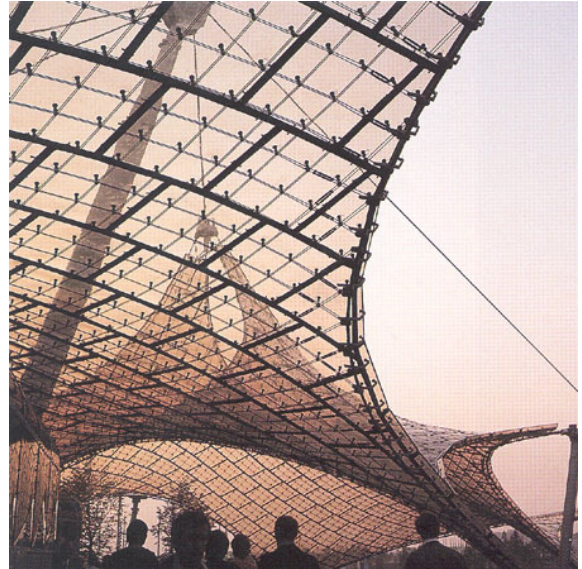


Respecto al sistema de cables exteriores e interiores podemos destacar que las mallas de cables con elementos cuadrangulares tienen algunas ventajas sobre otros tipos de estructuras: su variedad de formas, su ligereza incluso para grandes luces, su facilidad de colocación, retirada y reciclado, y su idoneidad para cubiertas translúcidas. Las mallas de cables, de elementos cuadrangulares de 75x75 cm, son sujetadas con cables de borde, que llevan la carga a apoyos puntuales situados sobre columnas de sustentación.

El sistema de cubierta mediante la estructura tensada, hace posible que el espacio creado en el interior sea continuo y único.

La cubierta del Estadio Olímpico de Múnich, que cubre y unifica el estadio, las pistas y las piscinas, fue un hito en la utilización de estas técnicas por la enorme escala a la que se aplicaron y por el uso de procedimientos matemáticos informatizados en la determinación de su forma y comportamiento.

Pero no son las cuestiones técnicas lo primero que llama la atención sobre estas estructuras: ante ellas uno cree encontrarse algo "natural". Alejadas de las rígidas pautas ortogonales de la arquitectura moderna, las superficies mínimas presentan formas orgánicas de una elegancia extraordinaria. Es la elegancia que el ojo descubre en lo que, lejos de imponerse al medio, se adapta a él.



PALACIO TUWAIQ

El Palacio Tuwaiq, anteriormente conocido como club diplomático, consiste en un espacio desarrollado en el noroeste de la ciudad de Riad, capital de Arabia Saudita. Fue concebido en sus inicios como un complejo destinado al desarrollo de actividades diplomáticas. Por cuestiones financieras su nombre pasó a ser el de Palacio Tuwaiq, y éste adquirió un carácter menos exclusivo, incorporándose al mismo actividades gubernamentales, recepciones de Estado y festivales culturales.

El edificio se compone a grandes rasgos de un muro sinuoso y retorcido llamado “espina”, una forma sin precedentes en la región, cuyas dimensiones son 800 metros de largo, 12 metros de alto y de 7 a 13 metros de ancho. El otro componente fundamental que define la obra son las tensoestructuras en forma de tienda ubicadas al exterior e interior del edificio, las cuales permiten cerrar grandes espacios, en donde se encuentran restaurantes, salas multipropósito, recepciones, lounges y un café.

El Palacio Tuwaiq se encuentra sobre una gran meseta de roca sedimentaria. Esta plataforma mira hacia una reserva natural llamada Wadi Hanifa, un valle cubierto de abundante vegetación encerrado entre dos grandes elevaciones de terreno.

La “espina” básicamente contiene 30 habitaciones para el hospedaje de invitados. Además el complejo cuenta con instalaciones deportivas y jardines en los patios internos y los espacios exteriores.

En el exterior se encuentran tres tiendas blancas, una de las cuales tiene tres niveles interiores, lo cual le otorga mayor versatilidad.

Adentro, el palacio contiene otras dos tiendas azules que miran hacia los jardines interiores. Una última tienda, la más chica de todas, se encuentra en el centro del oasis escondido en el corazón del palacio, y se utilizaron en ella azulejos translúcidos hechos a mano y de diferentes colores reproduciendo distintas escenas del jardín.



Fig. 1- Vista aérea del Palacio Tuwaiq



Fig. 2- Interior del Palacio.



Fig. 3- Tienda central.

El proyecto de un club diplomático tuvo sus inicios a partir de una decisión del Reino de Arabia Saudita de mudar el Ministerio de Asuntos Externos y Misiones Diplomáticas Extranjeras de su antigua sede en Jeddah a la ciudad capital de Riad. La construcción del mismo comenzó en 1983 y finalizó en 1985.

El plan maestro establecía inicialmente, *“El club diplomático...[debería ser]... un centro internacional de reunión y recreación.. para diplomáticos, sus familias e invitados en Arabia Saudita.”* Sin embargo el aspecto financiero del proyecto supuso un problema ya que era económicamente inviable.

Es por eso que el objetivo fue luego revisado tal como menciona el Dr. Mohammed Al-Sheikh, representante del cliente (Autoridad para el Desarrollo de Riad): *“La dirección cambió hacia el desarrollo de un club como el símbolo de la comunidad entera, en pos de servir a propósitos superiores que meras funciones sociales de las diferentes embajadas. Las instalaciones deben introducir la vida cultural saudita en la comunidad internacional y viceversa. Exhibiciones de arte local, obras folklóricas, recepciones formales, conciertos,*

seminarios e incluso algunas bodas pueden tener lugar allí, además de las actividades organizadas por las embajadas...”

El edificio pasó a llamarse a partir de 1986 Palacio Tuwaiq, debiéndose su nombre al de una montaña localizada en las afueras de Riad.

Programa:

Condiciones en la formulación del programa:

“No será aceptada ninguna forma de copia de patrones y detalles tradicionales, en viejos o nuevos materiales, creando así un falso neo-orientalismo.”

Éste fue el punto de partida para el desarrollo preliminar del proyecto y fue dado a un número limitado de oficinas en un concurso internacional.

Requerimientos funcionales:

El cliente, representado por el Dr. Mohammed Al-Sheikh, se encontraba interesado en el aspecto simbólico y estético, y su significado dentro del entorno de la región. Sus recomendaciones fueron las siguientes:

- El club debe ser construido “en el desierto” y debe ser digno de convertirse en un ícono.
- La meseta con sus bordes escarpados se puede aprovechar para crear vistas panorámicas.
- La elección de los materiales de construcción y la forma y escala del proyecto deben armonizar con el entorno.
- El espíritu de la herencia arquitectónica de la región central de Arabia aún perduran y complementan el desarrollo diario de la sociedad saudita, es por ello que debe ser tomado en consideración.
- Cualquier forma de copia barata de la arquitectura tradicional será rechazada.

De resultados del concurso internacional realizado para la adjudicación de la obra se eligieron dos esquemas, uno propuesto por Frei Otto (en asociación con Buro Happold) y el otro por Omrania, una de las consultoras de arquitectura e ingeniería más importantes de Arabia Saudita. El primero exhibía el potencial del uso de tiendas mediante la tecnología de las tensoestructuras como elementos de sombra permitiendo cubrir grandes superficies.

El segundo concepto presentado por Omrania mostraba las cualidades de utilizar una estructura maciza de forma ondulada en perfecta sintonía con la topografía del lugar.

Se decidió entonces contratar a las dos firmas para trabajar juntas, buscando crear una obra que sintetice ambas ideas.



Fig. 4- Fachada.



Fig. 5- Foto de una de las tiendas exteriores.



Fig. 6- Vista de las terrazas y jardines.

Un estudio conjunto fue llevado adelante por Otto, Happold y Omrania. El concepto planteado perseguía lograr una interacción entre el desarrollo lineal de Omrania y las formas orgánicas presentadas por Otto, “la pared” y “la tienda”.

Materiales:

Los muros se hicieron in-situ de hormigón armado, y están revestidos por bloques de piedra caliza de Riad de 24cm. de espesor que además de cumplir con funciones estéticas sirven de material aislante ya que reflejan la radiación solar. Vigas prefabricadas de hormigón soportan las losas permitiendo luces de 10 a 12 metros.

Las tres tiendas blancas están formadas por una red de cables tensados por bloques de anclaje, fijados radialmente a mástiles configurados en forma de abanico en la parte superior (las mástiles están fijados a los muros), e inferiormente por mástiles en forma de V invertida fijados por bisagras empotradas.

Las redes de cables de las tiendas interiores también se encuentran vinculadas como las exteriores en su parte inferior, y en la superior los cables están directamente tomados de los muros. La estructura de la tienda central se compone de un mástil central sobre el cual se sostienen radialmente los cables. Éstos se encuentran vinculados inferiormente por apoyos en forma de trípode fijados a bloques de hormigón. Las tiendas blancas están hechas de tela de fibra tejida recubierta de teflón. Esta tela permanece relativamente libre del polvo y la arena, por lo cual conserva su blancura. Además al ser iluminadas interiormente durante la noche, las tiendas translúcidas pueden ser vistas desde largas distancias. Como protección del calor del verano, otra membrana de una tela ligera de fibra de vidrio recubierta de teflón sirve de falso cielorraso y cubre la red de cables. Las tiendas que miran al patio interno están hechas de escamas de azulejo. Las tiendas finalmente se cierran inferiormente por paredes vidriadas.

Análisis de la obra:

El edificio propone un juego de contrastes entre materiales, formas, espacios y texturas.

Por un lado se encuentra el patio interno lleno de sombra con escenas cambiantes de árboles, arbustos, fuentes, piscinas y caminos sinuosos. Del otro lado del muro un inconfinado panorama de barrancos y formaciones rocosas domina el entorno.

La masividad de los muros revestidos de piedra da una imagen de fortaleza o palacio, ayudada también por la disposición dispersa de pequeñas aberturas, lo cual realza la sensación de robustez. En contraposición, la



Fig. 7- Estructura de anclaje en forma de abanico.



Fig. 8- Sistema de sujeción de lateral de las tiendas.



Fig. 9- Detalle de apoyo en forma de V invertida y bloques de anclaje que actúan como tensores.

ligereza de las tiendas y la sutileza de sus formas le quitan peso a la obra, y a pesar del fuerte contraste generado, la fusión entre la rugosidad de la piedra y la suavidad de las telas aúnan ambos arquetipos (la tienda y la fortaleza) en un todo indisoluble.

Resalta también la conjugación de materiales ultramodernos y tradicionales, como son las telas y la piedra respectivamente.

La forma de los muros permite al edificio mezclarse con el entorno, mientras que las tiendas crean amplios espacios públicos a través de los cuales se puede disfrutar de las vistas protegidos del sol. También pueden tenerse vistas panorámicas desde la senda que hay en la parte superior del muro.

Las terrazas recuerdan el valle de Wadi Hanifa, y los jardines interiores rodeados por los muros crean la apariencia de un oasis encerrado en un valle.

La unión tienda-muro que plantea el edificio resulta ser una conjugación excepcional de dos formas de refugio (usualmente dicotómicas), que representan dos costados de la herencia de Arabia Saudita.

Las tiendas reflejan la movilidad de la cultura beduina¹, mientras que por otro lado los anchos muros representan las ciudades.

Aspecto climático:

El clima de Riad es cálido y árido. En verano la temperatura diurna puede alcanzar los 45°C, y en invierno puede bajar a 10°C. Las amplitudes diurnas son de +/-10°C en verano y +/-25°C en invierno. El régimen de lluvias es extremadamente bajo.

El microclima generado en el palacio es un tanto menos severo debido a la gran elevación de la meseta sobre la que descansa. Además el denso follaje en el valle que hay debajo y en el jardín interno, sumado a las formaciones barrancosas en los bordes de la meseta, crean un efecto refrigerante en el lugar. Las gruesas paredes con aberturas pequeñas revestidas en piedra reflejan gran parte de la radiación. Las tiendas de teflón están diseñadas con una doble capa, lo cual permite que el aire circule entre ambas. La capa externa es ligeramente translúcida, mientras que la interna es porosa a la luz. Las tiendas reflejan efectivamente la radiación solar, permitiendo ambientes más templados. Aún así el ingreso de luz es suficiente para permitir que haya vegetación en el interior.

¹ El nombre beduino proviene del idioma árabe bedawi o badawi, que significa morador del desierto de bedu o badw en lengua vulgar: allí donde no existe población fija, es decir, el desierto. Se da el nombre de beduinos a los árabes nómadas que viven en los desiertos de Arabia Saudita, Siria, Jordania, Iraq e Israel. Los beduinos actuales están organizados en tribus que hablan el badawi, y se consideran descendientes del pueblo árabe.



Fig. 10- Vinculación de los apoyos mediante bisagras.



Fig. 11- Terminación en la parte superior de las tiendas exteriores.



Fig. 12- Detalle del patrón de escamas utilizado en las tiendas azules.



Fig. 13- Interior de una de las tiendas exteriores donde se pueden apreciar las dos capas de tela.

El Palacio Tuwaiq logró el reconocimiento mundial al recibir en 1998 el Premio Aga Khan de Arquitectura, uno de los premios más prestigiosos del mundo. El galardón trienal, anunciado en Granada, España, *“lo reconoce como ejemplo de excelencia en la arquitectura del mundo musulmán a través del diseño contemporáneo.”*

De formas impretenciosas, es una obra profunda e inspiradora que invita a ser pensada y descubierta a medida que se la recorre. No busca competir con el entorno, sino que lo complementa y a partir de allí lo domina.

“El Palacio Tuwaiq es definitivamente único,” anuncia Abdulrahman M. Al-Sari, Director de Desarrollo Urbano y Cultural de la Autoridad de Desarrollo de Riad (RDA). “No es posible imaginar este edificio en Nueva York, Tokyo o incluso Jeddah... Es uno de los ejemplos que usamos para mostrar cómo construir edificios que pertenecen al lugar dónde se erigieron. Pertenece a Riad, al Wadi.”

“Lo bueno es nos que hace sentir que es realmente contemporáneo pero aún así permanece en el corazón de Riad”... “Permanece en el corazón de la gente.”

Conclusiones:

Frei Otto se propuso encontrar lo no buscado. Y lo que encontró fue que desde su curiosidad implacable y su avidez por comprender y experimentar logró expandir las fronteras de la arquitectura hacia nuevos horizontes, abriendo un mundo completamente nuevo, el de las tensoestructuras.

Otto le devolvió a la arquitectura moderna uno de sus elementos más primitivos, la tienda. La dotó con la tecnología del siglo XX y la formalizó mediante incontables estudios y experimentos. La podemos distinguir en la esencia de obras como los Pabellones para la Exposición Federal de Jardinería de Kassel y Colonia, el Pabellón alemán para la Exposición Universal de 1967 en Montreal, la Sede del Instituto de Estructuras Ligeras de Stuttgart o el Estadio Olímpico de Múnich, por citar algunas.

Su legado es fruto del impulso vital que le da su inconformismo por las formas establecidas y la pasión con que estudió con rigor científico las formas orgánicas de la naturaleza dinámica y preferentemente estática. Finalmente queremos destacar la tremenda vigencia de su obra, que lejos de darle la espalda al futuro, se inserta de lleno en el siglo XXI, marcando una senda que se sostiene por su economía de recursos y eficiencia energética, en un mundo que busca virar cada vez más hacia la ecosostenibilidad.

Bibliografía:

Basem Shihabi: Reporte del arquitecto del Palacio Tuwaiq, The Aga Khan Award for Architecture, 1986. Disponible en:

http://archnet.org/library/sites/one-site.jsp?site_id=3305 [consultada octubre 2010]

Clark, Arthur: "A Counterpoint of Cloth and Stone, Saudi Aramco World.", Aramco Services Company: Houston, Noviembre/ Diciembre 1999. Disponible en:

http://archnet.org/library/sites/one-site.jsp?site_id=3305 [consultada octubre 2010]

Curtis, William J. R.: "Diplomatic Club, MIMAR 21: Architecture in Development.", Concept Media Ltd.: Singapur, 1986. Disponible en:

http://archnet.org/library/sites/one-site.jsp?site_id=3305 [consultada octubre 2010]

Davidson, Cynthia C.: "Tuwaiq Palace, Legacies for the Future: Contemporary Architecture in Islamic Societies.", Thames and Hudson, Londres, 1998. Disponible en:

http://archnet.org/library/sites/one-site.jsp?site_id=3305 [consultada octubre 2010]

Khaled Asfour: "Technical review of Tuwaiq Palace.", The Aga Khan Award for Architecture, 1998. Disponible en:

http://archnet.org/library/sites/one-site.jsp?site_id=3305 [consultada octubre 2010]

Songel González, Juan María: "Frei Otto y el Instituto de Estructuras Ligeras de Stuttgart: una experiencia de metodología, investigación y sistematización en la búsqueda de la forma resistente: Tesis Doctoral", Universidad Politécnica de Valencia, España, 2005. Disponible en:

<http://www.scribd.com/doc/12817913/OTTO-FREI-TESIS-ESTRUCTURAS> [consultada octubre 2010]

<http://akdn.org/architecture/project> [consultada octubre 2010]

<http://www.freiotto.com> [consultada octubre 2010]

<http://www.biografiasyvidas.com> [consultada octubre 2010]

<http://www.worldlingo.com> [consultada octubre 2010]

<http://www.soloarquitectura.com> [consultada octubre 2010]

<http://http://arq.unne.edu.ar> [consultada octubre 2010]

<http://es.wikipedia.org> [consultada octubre 2010]