

## En Memoria de Heinz Hossdorf *In Memory of Heinz Hossdorf*

P. Cassinello<sup>(\*)</sup>

### RESUMEN

La Ciencia, la Tecnología, la Ingeniería Civil y la Arquitectura lamentan la reciente muerte de Heinz Hossdorf, un genio del siglo XX.

Aunque Hossdorf se formó como ingeniero civil en la Politécnica de Zurich, su especial modelo de pensamiento científico le llevó a ser autodidacta. Fue, como Leonardo Da Vinci, un amante observador de las Leyes que rigen el Universo. Fundó su propio laboratorio de investigación en Basilea para seguir libremente el camino de su intuición. De forma permanente estuvo en contacto con el Instituto Técnico de la Construcción fundado por Eduardo Torroja.

Sus aportaciones técnicas y científicas pertenecen a campos tan diversos como: ensayos sobre modelos, electrónica, ingeniería civil, arquitectura, fotografía, aplicaciones del ordenador, representación gráfica tridimensional CAD, nuevos materiales, maquinaria pesada, y hasta los más revolucionarios métodos de cálculo, como el FME.

La innovadora obra construida de Heinz Hossdorf —como la de Maillart, Torroja y Nervi—, pertenece al más importante legado de la Arquitectura e Ingeniería Moderna.

108-13

**Palabras clave:** ensayo modelos, hormigón pretensado, estructura laminar, poliéster, fibra de vidrio.

### SUMMARY

*Science, Technology, Civil Engineering and Architecture regret the recent death of Heinz Hossdorf, a genius of the 20th century.*

*Although, Hossdorf was formed as a civil engineer at the Zurich Polytechnic, his special scientific model of thinking made him self-taught. As Leonardo Da Vinci, he was an observant lover of the Laws which rule the Universe. He founded his own investigation laboratory in Basilea in order to follow the way of his intuition with freedom. He was always in contact with the Instituto Técnico de la Construcción founded by Eduardo Torroja.*

*His technique and scientific contributions belong to different fields such as: model tests, electronic, civil engineering, architecture, photography, computer applications, three-dimensional draw CAD, new materials, heavy machinery, and also the most revolutionary calculation methods such as FME.*

*The innovative work built by Heinz Hossdorf, such as those built by Maillart, Torroja and Nervi, belong to the most important legacy of Modern Architecture and Engineering.*

**Keywords:** test model, prestressed concrete, structural shell, polyester, fiber glass.

<sup>(\*)</sup>Doctor Arquitecto, Profesor de la ETSAM, Madrid (ESPAÑA)

## 1. MODELO DE PENSAMIENTO

Heinz Hossdorf nació el 20 de diciembre de 1925 en Wiesbaden. Creció con un especial modelo de pensamiento atraído siempre por el conocimiento de los más novedosos avances de la Ciencia, por ello sus vivencias de juventud estuvieron marcadas por un especial interés en la conquista del espacio que se inició en el año 1945 tras la Segunda Guerra Mundial. Hossdorf tenía 19 años cuando se lanzaron los misiles alemanes V-1 y V-2 sobre Inglaterra (Wernher von Braun, 1944) desde cientos de kilómetros de distancia de su objetivo tras elevarse a más de 80 km de altura. Este lanzamiento histórico realizado con motores cohetes de alcohol y oxígeno líquido hizo que el joven Hossdorf, al igual que el mundo científico, sintiera la tangible esperanza de que se estaba acercando el día en el que podría convertirse en realidad la conquista del espacio alcanzando la Luna tal y como Julio Verne describió en 1857, y Heinz Hossdorf quería participar en esa aventura (Fig. 1). Por esta razón me contaba que decidió hacerse ingeniero aeronáutico, y con ese objetivo se fue a Inglaterra, pero la enfermedad de su padre le impidió iniciar sus estudios lejos de su casa y en el año 1946 volvió a Suiza e ingreso en la politécnica de Zurich ETH.

Consciente de que la Física es un tronco sólido y común a todas las ingenierías incluyendo también la arquitectura, Hossdorf se formó como ingeniero civil graduándose en el año 1953, pero su personalidad autodidacta abarcó el conocimiento cognitivo del mundo que nos rodea con independencia de disciplinas y titulaciones, como si todavía la Filosofía no se hubiera subdividido en las diferentes ramas que forman el cuerpo de la Ciencia. Nunca entendió por ello la actual formación universitaria en la que se imparte una Física aplicada a cada ingeniería, como no entendió que el análisis estructural de un cuerpo se realizara de forma parcial al ser subdividido según la demanda de cada disciplina, limitándose en la mayor parte de los casos a las Leyes que rigen el planeta Tierra. Sin duda, su deseo que globalizar el comportamiento completo de las Leyes de la Naturaleza que rigen el Universo, unida a su permanente curiosidad técnico-científica y a su prolifera intuición creadora, hizo que Hossdorf protagonizara, en gran medida, algunos de los avances que la Ciencia tenía pendientes en el justo momento que le tocó vivir. Sus aportaciones técnicas y científicas pertenecen a campos tan diversos como los ensayos sobre modelos reducidos, la electrónica, la ingeniería civil, la arquitectura, la fotografía, el uso del ordenador, la representación gráfica tridimensional



Figura 1. Fotografía de Heinz Hossdorf realizada por él mismo en un espejo.

CAD, los nuevos materiales, la maquinaria pesada, y hasta los más revolucionarios métodos de cálculo como el FEM.

Pero pese a las innumerables aportaciones que realizó en tan diversos campos Heinz Hossdorf nunca olvidó la Luna. Siguió los avances de la aeronáutica con la permanente, aunque también desgastada nostalgia de no haber participado directamente en la conquista espacial, en la que sin duda hubiera contribuido de forma relevante si sus circunstancias personales no le hubieran obligado a abandonar la escuela aeronáutica donde pensaba ingresar. Sin embargo, sus conocimientos sobre las Leyes del Universo unidos al entendimiento de los avances técnicos y científicos que se iban alcanzando desde los primeros lanzamientos al espacio le llevaron a predecir la posible muerte del mono Gordo que fue puesto en órbita por los estadounidenses en el proyectil Júpiter el 13 de diciembre de 1958, el mismo año en el que se creó la agencia civil Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio, la NASA. Años después, el 28 de junio de 1969 otro mono —Bony— fue puesto en órbita en un biosatélite. El viaje estaba previsto que durara 30 días pero, tal y como ya Hossdorf sabía, el viaje duró tan sólo 9 días porque la actividad del corazón del mono bajó tan rápido que temían su muerte y le hicieron volver. El mono Bony también murió, esta vez no por aterrizar en el agua debido al trazado de su trayectoria, sino porque, como explicó Hossdorf, no había sido tenido en cuenta que el ritmo cardíaco es proporcional a la raíz cúbica de la aceleración terrestre. Las consideraciones de semejanza mecánica estaban siendo analizadas por Hossdorf en su laboratorio de Basilea, como base fundamental para el desarrollo de ensayos sobre modelos reducidos, pero siempre amplió el campo analítico a las Leyes del Universo, demostrando especial curiosidad por el efecto de la gravedad.

El pasado día 10 de junio falleció en Madrid Heinz Hossdorf, uno de los más destacados genios de la Ingeniería Civil del siglo XX. Para el mundo técnico y científico desaparece el último eslabón vivo de esa ya histórica cadena tejida entre la Arquitectura y la Ingeniería de la Modernidad de la que formaron parte Maillart, Torroja, y Nervi. Ingenieros que supieron integrar en la forma resistente la esencia de una nueva sensibilidad estética demandada por la desnuda racionalidad, no limitándose a legar una prolifera e innovadora obra construida fundamentalmente en hormigón armado y pretensado, sino que también contribuyeron con sus investigaciones científicas a marcar el rumbo de la Ciencia desde muy diferentes perspectivas.

La nostalgia por conquistar espacios inexplorados llevó a Hossdorf a iniciar nuevos campos de investigación como —las mareas y los fondos marinos— con la intención de colonizarlos. Con este fin formó, en el año 1963, con el arquitecto Fernando Cassinello y el ingeniero Hans Wittfoht, el único grupo al que ha pertenecido y que denominó —“consorcio de intelectuales idealistas”— Iniciaron sus trabajos estudiando uno de las más ingeniosas ideas de Hossdorf, diseñar un artefacto capaz de unir el continente europeo con África salvando las turbulentas aguas que fluyen en el estrecho de Gibraltar, situación que, incluso hoy en día, 46 años después, es prácticamente imposible dadas las desfavorables condiciones naturales del lugar, pese a los avances técnicos alcanzados. Pasaron varios años estudiando las poderosas y cambiantes fuerzas de las corrientes que se cruzaban en el estrecho, la topografía del fondo marino, profundidades, distancias, vientos y posibles movimientos sísmicos. Finalmente decidieron que el “artefacto” contaría con dotación eléctrica aprovechando la energía generada por todas estas fuerzas, y que tendrían tres tramos unidos pero diferenciados; un esbelto puente pretensado, una zona central de descanso a modo de plataforma, y un túnel flotante formado por anillos pretensados con tramos transparentes desde los que se pudieran ver algunas de las zonas más tranquilas del fondo marino. Doce años después, en 1975, tras la muerte de su amigo Fernando Cassinello, Heinz Hossdorf deshizo el consorcio y el proyecto del artefacto fue abandonado.

La intuición y el conocimiento dotaron a Hossdorf de libertad, una libertad conseguida con su propio esfuerzo y que siempre luchó por conservar. En permanente contacto con el mundo técnico y científico, no quiso, sin embargo, unirse a ningún grupo establecido ni pertenecer a ninguna institución. En 1966 montó su propio Laboratorio de ensayos en Basilea, para poder desarrollar plenamente lo que el mismo llamó, “*la ventura de ser ingeniero*” realizando sus propias investigaciones que siempre desembocaron en importantes innovaciones técnicas y científicas.

## 2. 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 1724, 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. 2). Torroja escribió una carta a Hossdorf felicitándole y Hossdorf respondió presentándose personalmente en Madrid para conocer a uno de sus más admirados ídolos, quién, posteriormente, publicó en la revista *Informes de la Construcción* un artículo sobre la idea del puente pretensado de piedra de Hossdorf (1).

En representación de Eduardo Torroja y del Instituto que dirigía, fue Fernando Cassinello, arquitecto del Instituto y responsable por aquel entonces de la revista *Informes de la Construcción*, quien recibió a Heinz Hossdorf en el año 1954 a su llegada al hotel Savoy. 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.

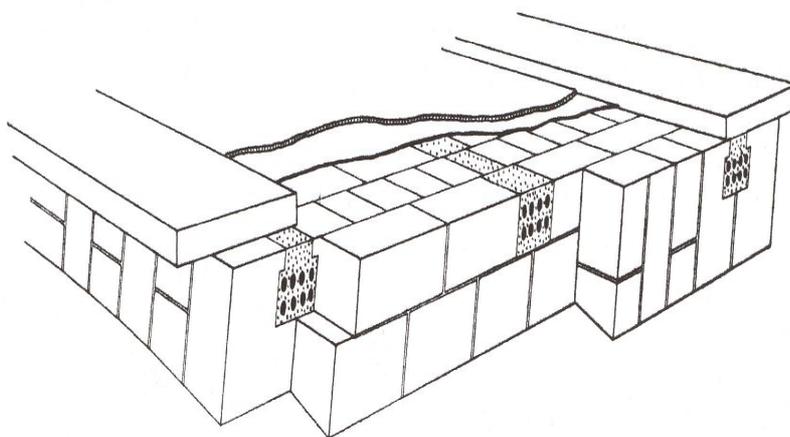


Figura 2. Detalle de la Idea de Hossdorf para un puente pretensado de piedra natural.

Para entender las relevantes aportaciones de Hossdorf, es necesario recordar que, en la década de los años 50, los indudables protagonistas de la escena técnico 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 sólo 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. La meta era la utilización de nuevas formas, de nuevos materiales y sistemas prefabricados de producción en serie, y, para ello, era necesario iniciar el camino de la investigación a través de centros especializados (2).

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 prolífica obra construida desde entonces. Eduardo Torroja era, sin duda, uno de los más prestigiosos líderes del mundo técnico y científico, no sólo 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 (3) y apoyo técnico que dirigía desde el Instituto Técnico de la Construcción que hoy lleva su nombre. 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, sus sistemas de cálculo, producción y puesta en obra. 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.

La estructura laminar era el máximo representante de esa Nueva Arquitectura, desnuda y racional en la que se integraban —forma, estructura, función y nueva sensibilidad estética—. Ante este panorama escénico, y ante la específica personalidad técnico-científica de Heinz Hossdorf, que contaba con un desmedido interés por intervenir en la aventura de investigar nuevos caminos, tal vez hubiera sido sencillo predecir, en 1953,

que su obra estaría protagonizada por innovadoras estructuras laminares, por nuevos sistemas de pretensado, prefabricados, nuevos materiales, nuevas técnicas de ensayos sobre modelos. Pero Hossdorf llegó aún más lejos y abarcó muchos más aspectos y campos, porque su interés también fue variando y creciendo con los avances científicos y técnicos que el mundo fue alcanzando hasta prácticamente los últimos días de su vida en Madrid, de donde nunca llegó a irse.

El Instituto Eduardo Torroja publicó todas sus obras y avances científicos en su revista *Informes de la Construcción*, en un secuencial conjunto de artículos escritos por Fernando Cassinello (4), quien, posteriormente, incluyó parte de la obra de Hossdorf en otras de sus publicaciones (5). Hossdorf participó, al igual que Nervi, como conferenciante en sus famosos Seminarios manteniendo un continuo contacto e intercambio técnico-científico desde su laboratorio de Basilea y posteriormente desde su presencia cada vez más permanente en Madrid.

### 3. APORTACIONES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

Hossdorf era consciente de que no es posible innovar sin investigar, por esta razón no dudó en montar su propio laboratorio 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.

El desmedido interés por el conocimiento de las Leyes de la Naturaleza ha sido un denominador común a todos los genios de la Historia, 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 quién o quiénes 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 deslizara, 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 (6). Antes de que el ensayo sobre modelo físico fuera reconocido como método científico, Leonardo Da Vinci los utilizó para conocer el comportamiento de estructuras geométricamente semejantes. Telford y Fairbairn utilizaron modelos reducidos para comprobar el comportamiento estructural de muy diferentes estructuras de puentes.

En esa larga y encadenada 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 sólo 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 Ópera 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 cuán imposible sería que existiera un saltamontes del tamaño de un elefante sin que éste cambiara para ello de forma o de proporciones entre sus partes (Fig. 3). Y es que, como decía Hossdorf: “Cuanto más pequeña es una forma



Figura 3. Heinz Hossdorf. El elefante y el saltamontes.

*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 movimiento, diferentes las necesidades de generar articulaciones y entramados sanguíneos, diferentes las voces que salen de sus tesadas gargantas.

El comportamiento de una simple gota de agua le sirve a Hossdorf para explicar el significado de la escala y lo absurdo que resulta el empeño de construir modelos geoméricamente 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 geoméricamente 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 cualquier 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 cómo 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 sólo tendrían 80 centímetros de estatura, se moverían y pensarían con mayor rapidez (7).

Pero también, sin necesidad de salir de la acción gravitatoria del planeta Tierra, Hossdorf criticó duramente las peligrosas interpretaciones que el mundo de la Arquitectura hacía en muchas ocasiones sobre el módulo de Le Corbusier, o cualquier tipo de proporción geométrica de las que, a lo largo de la Historia, han sido modelo para generar

proporciones armónicas y que, en muchas ocasiones, han sido erróneamente extrapoladas para definir estructuras geoméricamente semejantes a diferentes tamaños. Acusó a Mies Van der Rohe de despreciar la Naturaleza en sus obras, construyendo estructuras —casa y rascacielos— utilizando las mismas proporciones geométrica, con independencia de la escala.

En base a sus conocimientos científicos, Hossdorf realizó sus modelos teniendo especial cuidado en que la semejanza entre éste y su prototipo —la realidad— no estuviera sólo 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, Hossdorf 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 las estructuras espaciales.

En 1972 publicó en Berlín un libro titulado —Modellstatik—, traducido al español y publicado por el Instituto Eduardo Torroja (7), debido a la iniciativa de Fernando Cassinello. 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 (Fig. 4).

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.

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.

#### 4. OBRA CONSTRUIDA. MATERIAL Y FORMA RESISTENTE

La obra construida de Hossdorf forma parte del Patrimonio más relevante de la Modernidad. Aunque la mayor parte corresponde a estructuras laminares ejecutadas en hormigón armado y pretensado, a lo largo de su vida profesional proyectó, calculó y construyó gran variedad de innovadores tipos estructurales utilizando siempre nuevas formas resistentes, evolucionando las técnicas de pretensado, los procesos de producción y puesta en obra y también incorporando nuevos materiales estructurales como el plástico. Además de construir sus propios proyectos colaboró con gran número de arquitectos suizos como; Danzeisen, Senn, Gutman, Ernst Gisel, Betrix y Consolation. En 1957 fue invitado por el Senado de Berlín a participar junto con Otto H. Senn en la "Internacional Ausstelligung (IBA-57), trabajando en la remodelación del Hansaviertel con

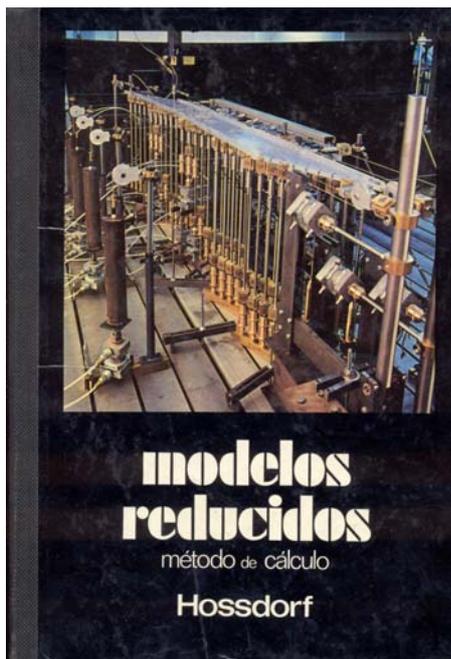


Figura 4. Portada libro Heinz Hossdorf. Modelos Reducidos.

Walter Gropius, Alvar Aalto, Oscar Niemeyer y Arne Jacobsen.

Hossdorf convirtió su vida profesional en la interesante aventura de construir sus propias ideas dándoles una racional forma resistente, moldeando y tesando cada vez un material diferente en busca de aquel que cumpliera con las características que su idea demandaba, y si este material no existía, Hossdorf, sencillamente, lo inventaba. Nunca se limitó a contar sólo con lo que ya existía, por eso ni las formas, ni los materiales ni los métodos de comprobación y cálculo, fueron una barrera que le impidieran hacer realidad sus pensamientos. A través de su propia investigación fue libre para hacerlos realidad.

El proceso de pensamiento de Hossdorf fue inverso del que utilizó Gaudí para dar forma definitiva a sus arcos y bóvedas, ya que mientras éste hacía coincidir la "forma" con el antifunicular de las cargas, Hossdorf —con independencia de antifuniculares— construyó siempre las formas que surgieron de su imaginación, comprobándolas mediante ensayos sobre modelos con la finalidad de hacerlas resistentes sin deformarlas —sin cambiar su forma— utilizando para ello recursos tan novedosos como el tesado de madera con finos alambres, el postesado aéreo, el pretensado de ubicación central, el poliéster reforzado con fibra de vidrio, cantos mixtos o la simple sustitución de un apoyo por una articulación en un arco inicialmente biapoyado para eliminar el empuje en

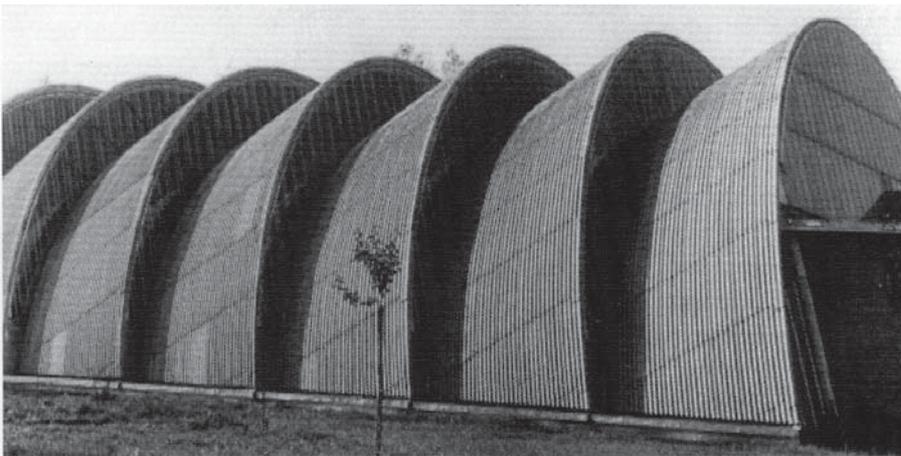


Figura 5. Nave industrial de Gossau, Suiza. Hossdorf, Danzeisen y Voser.

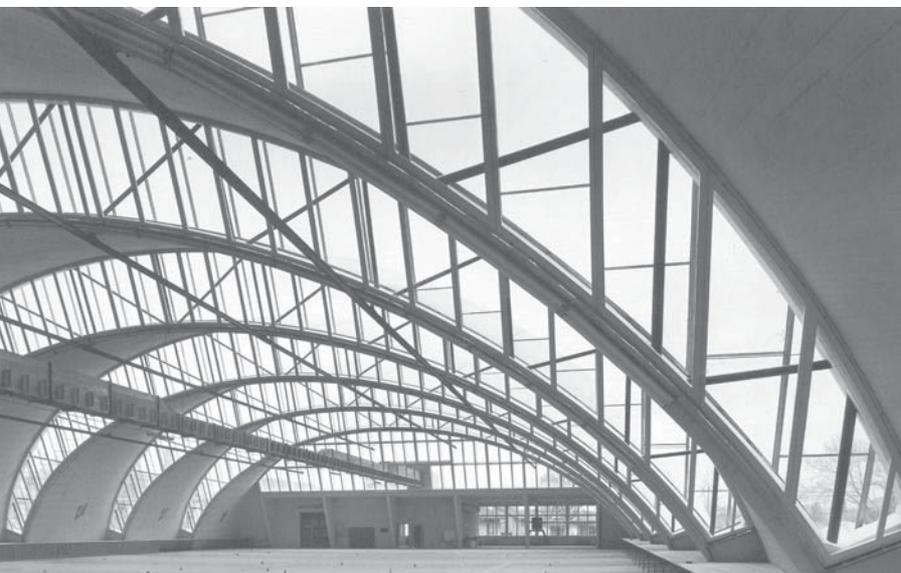


Figura 6. Interior nave industrial de Gossau, Suiza.

un antiguo muro que era necesario conservar en una antigua iglesia.

Cada obra construida de Hossdorf aportó una innovación relevante en el avance técnico pero siempre unida al hecho de hacer posible la construcción de esa nueva Arquitectura proclamada por la Modernidad, una Arquitectura desnuda de elementos superfluos, en la que la propia forma resistente se funde con las necesidades espaciales dando forma a una racional idea. Bajo este modelo de pensamiento, Hossdorf fue el primero en utilizar los cantos mixtos en la nave industrial de Gossau, en 1954, recurso estructural posteriormente utilizado por Félix Candela, inventó el postesado aéreo, construyendo, en el año 1958, el Almacén Central de Consorcio Wagen, utilizando piezas prefabricadas de hormigón armado unidas mediante su postesado fuera de la masa del hormigón, utilizó por primera vez el plástico como material estructural construyendo,

con poliéster reforzado con fibra de vidrio, el Pabellón de la Exposición de Intercambio Comercial en Suiza, en 1964. Pero estos importantes hechos, que impulsaron el avance de la Arquitectura e Ingeniería Civil durante unas doradas décadas de cambios técnico-científicos, son tan sólo una muestra de la relevante actividad creadora de Hossdorf.

### Cantos mixtos

*Nave Gossau y Biblioteca de la Universidad de Basilea*

En el año 1954 los arquitectos Danzeisen y Voser solicitaron la colaboración de Hossdorf en su proyecto de una nave Industrial en Gossau. Se trataba de una sucesión de láminas cilíndricas de eje inclinado que salvaban una luz de 30 metros. El problema que había que resolver era conseguir optimizar el canto resistente de dichas láminas, ya que se pretendía que la luz de norte penetrara en la nave a través del espacio vacío que quedaba entre las láminas. Hossdorf, persiguiendo la luz natural del espacio arquitectónico inventó los cantos mixtos, introduciendo cerchas metálicas conectadas a los bordes de las láminas.

De esta manera se integraban visualmente —láminas, cerchas y lucernarios— colaborando entre sí en el comportamiento mecánico del conjunto. Las láminas cuentan con tan sólo 6 cm de espesor, con un incremento en la clave y extremos en los que alcanza 12 cm. Se realiza así, por primera vez, la colaboración estructural entre superficies laminares de hormigón armado y cerchas metálicas curvas (Figs. 5 y 6).

En el año 1964 proyecta con Otto H. Senn la Biblioteca de la Universidad de Basilea, combinando esta vez, en estrecha colaboración mecánica, estructuras laminares de hormigón armado, vigas pretensadas, pilares oblicuos y estructuras metálicas trianguladas.

Un proyecto de geometría más compleja que la utilizada en Gossau y en la que se incluye un gran voladizo perimetral. La sala de lectura de la biblioteca se levanta sobre una planta hexagonal de 11 metros de lado, generando un espacio central de doble altura donde se ubica la sala general de lectura, y un anillo perimetral de 3,10 metros de ancho que, a modo de balconada, delimita un espacio más privado. La cubierta del conjunto contribuye a la diferenciación espacial de ambas zonas al estar formada por una estructura laminar central y una cubierta plana sobre el anillo perimetral (Fig. 7).

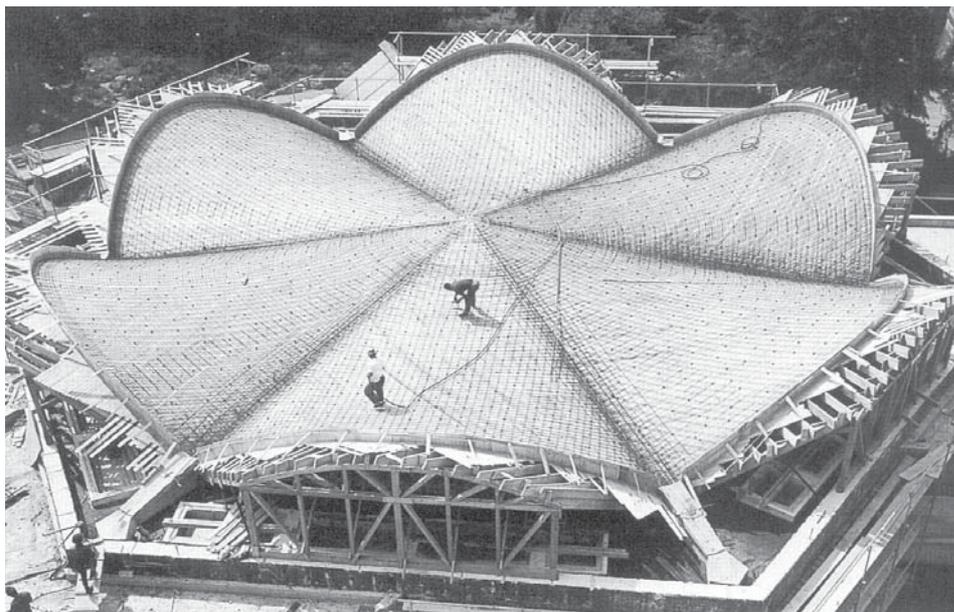


Figura 7. Armado estructura laminar. Biblioteca Universidad de Basilea. Hossdorf.

La cubierta laminar, ejecutada en hormigón armado, está formada por la intersección de seis paraboloides hiperbólicos en disposición radial, los cuales transmiten sus empujes a un anillo pretensado situado en el borde extremo del voladizo circundante de 3,10 metros. Los paraboloides hiperbólicos cuentan con nervaduras de refuerzo de canto invertido en sus bordes, que rigidizan el conjunto y absorben la concentración de tensiones, prolongándose mediante tornapuntas de pronunciada inclinación, concentrando y transmitiendo los esfuerzos resultantes hasta el anillo de borde del voladizo que se pretensa, absorbiendo los empujes del conjunto laminar. Las cargas verticales se transmiten mediante pilares en forma de V que recogen, a su vez, el gran voladizo. Las cargas se transmiten sobre una viga metálica triangulada de gran canto, coincidente con la altura de la planta inmediatamente inferior, que transmite las cargas verticales a los pilares de los pórticos ortogonales del resto de las cinco plantas del edificio situadas bajo rasante.



Figura 8. Ensayo sobre modelo de la biblioteca de Basilea. Hossdorf.

Para poder optimizar la integración de la forma con su comportamiento estructural, Hossdorf recurre, como siempre, a realizar en su laboratorio un ensayo sobre modelo, el cual se permite comprobar la colaboración de cada uno de los elementos estructurales en la absorción de la distribución de esfuerzos generada (Fig. 8). De esta forma, los resultados obtenidos no sólo le sirven como base para realizar posteriormente el dimensionado definitivo, sino también para poder establecer la secuencia de ejecución en obra más racional para el conjunto.

La solución estructural planteada por Hossdorf no sólo se funde con las intenciones de Senn en defensa de un espacio arquitectónico diferenciado, sino que con la misma racionalidad estructural y constructiva que Maillart realizó el desaparecido Pabellón de la Exposición de Suiza en 1939, y retomando la idea de pretensar el borde como lo hiciera Eduardo Torroja en el Mercado de Algeciras, añade la colaboración de una viga metálica triangulada de gran canto, resolviendo la gran problemática que genera el gran voladizo de borde frente a la estabilidad

del conjunto, generando, para ello, una compleja e ingeniosa sucesión de elementos estructurales donde se especializan formas, materiales y técnicas constructivas a favor de la optimización del funcionamiento estructural del conjunto (Fig. 9).

### Postesado aéreo

#### *Almacén Central del Consorcio Wagen*

La aparición del hormigón pretensado revolucionó el mundo de la construcción desde las primeras décadas del siglo XX al igual que el hormigón armado lo hiciera desde su



Figura 9. Interior biblioteca. Universidad de Basilea. Hossdorf y Senn.



Figura 10. Postesado aéreo. Estructura laminar. Almacén Consorcio Wagen. Hossdorf.

irrupción en el mercado desde el segundo tercio del siglo XIX. Cuando Hossdorf inicia su aventura como ingeniero en el año 1954, son muchos los avances alcanzados, pero existe todavía un aspecto importante que hasta entonces nadie ha sabido resolver, y es 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 1964, 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. Utilizó 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 m<sup>2</sup>, 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. Cada una de estas piezas, de 8,40x1,40 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 independientes de 8,40 metros de ancho y 25,20 metros de luz entre apoyos (8) (Fig. 10).

Los cables de postesado optimizan 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. 11). Además, en este caso concreto realizó diversos ensayos para determinar cuál era la mejor solución que debía adoptar en las juntas entre las piezas prefabricadas, ya que la eficacia 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 del 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. Las juntas fueron finalmente ejecutadas casi a hueso, con un mortero de hormigón de tan sólo 10 milímetros de espesor, dado que quedó comprobado, mediante ensayo, la adecuada transmisión de esfuerzos, basada en la fricción de los cantos de las piezas en contacto debido a la tensión del postesado previsto. El hecho de no realizar las juntas totalmente en seco fue para evitar los posibles defectos en la planeidad de las superficies de los cantos en contacto, que generarían concentraciones de tensiones no previstas. Hossdorf demostró así que las recomendaciones, entonces existentes, sobre la necesidad de ejecutar juntas entre piezas prefabricadas del orden de 8 a 10 centímetros, eran innecesarias utilizando esta nueva técnica.

## Madera postesada

### *Pabellón en Basilea*

Tesar fue una idea que Hossdorf tuvo siempre presente en sus proyectos con la finalidad de optimizar el trabajo estructural de las formas resistentes. Revolucionó el campo de aplicación del pretensado y postesado aplicando nuevas técnicas en muy diferentes materiales, no limitándose al hormigón, sino tesando también acero, plástico, madera y piedra.

La pequeña cubierta del Pabellón de Basilea es uno de sus proyectos de madera postesada.



Figura 11. Ensayo sobre modelo. Estructura laminar. Postesado aéreo. Hossdorf.

Se trata de una cubierta en forma de artesa que cubre una planta cuadrada de aproximadamente 13 metros de lado, que se apoya en sus cuatro vértices dejando pasar la luz en todo el resto del perímetro.

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, cuadrales y aguilonos 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 (Figs. 12 y 13, página siguiente).

## Plástico tesado

### *Pabellón 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 (9), fundada por Eduardo Torroja en

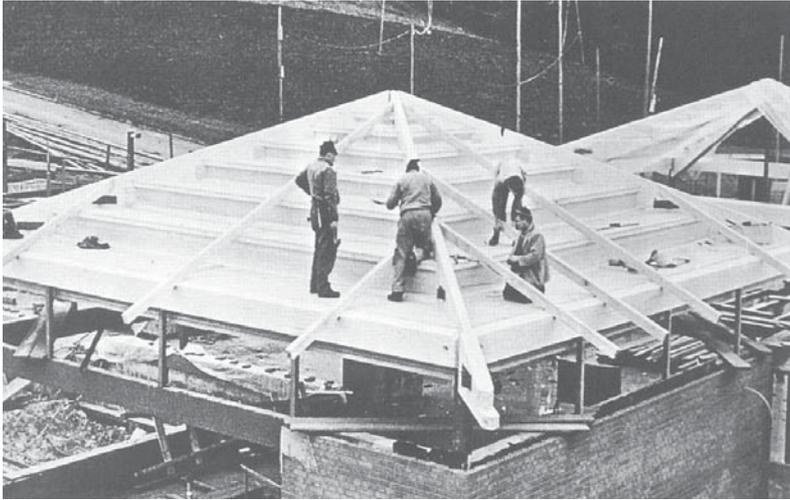


Figura 12. Postesado de artesa de madera. Hossdorf.

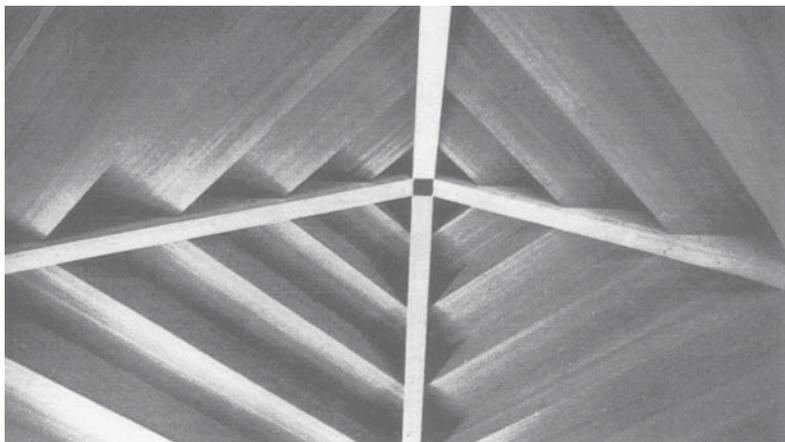


Figura 13. Interior artesa de madera.

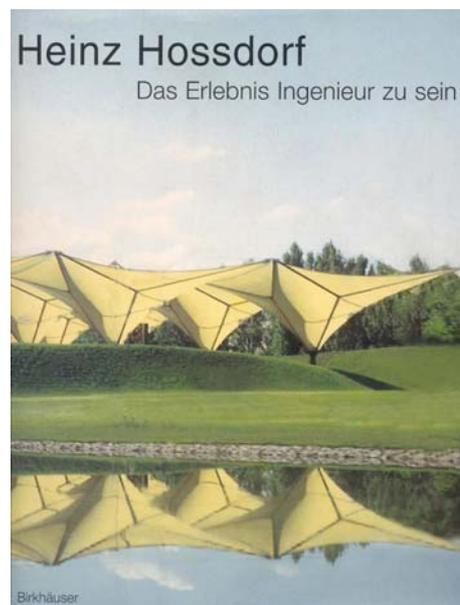


Figura 14. Portada libro: Heinz Hossdorf Das Erlebnis Ingenieur zu sein.

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 (Fig. 14).

Hossdorf proyecta el Pabellón de Intercambio Comercial de la Exposición Nacional de Suiza en Laussane (10) 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 m<sup>2</sup> de una planta rectangular de 111x74 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, abriendo un nuevo campo de utilización estructural para los materiales plásticos.

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. 15).

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 sollicitaciones 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 resistencia 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, en 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. 16), 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, al viento como la carga más peligrosa de este tipo de estructuras tan ligeras, quedando manifiesta la necesidad de arristrar 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.

Soñé, me decía Hossdorf, con esa imagen que se grava para siempre en la retina y que sucede cuando despiertas tumbado en un campo suizo de grandes campanillas, y la luz del sol pasa a través de sus pétalos convirtiéndose en un suave reflejo tamizado. Hossdorf quiso reproducir la sensación de aquel recuerdo y por esta razón proyectó el Pabellón de la séptima Exposición Suiza de Intercambio Comercial a modo de un gigantesco campo de campanillas traslúcidas introduciendo el plástico tesado como material estructural en la Arquitectura, generando la posibilidad de construir ligeras láminas permeables a la luz (Fig. 17).



Figura 15. Colocación de módulo laminar de poliéster sobre pilar. Hossdorf, 1964.

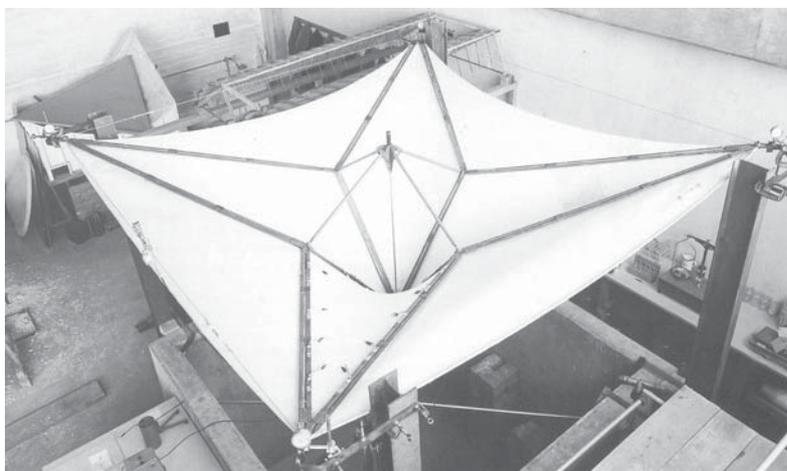


Figura 16. Ensayo sobre modelo. Módulo de poliéster reforzado con fibra de vidrio.



Figura 17. Interior Pabellón Lausanne, 1964. Hossdorf.

### Láminas de hormigón armado y pretensado

Además de incorporar nuevos materiales y técnicas constructivas, Hossdorf evolucionó

el campo de las láminas de hormigón armado y pretensado aportando nuevos tipos estructurales al igual que hicieron Torroja y Nervi. Entre ellas destaca la estructura laminar de grandes luces que construyó como cubierta del Teatro de la Ópera de Basilea en el año 1968, como resultado del concurso, que ganó conjuntamente con Guttman. La cubierta del teatro está formada por una gran estructura laminar de planta irregular, obtenida como fragmento de un cuerpo de revolución de doble curvatura, que salva una luz de más de 60 metros.

En este caso, a la específica y novedosa geometría se añade la enorme luz de la lámina, sólo posible mediante la aplicación de un adecuado pretensado, cuya determinación se complica porque Hossdorf y Guttman desean que la lámina esté perforada para que penetre la luz natural en el interior del hall de acceso al Teatro. Como si se tratara de cortar un velo almidonado —tela tesada—

manteniendo la estabilidad de su adquirida rigidez, Hossdorf rasga la lámina partiendo del borde extremo peraltado siguiendo las líneas de máxima pendiente. Une entre sí las líneas rasgadas de dos en dos de forma transversal y genera un descenso o ascenso de la lámina como teclas de un piano que está sonando. La luz parece que “suena” dentro del hall de la Ópera a través de la armoniosa secuencia de hendiduras de luz y sombra. Hossdorf recurrió también en este caso al ensayo sobre modelo reducido para poder corroborar el complejo funcionamiento estructural de la lámina (Figs. 18 y 19).

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. 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.

Pero Hossdorf demostró la misma intuición y destreza para innovar desde sus primeras obras. El mismo año en el que se incorporó por primera vez al mundo técnico, recién graduado en Zurich, proyectó una original estructura laminar enterrada. Se trata del Garaje Zolli 1953-54. Era necesario construir un aparcamiento debajo de un jardín público, intentando conservar el especial encanto que le proporcionaba la natural irregularidad de la topografía de su terreno base. Hossdorf proyectó una original estructura laminar, en la que los pilares inclinados en forma de V se integran siguiendo el trazado geométrico de la resultante tensional transmitida por la estructura laminar de la cubierta enterrada. Este racional trazado, al igual que el de los maestros medievales que construyeron las catedrales Góticas, optimiza la propia forma geométrica de su estructura.

De esta forma se optimizan también las secciones resistentes de cada uno de sus elementos estructurales así como la funcionalidad del espacio construido bajo tierra para el uso de aparcamiento. La estructura cuenta con pórticos de tres vanos entre cuyos apoyos se establece un acceso rodado central de dos laterales para albergar las plazas de vehículos. Con una distancia de 20 metros libres entre los muros pantalla que

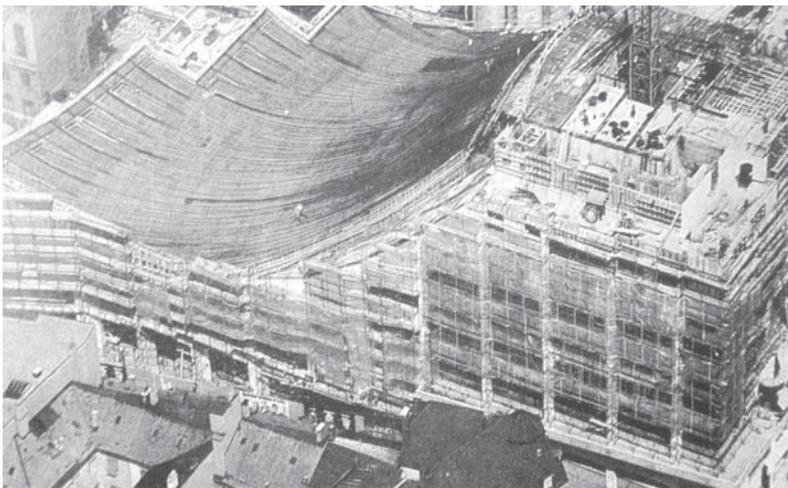


Figura 18. Cubierta laminar. Teatro de la Ópera de Basilea.



Figura 19. Interior. Hall del teatro de la Ópera de Basilea.

delimitan su borde, y con la enorme carga permanente procedente del peso del terreno y jardín existente sobre su extradós, Hossdorf proyecta una estructura laminar de tan sólo 12 centímetros de espesor, ejecutada en hormigón armado, que transmite los esfuerzos a los pilares inclinados de la primera planta, cuya inclinación hace posible la desaparición de la armadura de tracción en la zona central del vano.

El forjado de planta primera es una placa nervada cuyas nervaduras se disponen siguiendo una malla romboidal que contribuye a optimizar el funcionamiento estructural del conjunto (Figs. 20 y 21).

### Otras obras

En el año 1960 Hossdorf proyectó la Central Hormigonera de Gunzgenso junto al río Aare, una obra que causa especial interés entre los arquitectos por su racionalidad de forma, ya que cada parte del edificio adopta la geometría necesaria para la función que ha de cumplir. Se trataba de proyectar una fábrica para la industrialización de hormigón y áridos prefabricados. Hossdorf proyecta un conjunto formado por tres edificios; el principal, destinado a la fabricación de grava, y, por ello, unido directamente al río mediante un sencillo y original puente metálico de transporte, de 120 metros de longitud, formado por elementos tubulares de fácil montaje; otro edificio, destinado a la fabricación de hormigón, y otro, para preparar hormigón bituminoso, ambos conectados, a su vez, con el principal, del cual reciben la grava una vez clasificada.

En todos los edificios del conjunto el hormigón es, a la vez, material estructural y piel, resaltando el interés del principal por su original y atractiva imagen, que responde a la radical y biunívoca relación entre función y forma. Este edificio está formado por la macla de dos cuerpos; el inferior, a modo de basamento de sección piramidal truncada en el que se ubican los silos donde se almacenan los áridos clasificados, que se desarrolla sobre una planta de 37,40x28,20 metros, llegando a alcanzar una altura de 13,20 metros, en la cual el ancho se reduce de 37,40 a 10,20 metros, generándose, así, una fuerte pendiente en sus bordes que coincide con la del talud natural que forman los áridos almacenados. El cuerpo superior es un prisma rectangular de 10,20x28,20 metros, que se macla sobre el basamento contando con una altura de 15,80 metros distribuidos en tres forjados. La estructura del basamento está formada por una sucesión de muros de hormigón armado transversales arriostrados por un muro intermedio

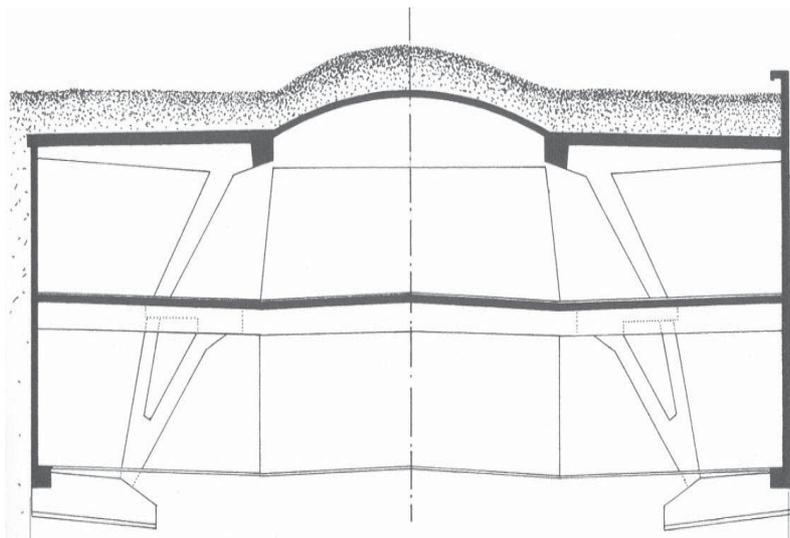


Figura 20. Sección transversal Garaje Zolli. Hossdorf.



Figura 21. Detalle placa nervada. Garaje Zolli. Hossdorf.

longitudinal, de tal forma que en los espacios intermedios se ubican los silos de cubierta inclinada, formada por piezas triangulares prefabricadas en hormigón armado, que dejan espacio abierto para poder a la carga del árido. La estructura del cuerpo superior está formada por pórticos, también prefabricados en hormigón armado, y el cerramiento autoportante se realiza con piezas

prefabricadas de hormigón armado plegadas, de tan sólo 6 centímetros de espesor, cuya forma geométrica aporta mayor rigidez al conjunto (Fig. 22).

En el año 1964, Hossdorf proyecta el Salón de Actos de la Escuela Rudolf Steiner. Se trata de una original estructura de hormigón que moldea a modo de escultura poliédrica, como respuesta a la definición espacial proyectada por el arquitecto H. F. Leu. La tribuna del salón de actos vuela sobre la planta inferior a la vez que gravita sobre ella el peso de la cubierta. Hossdorf soluciona esta crítica situación de carga mediante la inclusión de triangulaciones y la introducción de dos tirantes pretensados situados en las esquinas, evitando así la aparición de gruesos cantos en la cargada ménsula. La cubierta es un poliedro de caras triangulares construidas mediante placas de hormigón armado de 12 centímetros de espesor, sus pliegues o aristas concentran las cargas en los bordes del cuerpo volado —tribuna del Salón de Actos— concentrándose la mayor parte de éstas en sus dos esquinas. Hossdorf ancla la tribuna volada a las esquinas de la cubierta mediante dos tirantes pretensados, apoyándose en la planta baja mediante tornapuntas, una audaz combinación de tracciones y compresiones (Fig. 23). Como era su costumbre, realizó un modelo físico para ensayar el comportamiento estructural previsto por su intuición.

La amplitud de aspectos que Hossdorf fue capaz de abarcar en su vida profesional le llevó, en el año 1964, a construir una interesante pieza que, a modo de escultura gigante, estaba formada por cables desnudos tensados entre postes y anillos (Fig. 24), y que formó parte de la misma Exposición de Intercambio Comercial celebrada en Suiza en la que construyó el célebre Pabellón de

poliéster reforzado con fibra de vidrio. Hossdorf, al igual que Torroja, encontró también interesante abordar el diseño de pequeñas piezas que pertenecen al mundo del mobiliario, como el falso techo de madera de su casa madrileña al que él no daba la más mínima importancia. Una interesante y sencilla sucesión de pequeñas tablas colocadas de canto que, siguiendo una geometría poliédrica, ocultaban las instalaciones de aire acondicionado que Hossdorf instaló en su casa tras haberla comprado ya construida y sin espacio previsto para contar con dicha instalación.

Uno de los proyectos, lamentablemente no construidos que Hossdorf realizó fue el Pabellón Suizo para la Exposición Universal celebrada en Sevilla en el año 1992. En él recogía algunas de sus últimas ideas innovadoras sobre "arquitectura cinemática", se trataba de un pabellón capaz de cambiar de forma, adaptándose en cada momento a las diferentes condiciones climatológicas del ambiente exterior. Estaba dotado de la más sofisticada tecnología punta suiza, el proyecto se basaba en la estructura móvil, que cambia de forma en función de la posición del sol, generando un espacio habitable al abrigo de la radiación solar directa. Estaba formado por un cuerpo central fijo, de planta circular, en cuyo interior existía un patio interior abierto en el que se levantaba una estructura hueca de hormigón armado. Esta estructura albergaba la sala de control y programación y servía de apoyo a la estructura móvil formada por una especie de paraguas de aluminio, cuyas varillas y plemento eran capaces de girar en planos ortogonales y oblicuos al eje de la estructura de apoyo, así como desplazarse simultáneamente hacia arriba o hacia abajo. Una estructura controlada por ordenador y programada tanto para arrojar sombra en la posición adecuada como para impulsar los sistemas de refrigeración en función de la cantidad de calor desprendido por las radiaciones solares. El pabellón se adaptaba por completo a la climatología, en caso de lluvia se desplegaba, sirviendo de enorme paraguas para los visitantes, pero también estaba programado para participar en la fiesta de la Exposición Universal, convirtiéndose por la noche en todo un espectáculo de luces y formas cambiantes. Un espacio arquitectónico capaz de adaptarse por sí solo a las necesidades de confortabilidad cambiantes por la climatología o los ciclos de día y noche, proyectado totalmente automatizado, pero que permitía, sin embargo, un importante ahorro energético no sólo por la prevista captación de energía solar mediante paneles, sino por su propia tipología arquitectónica en la que Hossdorf incluyó el patio andaluz generando ventilaciones cruzadas (Fig. 25).

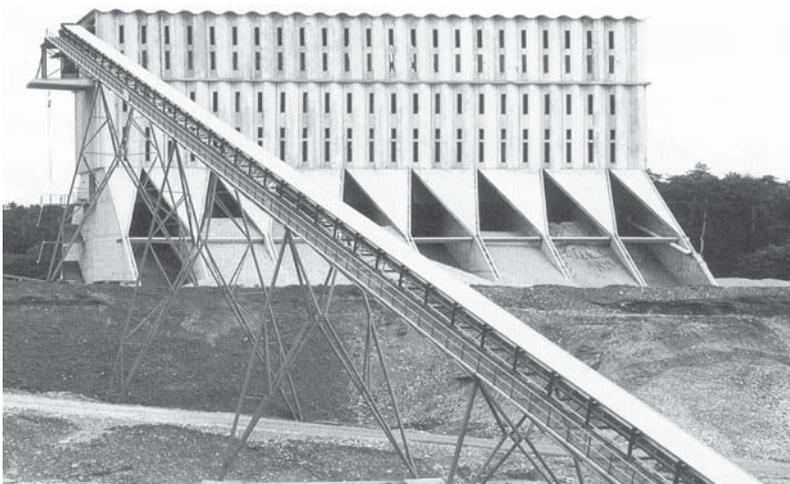


Figura 22. Central hormigonera de Gunzgenso. Hossdorf.

Recoger en un solo artículo la prolifera e innovadora obra de Heinz Hossdorf es una labor imposible y a la vez innecesaria. El último libro que Hossdorf escribió —“Heinz Hossdorf Das Erlebnis Ingenieur zu sein”— (11) recoge una importante selección de sus obras así como de sus investigaciones científicas, con la clara ventaja de que es el propio autor quien relata sus inquietudes, conocimientos y forma de proceder ante el comportamiento físico-mecánico de los cuerpos que proyecta y construye apoyándose en las Leyes de la Naturaleza.

En el cuarto y último capítulo del libro, es el también genial ingeniero Peter Dietz, experto en inteligencia computacional, quien escribe sobre la aportación de Hossdorf en la utilización del ordenador en las investigaciones realizadas en su laboratorio de Basilea. Este libro será próximamente editado en español a través del Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos de Madrid, gracias a su también amigo e insigne ingeniero, José Antonio Torroja.

### No hay lugar para el olvido

Sin duda ni Heinz Hossdorf ni sus importantes aportaciones técnicas y científicas podrán ser nunca olvidadas, porque pertenecen a una de esas aisladas partes de la Historia de la Arquitectura, de la Ingeniería, de la Técnica y de la Ciencia, que siempre se escribirán con letras mayúsculas.

Por último, sólo quiero decirte —Enrique— que como si se tratara del velo de Penélope he tejido y destejido este artículo imaginando que, como siempre que he escrito sobre ti y tu obra (12), estabas a mi lado haciéndome comentarios, relatándome tus inquietudes, pensamientos e historia que tanto se mezclaron siempre con las de tu amigo Fernando, mi padre. He tejido y destejido, porque hasta estos últimos párrafos, he intentado no convertir demasiados sentimientos en palabras para no distraer la atención del claro propósito de que este artículo sirva de homenaje a tu persona y legado, pero no puedo terminar sin agradecerte, también aquí, algunas cosas y sin repetirme eso que tanta gracia te hacía oírme decir: “Escuchando tus explicaciones me siento como aquella princesa alemana que interesada por conocer las Leyes de la Naturaleza, tuvo la enorme suerte de que fuera el propio Euler quien se las explicara con sencillas palabras, haciéndole entender el por qué la Luna influye en las mareas o el por qué Newton realmente tenía razón”. Gracias Enrique, porque le regalaste a los ojos de mi pensamiento un mágico filtro de entendimiento que siempre me acompañará.

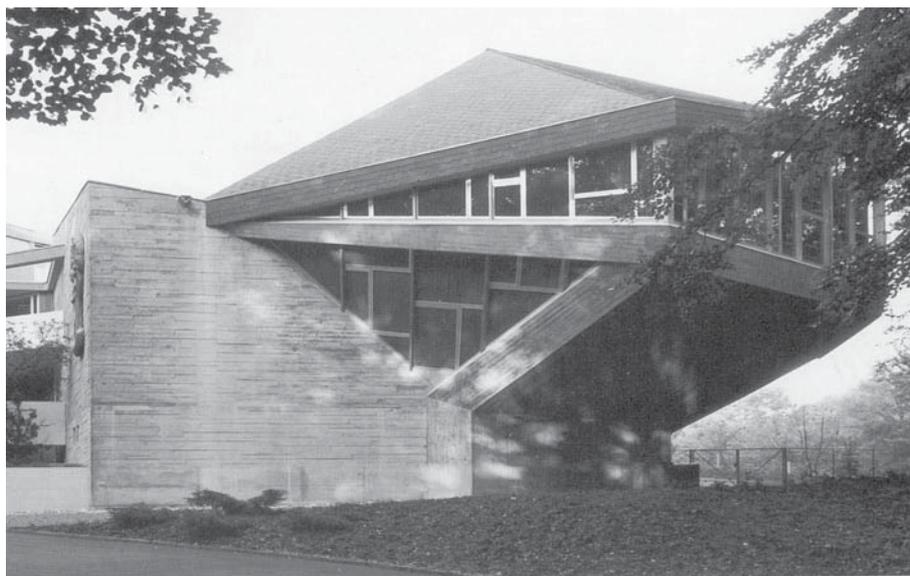


Figura 23. Salón de Actos. Escuela Rudolf Steiner.

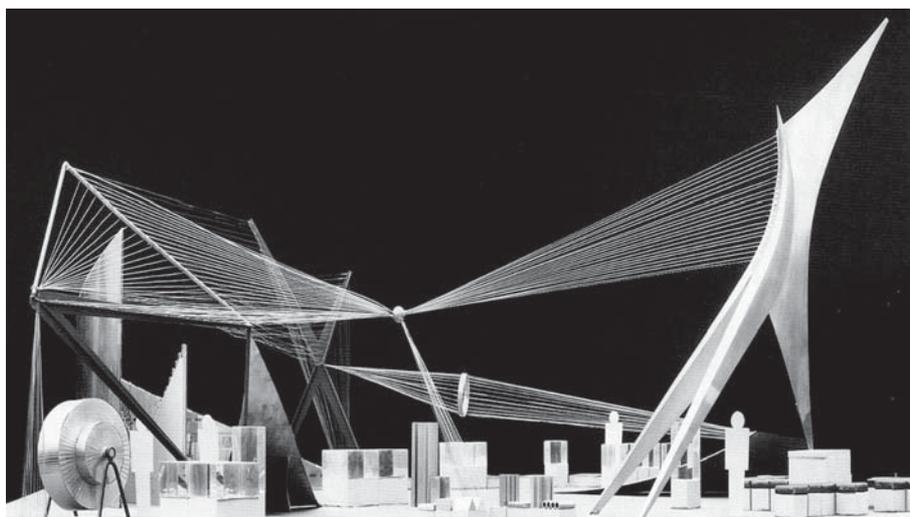


Figura 24. Composición estructural de cables y anillos. Lausanne 64. Hossdorf.

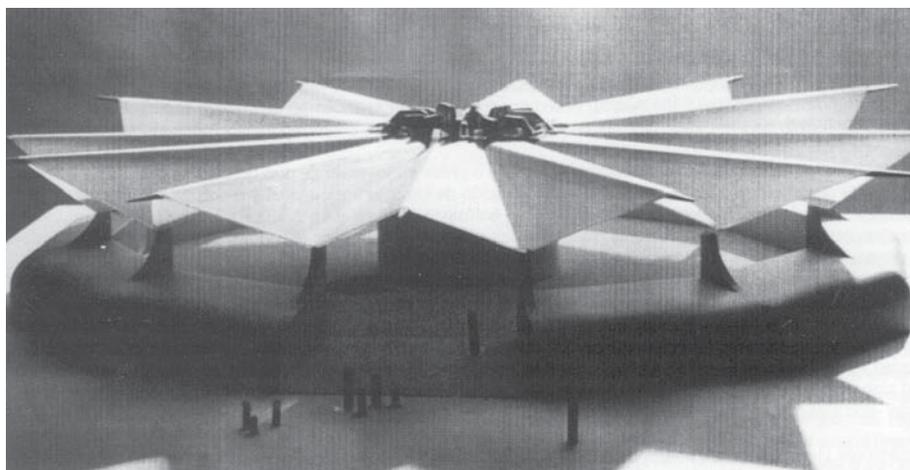


Figura 25. Pabellón suizo. Cubierta desplegada. Expo-Sevilla 92. Hossdorf.

Tal y como tu me dijiste aquel día, he tenido también el inmenso honor de ser el único arquitecto al que tú le encargaste un proyecto. Me recibiste en tu casa con un metro en la mano y me dijiste que querías que juntos proyectáramos tu nuevo laboratorio de fotografía cubriendo la terraza de tu ático.

Nunca pensé que cubrir una terraza pudiera convertirse en algo tan apasionante. Vivir contigo el proceso de ese pequeño proyecto fue realmente una interesante aventura.

Lamentablemente, tu enfermedad impidió que pudiéramos llegar a construirlo. Tampoco puedo dejar de agradecerte tu inacabado intento de escribir, durante tus últimos días, el prólogo de mi libro que terminará en tu nombre nuestro común y admirado amigo José Antonio Torroja.

Seguiré divulgando tu legado en la Escuela de Arquitectura, tal y como vengo haciendo desde hace ya más de 13 años bajo tus sabios consejos, intentando transmitir no sólo el conocimiento de tu obra y la defensa de la estrecha unión que debe existir entre Arquitectura e Ingeniería, sino también, en un intento de transmitir la ilusión de la que me contagié desde niña para ejercer esta profesión. Tras la entrañable amistad que nos ha unido desde donde alcanzan mis recuerdos, sabes que no podré nunca encontrar en mí un lugar para el olvido.

Tal y como fue su deseo, las cenizas de Heinz Hossdorf han sido depositadas cerca de las de sus amigos —mis padres, Fernando Casinello y Pepa Plaza— en el Cementerio de San Isidro de Madrid, a pocos pasos de la sepultura de Eduardo Torroja.

#### REFERENCIAS

- (1) Eduardo Torroja: "Puente pretensado de piedra natural". *Informes de la Construcción*, Madrid, mayo 1955.
- (2) Pepa Casinello: "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 2000. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Navarra. T6 Ediciones, S. L.
- (3) Pepa Casinello: "La revista Informes de la Construcción, crisol científico de Arquitectura 1948-1960" capítulo (pág. 271 -301) Libro: "La Vigencia de un Legado-EDUARDO TORROJA. Autores: José Antonio Torroja, Juan Rovira, Boro Borcha, Vicente Vidal, Pedro Miguel Sosa, José Ramón Navarro Vera, José Soler Sanz, Rafael López Palanco, Bernardo Perepérez, Pepa Casinello, José Calavera Ruiz. Valencia, 2000. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia. U. P. V Vicerrectorado de Cultura.
- (4) Fernando Casinello: "Artículos sobre la obra de Hossdorf", en *Informes de la Construcción*. Revista Instituto Eduardo Torroja, nº 68, abril 1955 (Solución original para una nave industrial) nº 79, marzo 1956 (Garaje en Basilea-Zolli), nº 82, diciembre 1956 (Cubierta laminar pretensada), junio 1958 (Ensayo sobre modelo reducido de una cubierta laminar), mayo 1958 (Cubierta de madera para una nave industrial), marzo 1960 (Heinz Hossdorf), nº 155, noviembre 1963 (Gunzgen-Proyecto Pabellón Exposición, Lausanne 64), nº 159, abril 1964 (VSK-Almacén Wagen-Otten), nº 163, septiembre 1964 (Lausanne), nº 182, julio 1966 (Salón de Actos Escuela Rudolf Steiner de Basilea), nº 183, septiembre 1966 (Fábrica de Cemento en Liesberg y Laboratorio Fábrica Secheron Liesberg), diciembre 1969 (Vivienda unifamiliar, en Hegenheim).
- (5) Fernando Casinello: *Construcción Hormigonería*. Editorial Rueda, S. A. Madrid 1974, capítulo 22. Estructuras Laminares (Heinz Hossdorf, págs. 512, 513, 560, 597). *Construcción Carpintería*. Editorial Rueda, S. A., Madrid 1973, capítulo 10 Cubiertas (Heinz Hossdorf, págs. 209, 228, 253, 254).
- (6) Pepa Casinello: "Influencia de los terremotos históricos en la construcción de las Catedrales Góticas españolas" (págs. 9 -20). *Annali di Architettura*, nº 17, año 2005. Centro Internazionale di studi di Architettura Andrea Palladio.
- (7) Heinz Hossdorf: "Modellstatik" Bauverlag GMBH. Wiesbaden und Berlin 1971. "Modelos Reducidos. Método de cálculo". Instituto Eduardo Torroja, 1972. Traducción realizada por Carlos de Benito Hernández.
- (8) Hermann Rühle: "Raumliche Drachagwerke Konstruktion und Ausführung" VEB- Verlag für Banwesen, Berlin 1969 (pág. 263 Schalen —Shed— Drach).
- (9) Bulletin of the International Association for Shell Structures. IASS. "Design of a Polyester pavilion reinforced with glass fiber for the 64 Swiss Exhibition. Hossdorf ingenieur SIA. Bulletin nº 19, octubre 1964 (págs. 17-32).
- (10) Ein Ausstellung Bauen. A. Camenzind. Librairi Margaret, S. A. Lausanne 1964 (págs.132-135).

(11) Heinz Hossdorf: "Heinz Hossdorf Das Erlebnis Ingenieur zu sein". Birkhäuser Verlag. Berlin 2003.

(12) Pepa Cassinello: Revista Arquitectura. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. nº 305. Madrid 1996. Artículo: "Heinz Hossdorf" (págs. 108-113). Revista RC Resúmenes de Construcción nº 1, marzo 1997. Editorial Rueda, S. L., Artículo: "Arquitectura e Ingeniería en la obra de Heinz Hossdorf" (págs. 40-47). Revista *Arquitectura*. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, nº 327. Madrid 2002. Artículo: "Ciencia y creación en la obra de Heinz Hossdorf" (págs. 34-49).

\*\*\*

**Nota:**

Todas las imágenes me fueron cedidas por Heinz Hossdorf para su publicación en mis artículos, así como para impartir mis clases en la ETSAM.