

La relevante aportación de Heinz Hossdorf al desarrollo del pretensado 1954–1968

Pepa Cassinello

Hossdorf al igual que Maillart, Freyssinet, Nervi, y Torroja, perteneció a un reducido grupo de ingenieros y arquitectos que marcaron un hito en la Historia de la Construcción Civil y Arquitectónica, no limitándose a legar una prolifera e innovadora obra Moderna construida fundamentalmente en hormigón armado y pretensado, sino que también contribuyeron con sus investigaciones a marcar el rumbo de la Ciencia y de la Técnica desde diferentes perspectivas.

En 1954, el joven ingeniero Heinz Hossdorf aportó la novedosa idea de proyectar un puente de piedra pretensado. Su personalidad científica y autodidacta le llevo a montar su propio laboratorio de investigación en Basilea, manteniendo una estrecha relación con Eduardo Torroja.

En 1958 Hossdorf inventó el *postesado aéreo*, como resultado de colocar los cables de tesado fuera de la masa del hormigón, optimizando la sección resistente de la estructura laminar del Almacén del Consorcio Wagen. En 1964 Hossdorf utilizó por primera vez un *material plástico*, proyectando el Pabellón de Lausanne con una estructura laminar postesa ejecutada con poliéster reforzado con fibra de vidrio. En 1968, Hossdorf y Guttman ganan el concurso de la Ópera de Basilea con una estructura laminar pretensada de grandes luces.

La idea de tesar nuevas formas y materiales unida a la aparición del ordenador llevó a Hossdorf a desarrollar paralelamente nuevos métodos de ensayo sobre modelos reducidos *ensayos Híbridos*. Las aporta-

ciones técnicas y científicas de Hossdorf marcaron la Historia de la Construcción del pretensado, constituyéndose en obligado eslabón para el entendimiento del desarrollo alcanzado.

HOSSDORF Y EL INSTITUTO EDUARDO TORROJA

Al igual que las ideas del joven Euler atrajeron la atención de su maestro Bernoulli en la universidad de Basilea en 1.724, Hossdorf motivó el interés de Torroja a través de la primera de sus ideas publicada en el año 1954 en una revista suiza. Se trataba de la propuesta de un puente de piedra pretensado de 73,50 metros de luz entre apoyos, una ingeniosa solución que Hossdorf había desarrollado a la vista de los resultados del concurso que se convocó en Suiza para construir un nuevo puente cercano al histórico de San Gothardo (fig. 1). Torroja escribió una carta a

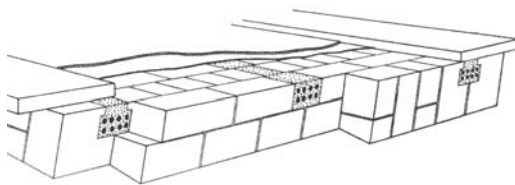


Figura 1
Idea para un puente pretensado de piedra natural (Hossdorf 2003)

Hossdorf felicitándole y Hossdorf respondió presentándose en Madrid para conocer a uno de sus más admirados ídolos, quien posteriormente publicó en la revista *Informes de la Construcción* un artículo sobre la idea del puente pretensado de piedra de Hossdorf. (Torroja 1955). Desde aquel día se inició una estrecha relación de intercambio técnico y científico, pasando Hossdorf a formar parte de ese amplio grupo de profesionales de distintas disciplinas y países que Eduardo Torroja supo atraer y aglutinar para intercambiar ideas, experiencias y sueños, liderando el camino científico de la técnica de la Ingeniería Civil y la de la Arquitectura. (Cassinello 1996)

Para entender las relevantes aportaciones de Hossdorf, es necesario recordar que en la década de los años 50 los indudables protagonistas de la escena técnica científica, eran fundamentalmente; el hormigón pretensado, la prefabricación y las estructuras laminares. Tres aspectos distintos —material, técnica de producción y tipo estructural— que respondían al fruto de las investigaciones realizadas desde 1928, fecha en la cual no solo apareció la primera patente registrada de hormigón pretensado por Freyssinet, sino en la que también se celebró el primer Congreso CIAM en el que Le Corbusier pronunció su célebre frase: *«aquí y ahora ha nacido una nueva Arquitectura»*. Se había decidido despojar a la Arquitectura de elementos superfluos, y dar muerte a la artesanía de sus sistemas de construcción, haciéndola partícipe de la revolución científica que estaba cambiando la industria desde sus propios sistemas de producción. En la década de los años cincuenta —cuando Hossdorf se incorpora al mundo profesional— se estaba recogiendo el fruto de las investigaciones que se habían realizado desde aquel momento, así como de la experiencia adquirida a través de la prolifera obra construida desde entonces. Eduardo Torroja era sin duda uno de los más prestigiosos líderes del mundo técnico y científico, no solo a través de su propia obra de ingeniería y arquitectura sino también a través del desarrollo de nuevos sistemas de cálculo y comprobación como las innovaciones en el método de ensayos sobre modelos reducidos y de la importante labor de investigación, difusión de conocimientos y apoyo técnico que dirigía desde el Instituto Técnico de la Construcción que hoy lleva su nombre (Cassinello 2000). Basta recordar que hasta el año 1952 no se creó la Federación Internacional del Pretensado FIP en

Cambridge para controlar, normar y difundir adecuadamente los avances de este material. Sin embargo, tres años antes de la creación de la FIP Eduardo Torroja, que había utilizado en sus obras diferentes sistemas de pretensado incluso antes de la aparición de la primera patente de Freyssinet, ya había creado en el año 1949 la Asociación Española de Pretensado A.E.H.P adscrita al Instituto Técnico de la Construcción. Diez años después, en 1959 es nuevamente Eduardo Torroja quien tras haber construido innovadoras estructuras laminares, crea la Asociación Internacional de Estructuras Laminares IASS en Madrid adscrita también al Instituto.

APORTACIONES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

Heinz Hossdorf montó su propio laboratorio de investigación en Basilea con la intención de involucrarse directamente en los avances que la Técnica y la Ciencia tenían pendientes en aquellos momentos en el campo de la construcción Civil y Arquitectónica, disciplinas que siempre vio unidas bajo un mismo tronco común al igual que Eduardo Torroja.

Sin duda, el interés por el conocimiento de las Leyes de la Naturaleza ha sido un denominador común a todos los genios de la Historia de la Ciencia y de la Técnica, y siempre han recurrido a la experimentación directa a través de modelos físicos para conocer el comportamiento de cualquier cuerpo natural —animal, planta, sustancia— o cualquier artefacto nuevo construido por el hombre —barco, catedral, rascacielos, puente o nave espacial—. Sólo a través de la observación de las reacciones físicas que producen en un modelo o en el propio prototipo, las acciones del viento, las turbulencias de las aguas o de las fuerzas dinámicas de los terremotos, . . . el hombre ha sido capaz de ir conquistando el mundo que le rodea para poder evolucionar su forma de vida. No sabemos quien o quienes fueron los primeros que empezaron a utilizar modelos físicos de menor tamaño que el prototipo para conocer la influencia de la Naturaleza en ellos, pero es un hecho que el hombre evolucionó observando la Naturaleza antes de llegar a poder entenderla. Por ello, la Arquitectura nació en forma de cubierta inclinada imitando a las montañas para que el agua deslizará movida por su propio peso al ser atraída por la entonces desconocida fuerza de la gravedad. Los maestros medievales modificaron el esqueleto

pétreo de sus catedrales incluyendo en sus entrañas efectivos sistemas antisismo en aquellas zonas donde fueron testigos oculares de fuertes temblores de tierra (Cassinello 2005).

Antes de que el ensayo sobre modelo físico fuera reconocido como método científico, Leonardo Da Vinci los utilizó para conocer el comportamiento de estructuras geoméricamente semejantes. Telford y Fairbairn utilizaron modelos reducidos para comprobar el comportamiento estructural de muy diferentes estructuras de puentes. En esa larga y encadena historia sobre la utilización de modelos, sabemos que la simulación mediante modelos físicos en túneles de viento hizo posible el avance del rascacielos, como los tanques de agua de los barcos, . . . Eduardo Torroja, considerado el padre del nacimiento del *ensayo científico* sobre modelos físicos en el campo de la ingeniería, desarrolló nuevas técnicas de modelización en el Instituto Técnico de la Construcción y en el Laboratorio Central, aplicándolas no solo a la realización de ensayos de proyectos de muy diferentes autores, sino también para desarrollar sus propias e innovadoras ideas, que hubiera sido imposible realizar mediante el simple apoyo de cálculos numéricos complejos, engorrosos y en muchos casos imposibles pese a las relevantes aportaciones de Dischinger o Flügge. El ensayo sobre modelo físico le sirvió a Eduardo Torroja para comprobar en el año 1935 el comportamiento del sistema de zunchado de la cubierta laminar del Mercado de Algeciras mediante un novedoso sistema de pretensado de su anillo de borde, así como de todos los nuevos tipos de estructuras laminares que su intuición le llevó a imaginar variando formas geométricas, posiciones en el espacio, sistemas de apoyo, y sistemas de armado y pretensado, haciendo posible la construcción de láminas tan diferentes como la del Frontón Recoletos, la del Hipódromo de Madrid o tantas otras. Robert Maillart utilizó el ensayo sobre modelo físico para comprobar el comportamiento estructural de sus novedosos puentes, Piere Luigi Nervi los utilizó en sus investigaciones experimentales, tanto de sus propios proyectos, como en el Hangar de Orvieto o en el rascacielos Pirelli, como para conocer el comportamiento de muy diferentes y novedosas estructuras en el ISMES (Instituto Experimental de Modelos y Estructuras) perteneciente al Instituto de la Ciencia de las Construcciones del Politécnico de Milán, donde trabajó desde el año 1935. En algunas ocasiones recurrió a ellos Le

Corbusier, como en el caso de la estructura laminar ensayada en la Universidad de Tucumán, Frank Lloyd Wright realizó sus propios modelos físicos de forma artesanal para observar muy diferentes aspectos, y enseñó a sus alumnos a fabricarlos como instrumento de pensamiento en su taller de Arquitectura en Taliesin West, Ove Arup los utilizó también en muchos casos como el de la famosa, polémica y compleja estructura de la Opera de Sydney proyectada por Utzon.

Heinz Hossdorf, conociendo los avances alcanzados por su gran ídolo Eduardo Torroja, evolucionó el ensayo sobre modelo físico de forma científica aportando innovaciones de relevancia mundial. Partiendo del conocimiento de la Naturaleza, de sus Leyes y del comportamiento de todo cuanto esta produce —seres vivos, plantas, rocas, agua, o sustancias—, estudio las leyes de semejanza por las cuales se rige, aplicándolas al ensayo sobre modelos físicos reducidos. Tras sus investigaciones científicas, Hossdorf niega la semejanza geométrica al igual que la niega la propia Naturaleza no construyendo seres geoméricamente semejantes. Su célebre comparación entre el elefante y el saltamontes deja patente cuan imposible sería que existiera un saltamontes del tamaño de un elefante sin que este cambiara para ello de forma o de proporciones entre sus partes (fig. 2). En efecto: *Cuanto más pequeña es una forma sustentada, tanto más fina relativamente puede ser la estructura que sustenta su peso*. Pero Hossdorf no se limitó a asumir las sabias observaciones de Galileo, conocidas como la ley del cuadrado-cubo, por la cual en el siglo XIX enunció que el peso de un cuerpo crece con el cubo de sus dimensiones mientras que las secciones que soportan las cargas crecen con su cuadrado. Porque la Naturaleza no aísla un solo aspecto físico para construir un nuevo ser vivo, sino que en este nuevo diseño intervienen todas y cada una de sus cualidades y características. Por eso, el tamaño y la forma de las alas de un colibrí son diferentes a las del águila, también tienen diferentes tamaños sus corazones siendo diferentes sus ritmos cardíacos, diferentes las secuencias dinámicas de sus movimientos, diferentes las necesidades de generar articulaciones y entramados sanguíneos, diferentes las voces que salen de sus tesadas gargantas.

Hossdorf explica, a través del análisis de una simple gota de agua, el significado de la escala y lo absurdo que resulta el empeño de construir modelos

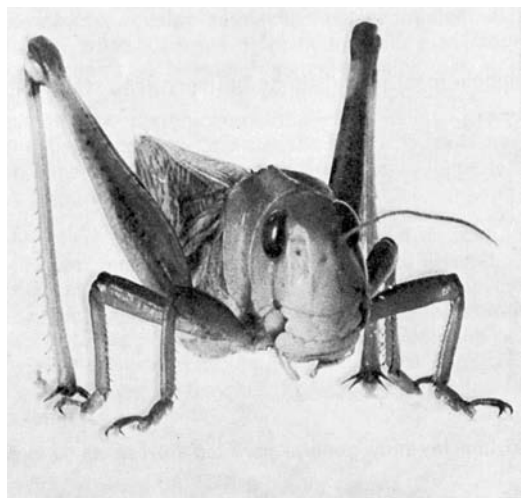


Figura 2
El elefante y el saltamonte (Hossdorf 1971)

geométricamente semejantes, ausentes en la Naturaleza. La forma geométrica de una gota de cualquier líquido queda determinada por sus dimensiones, densidad, tensión superficial y aceleración de la gravedad. Partiendo de la matriz de dimensiones definida por estas cuatro características, deduce que las dimensiones de dos gotas del mismo líquido que sean geométricamente semejantes producen un comportamiento inversamente proporcional según la raíz cuadrada de la aceleración. Por esta razón, explica Hossdorf que una gota de agua afín a cual-

quier gota depositada en el planeta Tierra, depositada sobre la Luna tendría un tamaño 2,5 veces menor, porque las proporciones geométricas óptimas en la Naturaleza aumentan con la raíz cuadrada del valor de la gravedad. Por la misma razón, un puente construido en la Tierra tendría que ser 2,5 veces mayor que su semejante construido en la Luna con el mismo material. Hossdorf añade en sus explicaciones como la importante influencia de la gravedad afectaría al tamaño del hombre si realmente existieran seres análogos a él en un planeta como Júpiter, donde tan solo tendrían 80 centímetros de estatura, se moverían y pensarían con mayor rapidez. (Hossdorf 1971)

En base a sus conocimientos científicos, Hossdorf realizó sus modelos teniendo especial cuidado en que la semejanza entre este y su prototipo —la realidad— no estuviera solo referida a la relación entre las mediciones geométricas entre ambos sino también con todas sus magnitudes físicas como tiempo, fuerza, aceleración, frecuencia, temperatura, . . . Con la Naturaleza siempre presente en su pensamiento, realizó en su laboratorio muy diferentes e innumerables ensayos sobre modelos, buscando siempre nuevos métodos para poder establecer una adecuada semejanza entre el comportamiento físico-mecánico del modelo reducido con el prototipo. Desarrolló una nueva técnica de simulación de cargas exteriores para reproducir el efecto de cualquier grupo de cables de pretensado sin llegar a construirlos en el modelo, sistema que fue posteriormente utilizado facilitando la comprobación del comportamiento estructural de puentes. Desarrolló diferentes y novedosos sistemas de puesta en carga de modelos, y utilizó nuevos materiales para la fabricación de sus modelos físicos en busca de ese necesario cumplimiento de semejanzas mecánicas. En el año 1967 fue Hossdorf el primero que aprovechó en su laboratorio la aparición del ordenador para automatizar la totalidad del proceso del ensayo sobre modelos, pero sin duda y pese a la importancia de este hecho, la más relevante aportación científica de Hossdorf en este campo fue la creación de los *Ensayos Híbridos*, en los que integró en el ordenador dos tipos de lectura una analógica y otra digital, para combinar las aportaciones de ambas. De esta forma, durante el proceso del ensayo contaba a la vez con medidas analógicas que son más adecuadas para la solución de ecuaciones diferenciales lineales y no lineales, y con medidas digitales

más adecuadas para adaptarse a problemas con ecuaciones algebraicas. Con este tipo de ensayos, Hossdorf abrió un nuevo camino científico para el análisis del comportamiento estructural de formas, contribuyendo a que el anticuado y en parte desprestigiado ensayo sobre modelo se convirtiera en una nueva y eficaz técnica para comprender el comportamiento estructural de estructuras espaciales. (Cassinello 2002)

En 1972 publicó en Berlín un libro titulado —Modellstatik—, traducido al español y publicado por el Instituto Eduardo Torroja, debido a la iniciativa de Fernando Cassinello (Hossdorf 1971). En esta publicación, Hossdorf recoge algunas de las observaciones, investigaciones y avances que realizó en su propio laboratorio sobre los ensayos sobre modelos reducidos. Un importante legado impreso en el que quedó recogido su genial e intuitivo modelo de pensamiento.

Además de revolucionar la propia técnica científica del ensayo sobre modelo, Hossdorf utilizó el ensayo sobre modelo como Maillart, Torroja, y Nervi para poder construir libremente sus propias ideas generando nuevos tipos estructurales como legado del Patrimonio de la Arquitectura y la Ingeniería Civil de la Modernidad.

Durante las últimas décadas, siguiendo siempre los avances producidos en otros campos científicos, Hossdorf contribuyó al avance de las posibilidades que el ordenador podía prestar, interviniendo de forma directa en el desarrollo del dibujo para generar representaciones —modelos— como es el caso del CAD a través de diseño vectorial, interviniendo también como técnico asesor de algunas de las empresas de software más importantes del mundo, como Hewlett Packard o Prime, así como en la aplicación del novedoso método de comprobación y cálculo denominado Método de Elementos Finitos. En algunos de sus últimos ensayos Hossdorf comprobó la misma estructura laminar mediante ensayo sobre modelo físico y los resultados obtenidos mediante la aplicación del MEF.

ARQUITECTURA PRETENSADA. APORTACIONES

Un de las características de la obra proyecta y construida por Hossdorf es la existencia de pre-tensión o post-tensión en sus elementos estructurales. Sintió

una especial atracción por optimizar el funcionamiento mecánico de sus formas resistentes, dotándolas de *tensión* al igual que la hace la propia Naturaleza con sus seres vivos. Aplicó muy diferentes técnicas de tesando y postesando a múltiples formas geométricas construidas con materiales tan diferentes como la piedra, la madera, el plástico, o el hormigón.

Postesado aéreo. Almacén central del Consorcio Wagen

Pese al gran desarrollo alcanzado en la década de los años 50 por el hormigón pretensado, existía todavía un aspecto importante que hasta entonces nadie ha sabido resolver. El hecho de que el volumen físico que los paquetes de cables de pretensado o postesado ocupan dentro de la masa del hormigón, implican la necesidad física de contar con una sección de hormigón suficiente para albergarlos en el interior de su masa ya sea fresca o endurecida.

En el año 1958, Hossdorf inventa el *postesado aéreo*, sacando fuera de la masa del hormigón la armadura postesa, optimizando así la sección resistente de hormigón y posibilitando un nuevo mundo de alternativas para construir nuevas formas más esbeltas y racionales, y abriendo también nuevas posibilidades para la industria en ese largo camino hacia la optimización de la prefabricación y tecnificación de la producción en serie. Utilizo esta nueva técnica por primera vez en el Shed laminar que proyectó y construyó para el Almacén Central del Consorcio Wagen en Suiza. Pero Hossdorf, tal y como me contaba, no buscó nunca *inventar*, sino solucionar problemas concretos para ser capaz de construir sus propias ideas sin las limitaciones existentes.

El almacén Wagen, con una superficie de 13.500 m², debía construirse en un reducido plazo de tiempo, razón por la cual Hossdorf recurrió a la utilización de piezas prefabricadas de hormigón armado, proyectando una ingeniosa técnica de colaboración estructural entre ellas para cubrir la totalidad del espacio con la superficie laminar resultante (Rühle H. 1969). Cada una de estas piezas de 8,40 × 1,40 metros de desarrollo en planta y 4,5 centímetros de espesor, tenían una directriz curva que permitía unir 18 unidades mediante *postesado aéreo* formando módulos inde-

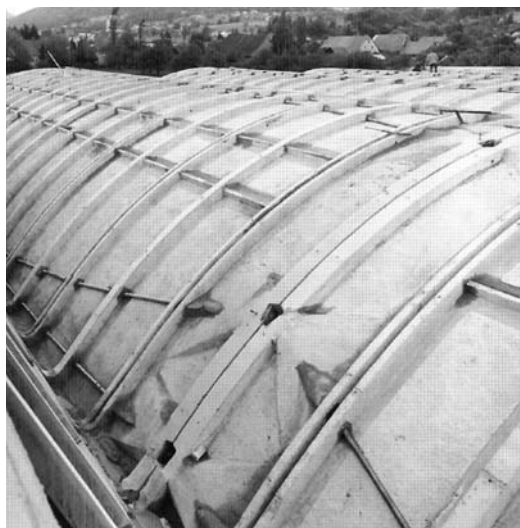


Figura 3
Postesado aéreo. Estructura laminar Almacén Consorcio Wagen. (Hossdorf 2003)

pendientes de 8,40 metros de ancho y 25,20 metros de luz entre apoyos. (fig. 3)

Los cables de postesado optimizan su con su específico trazado curvo la absorción de esfuerzos del conjunto de las piezas que se unen, apoyándose en el trasdós de la estructura laminar de cubierta resultante. Gracias a este ingenioso postesado aéreo, la lámina cuenta con un canto resistente de tan solo 4,5 centímetros de hormigón armado, con un pequeño incremento en su extradós de 15 centímetros a lo largo de todo su borde. Este incremento de sección cumple la múltiple función de: albergar el anclaje de los cables de postesado fuera de la masa del hormigón de la pieza prefabricada, absorber flexiones, facilitar el transporte y puesta en obra y servir de apoyo al recubrimiento final de la cubierta creando una cámara de aire ventilada sobre los cables una vez protegidos.

Hossdorf realizó un ensayo sobre modelo reducido para determinar el complejo proceso de postesado de los seis puntos de anclaje de los cables de cada nervio modular, desarrollando para ello un nuevo sistema de puesta en carga. (fig. 4) Además, en este caso, realizó diversos ensayos para determinar cual era la mejor solución que debía adoptar en las juntas entre las piezas prefabricadas, ya que la efica-



Figura 4
Ensayo sobre modelo. Estructura Laminar —postesado aéreo. (Hossdorf 2003)

cia del comportamiento estructural previsto dependía en gran parte de la adecuada transmisión de esfuerzos en las juntas. Tras los resultados obtenidos en su investigación, Hossdorf decidió no realizar armaduras en espera para el posterior relleno de las juntas, simplificando y abaratando el coste de fabricación de las piezas así como su puesta en obra. Ejecutó las juntas prácticamente en seco, desechando la posibilidad de rellenarlas a base de aglomerantes sintéticos, como resinas artificiales o poliésteres mezclados con arena, dada su alta sensibilidad a la humedad en caso de heladas o al calentamiento excesivo en caso de incendio.

Estructura laminar con tesado central

En 1961 Hossdorf construyó una Fábrica de Cemento de Liesberg con una curiosa estructura laminar cuya innovación fue su especial sistema de tesado ubicado en la zona central de la lámina (fig. 5). Los cables se ubicaban de forma radial evitando así tener que incrementar la sección de los bordes de la lámina para albergar los anclajes. La forma geométrica de la estructura laminar ondulada que forma la cubierta de la fábrica, se genera mediante la secuencia continua de siete láminas de cañón rebajado de 7 metros de luz con radio de curvatura exterior de 5,60 metros y una longitud total de cada una de 27 metros. La luz entre apoyos es de 20 metros existiendo en los extremos vuelos de 3,50 metros. (Cassinello F. 1966)

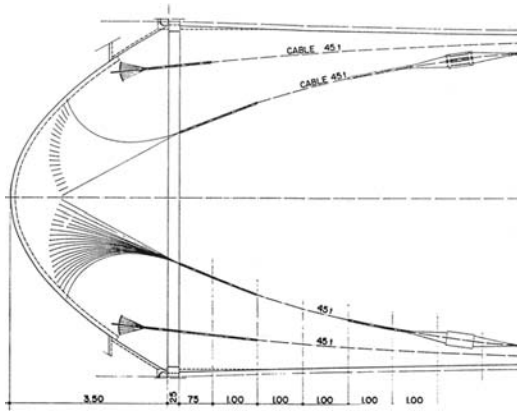


Figura 5
Estructura Laminar. Fábrica de Cemento de Liesberg. (Cassinello 1966)

Madera postesada. Pabellón en Basilea

La pequeña cubierta del Pabellón de Basilea es uno de sus proyectos de madera postesada. Se trata de una cubierta en forma de artesa que cubre una planta cuadrada de aproximadamente 13 metros de lado, que se



Figura 6
Postesado de artesa de madera. Hossdorf (Cassinello F. 1973)

apoya en sus cuatro vértices dejando pasar la luz en todo el resto del perímetro. (Cassinello F. 1973)

Hossdorf, con una genial sensibilidad estética, resuelve la imagen formal de la geométrica piramidal de las tradicionales cubiertas de pabellón, sustituyendo el conjunto de elementos ensamblados que garantizan el reparto espacial de esfuerzos, por un sencillo armazón de tablas unidas a los pares a modo de escalera triangular generando una superficie plegada cuyo arriostramiento perimetral se realiza sustituyendo zunchos, cuadriles y aguilones por finos alambres tensados de pocos milímetros de sección ubicados en el extradós de la superficie plegada de cada paño de la cubierta. De esta forma, los empujes de los pares son contrarrestados por el postesado de doce alambres, tres en cada faldón, situados a 0,60, 1,20 y 1,80 metros del apoyo, eliminándose así la necesidad de utilizar durmientes de 13 metros de luz, cuyo canto en madera tradicional, hubiera impedido la captación de la luz natural desde el propio borde de la cubierta.

Plástico tesado. Pabellón de la Exposición Internacional Laussane

En el año 1964 una nueva obra de Hossdorf ocupa la portada de la revista de la Asociación Internacional de Estructuras Laminares IASS (Bulletin IASS 1964), fundada por Eduardo Torroja en 1959. Es la primera vez que un material plástico es utilizado como material estructural para construir una cubierta laminar. Muchos años después, el propio Hossdorf elige también esta obra para la portada de su último libro, en el que recoge gran parte de su obra. (Hossdorf 2003)

Hossdorf proyecta el Pabellón de Intercambio Comercial de la Exposición Nacional de Suiza en Lausanne utilizando una estructura laminar pretensada, ejecutada con poliéster reforzado con fibra de vidrio. El pabellón estaba formado por 24 módulos espaciales prefabricados en forma de hongo, que cubrían una superficie de 8.124 m² de una planta rectangular de 111 × 74 metros, ocupando cada módulo una planta cuadrada de 18,50 metros de lado. La innovación desde el punto de vista estructural fue el original mecanismo ideado por Hossdorf para someter a tracción una delgada lámina de poliéster de 3 milímetros de espesor reforzada con un 30% de fibra de vidrio,

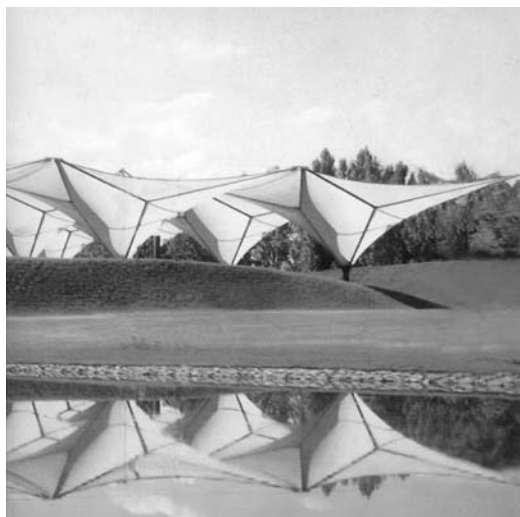


Figura 7

Pabellón de Intercambio Comercial de la Exposición Nacional de Suiza en Laussane. Heinz Hossdorf 1964 (Cassinello 2006)

abriendo un nuevo campo de utilización estructural para los materiales plásticos. (fig. 7)

Cada módulo estaba formado por un pilar de 1,60 metros de altura realizado en chapa de acero, en cuyo interior se alojaba la bajante de aguas pluviales, y sobre el cual apoyaba una estructura laminar de poliéster cuyas aristas estaban formadas por perfiles de acero, a modo de un paraguas invertido, unidos por un dispositivo por un dispositivo central que permitía tensar los cables centrales traccionándose así la totalidad de la superficie plástica de la cubierta del Pabellón. (fig. 8)

Dado que no existía ninguna experiencia anterior sobre la utilización de un material plástico tesado, Hossdorf realizó en su propio laboratorio, como era su costumbre, un ensayo sobre modelo reducido para comprobar el comportamiento estructural del módulo espacial proyectado. Pero previamente analizó diferentes mezclas posibles para determinar la más apropiada dosificación del poliéster con el refuerzo de fibra de vidrio, en busca de la más adecuada resistencia y deformabilidad en base a las solicitaciones previstas en la forma resistente proyectada. Al igual que Nervi optimizó con el ferrocemento las propiedades del cemento y del acero, obteniendo un material de alta re-



Figura 8

Colocación de módulo laminar de poliéster sobre pilar. Hossdorf 1964 (Cassinello 2006)

sistencia a compresión con la elasticidad del acero a tracción, Hossdorf partiendo de un material plástico muy deformable y de rápida fluencia bajo pequeñas cargas permanentes, lo mezcla con fibra de vidrio al 30% y pretensa su superficie en todas las direcciones, aumentando así la resistencia de forma isotrópica, disminuyendo su deformabilidad pero conservando la moldeabilidad necesaria para poder fabricar elementos estructurales de muy diferentes formas a las que se suma el indudable atractivo de su transparencia.

Hossdorf proyecta el módulo-hongo o campanilla como una estructura laminar de doble curvatura, utilizando así una forma geométrica de mayor rigidez dada la gran ligereza y esbeltez de la pieza. Cada módulo estaba formado por dos tipos de elementos A y B prefabricados en poliéster reforzado con fibra de vidrio. Los elementos A se sitúan en los cuatro bordes del hongo, cerrando las superficies a modo de arcos rígidos triarticulados en el espacio, mientras que los elementos tipo B el interior cóncavo de la superficie laminar configurándose a modo de plemento. Una vez construidos ambos tipos de elementos, se montaron en taller entre los perfiles de acero que formaban un cuerpo piramidal en el espacio cuyos vértices situados en el eje vertical del módulo, se unen mediante cables de acero con un dispositivo de tensión mediante el cual se garantiza la tracción de toda la superficie plástica de poliéster reforzado con fibra

de vidrio que define la estructura laminar, al no permitirse el desplazamiento de los vértices exteriores pese al descenso del vértice central del dispositivo.

Mediante el ensayo sobre modelo que realizó en su laboratorio (fig. 9), pudo comprobar que la distribución de esfuerzos coincidía con sus cálculos numéricos previos e intuición resistente, quedando demostrada la monolítica forma de trabajo entre los perfiles comprimidos de acero que formaban las aristas y la superficie laminar traccionada frente a las flexiones resultantes. El resultado del test aerodinámico corroboró a su vez el viento como la carga más peligrosa de este tipo de estructuras tan ligeras, quedando manifiesta la necesidad de arriostrar los extremos de la cubierta total del Pabellón formada por los 24 módulos laminares. Al existir la posibilidad de generarse turbulencias en sus bordes debidas a la distribución no uniforme de vientos prevista, Hossdorf colocó cables de acero anclados al terreno en los bordes del conjunto.

El Pabellón de la séptima Exposición Suiza de Intercambio Comercial proyectado y construido por Heinz Hossdorf, resultó ser un innovador y gigantesco campo de campanillas traslúcidas con el que se introdujo el plástico tesado como material estructural en la Arquitectura, generando la posibilidad de construir ligeras láminas permeables a la luz. Fue la pri-

mera *Estructura Laminar Transparente* que construyó la Arquitectura de la Modernidad y que sin duda presagió el nacimiento de las actuales estructuras ligeras de vidrio.

LISTA DE REFERENCIAS

- Cassinello, Fernando. 1966. «Fábrica de Cemento en Liesberg y Laboratorio Fábrica Secheron Liesberg». *Informes de la Construcción*, n° 183.
- Cassinello, Fernando. 1973. *Construcción: Carpintería*. Madrid: Editorial Rueda.
- Cassinello, Fernando. 1974. *Construcción Hormigonera*. Madrid: Editorial Rueda.
- Cassinello, Pepa. 1996. Heinz Hossdorf. *Arquitectura COAM*, n° 305: 108–113.
- Cassinello, Pepa. 2000. «Razón científica de la Modernidad Española en la década de los años 50». *Actas del Primer Congreso Internacional: Los años 50: La Arquitectura española y su compromiso con la Historia- Pamplona marzo 2.000*. Pamplona: E. T. S. de Arquitectura de la Universidad de Navarra, 21–38.
- Cassinello, Pepa. 2002. «Ciencia y creación en la obra de Heinz Hossdorf». *Arquitectura COAM*, n° 327: 34–49.
- Cassinello, Pepa. 2005. «Influencia de los terremotos históricos en la construcción de las Catedrales Góticas españolas». *Annali di Architettura* n° 17: 9–20.
- Cassinello, Pepa. 2006. «En memoria de Heinz Hossdorf». *Informes de la Construcción* n° 502: 63–81.
- Hossdorf, Heinz. 1964. «Desing of a Polyester pavilion reinforced with glass fiber for the 64 Swiss Exhibition». *Bulletin of the International Association for Shell Structures. IASS*, n° 19: 17–32.
- Hossdorf, Heinz. 1971. *Modellstatik*. Wiesbaden y Berlin: Bauverlag. (trad. al esp. por Carlos Benito Hernández. *Modelos Reducidos. Método de cálculo*. Madrid: Instituto Eduardo Torroja 1972.)
- Hossdorf, Heinz. 2003. *Heinz Hossdorf. Das Erlebnis Ingenieur zu sein*. Berlin: Birkhäuser Verlag.
- Rühle, Hermann. 1969. *Raumliche Drachagwerke Konstruktion und Ausführung*. Berlin: VEB- Verlag für Bauwesen.
- Torroja, Eduardo. 1955. «Puente pretensado de piedra natural». *Informes de la Construcción*. Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento. Madrid.

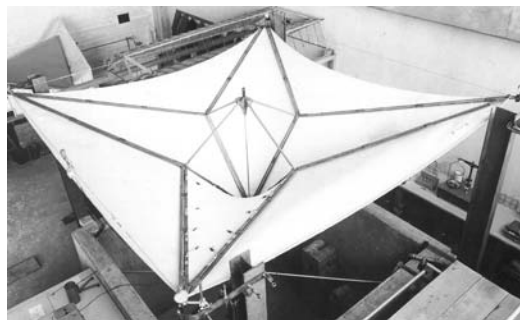


Figura 9
Ensayo sobre modelo. Módulo de Poliéster reforzado con fibra de vidrio Heinz Hossdorf 1964 (Hossdorf 2003)