

INGENIERÍA Y ARTE: VIVIR LOS TIPOS ESTRUCTURALES

Dora Nicolás Gómez*
Dra. en Filosofía y Letras. Especialidad de Arte

(A los alumnos de la promoción de 1983, de la Escuela de Caminos de Santander)

En muchos ámbitos se ha considerado -y a veces se considera aún-, que la ingeniería y el arte no tienen nada que ver entre sí. Que el técnico y el artista se oponen. Aquí vamos a considerar como "obra de arte", en sentido amplio, a toda aquella obra -incluida la de ingeniería- concebida con creatividad, calidad y "cualidad" estética. Toda obra necesita un soporte material donde realizarse; hay, pues, una evidente relación entre los avances técnicos en nuevos materiales y su utilización o no, en las obras: desde el óleo al hormigón. Éste, representa la gran tesis constructiva del siglo XX: el funcionalismo, basado en la auto-exhibición de su función constructiva y estructural. Pero algunos creadores consiguieron que, a pesar de su aspecto, tosco y pesado, el hormigón conformara estructuras tan ligeras como una cáscara de huevo, o como una porcelana, e intentaron convertir su estructura en un organismo vivo. No solo mediante una analogía de tipo simbólico sino también estructural y estética.

In many areas it has been considered -and sometimes it is considered yet- that engineering and art have nothing to do with each other. That the technician and the artist are opposed. Here, we are going to consider as a 'work of art', in a wide sense, any work -including that of engineering- which is conceived with aesthetic creativity and 'quality'. Any work needs a physical support where to be carried out. Thus, there is an evident relationship between the technical advances in the new materials and its use or not in the works: from the oil to the concrete. The latter represents the great constructive thesis in the XXth century: the functionalism, based on the self-exhibition of its constructive and structural function. But some creators achieved that, despite its out-ward appearance, though and heavy, concrete shaped such light structures as an egg shell or a china, and they tried to transform its structure into a living organism. Not only by means of and analogy a symbolic type, but also structural and aesthetic.

Para mí -comenta Eduardo Chillida-, sobre todo hay una cosa en el hormigón: cuando hago un encofrado y veo el espacio interior en donde voy a meter el hormigón..., esa sensación de expansión, esa presión que se va a producir, eso de ir de dentro hacia fuera, es una cosa fantástica. (...) Todos esos materiales (el hormigón) tienen una virtud, que es la virtud de la vida: que son expansivos.-(1) Eduardo Torroja, en los años treinta, hablaba siempre de que había que intentar vivir

los fenómenos tensionales del material, sobre todo, en el hormigón armado.

Se ha considerado tradicionalmente -y a veces se considera aún-, que la ingeniería y el arte no tienen nada que ver entre sí. Que el técnico y el artista se oponen. Hay quienes opinan que el artista es un excéntrico al margen de la sociedad, que no tienen nada que decir en un mundo movido y ordenado por las leyes de la productividad, de la oferta y la demanda. También hay quienes, por el contrario, piensan que la actividad de los ingenieros sólo produce obras antiestéticas, en las que no cabe la creatividad artística, y que ade-

*Universidad de Murcia.
Recibido en ROP: junio 1994

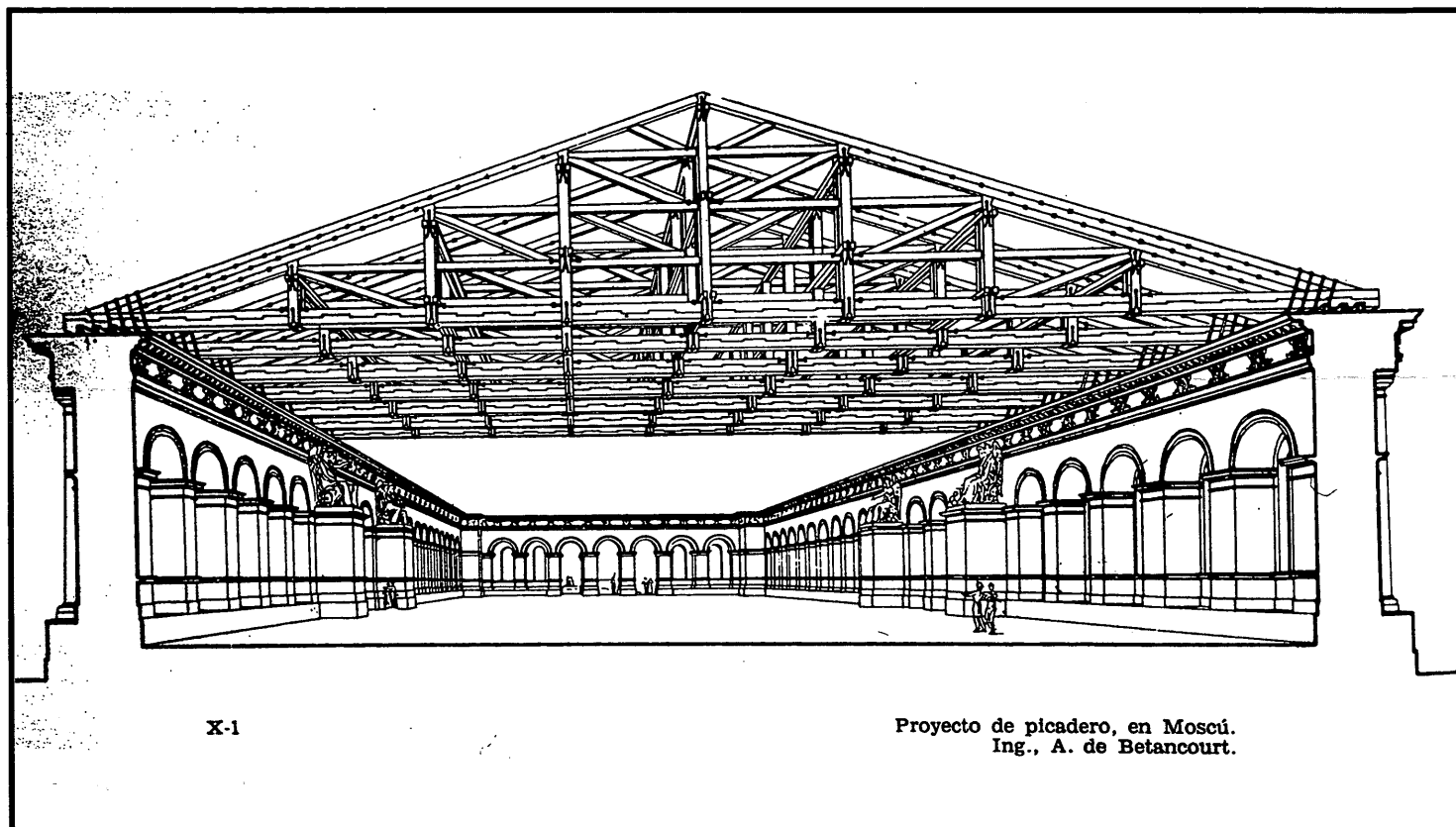


Figura 1.- Sala de ejercicios ecuestres (Moscú), 1824. Agustín de Bethancourt.

más destruyen en muchos casos la belleza de la naturaleza (2).

Aquí vamos a partir de la premisa de considerar como "obra de arte", en sentido amplio, a toda aquella obra -incluida la de ingeniería- concebida y proyectada con creatividad, calidad y "cualidad" estética. Esta última deducida, no de los adornos sino de la fidelidad a sus propios principios estructurales y a la índole característica de sus materiales(3).

Es conocido el recurso al tratado de Vitruvio para extraer criterios de juicio estético para la construcción. En su célebre texto encontramos considerado que una obra bien construida ha de poseer las tres famosas cualidades: "firmitas" (resistencia) "utilitas" (utilidad) y "venustas" (belleza) (4). Las tres deben ir unidas, y son inseparables, en cualquier obra. Cada una había de ser fruto de los conocimientos específicos necesarios en su especialidad (5).

Antes de la Revolución Industrial los arquitectos solucionaban por igual los aspectos técnicos y los estéticos de una obra, e igualmente sucedía entre los ingenieros pues no existía división

drástica entre las competencias de ambos. La actividad intelectual era unitaria. La especialización profesional vino con el desarrollo industrial y técnico, y con la aparición de nuevos materiales más allá del uso tradicional de la madera, el ladrillo, la piedra o el mármol. Sin embargo hoy, de nuevo, la colaboración de arquitectos e ingenieros en empresas de espíritu común es cada vez más frecuente (6).

La aparición de nuevos materiales entró en contradicción con las fórmulas constructivas y artísticas heredadas del pasado tales como arco (puentes), columna (pilas), frontón (cubiertas), ... etc. que eran las adecuadas a los materiales del pasado. Surgieron columnas, arcos, frontones,... de hierro fundido que ya no respondían a la problemática técnica anterior. También se entró en contradicción con los juicios estéticos aplicados a ellos y a sus resultados, porque se adaptan con dificultad a aquellos criterios. Los nuevos materiales investigaron, ensayaron, experimentaron e inventaron nuevas morfologías, propusieron nuevas formas de diseño, para los que no se emplean los criterios válidos para los antiguos materiales sino que se utilizan nuevas fórmulas críticas, nuevos parámetros.



**Figura 2.- Puente Salgina-Tobel (Suiza), 1929.
Robert Maillart.**

La vida propia del material

Cualquier obra necesita un soporte material donde realizarse; hay, pues, una evidente relación entre los avances técnicos en nuevos materiales y su utilización o no, en las obras: desde el óleo al hormigón. Conociendo mejor el comportamiento de esos nuevos materiales la creatividad se puede desarrollar mejor al contar con ellos. Al mismo tiempo, un avance técnico y un nuevo material disponible repercuten, a su vez, sobre las formas de vida y las ideas artísticas de una sociedad: desde el pantógrafo al diseño por ordenador. También la dimensión artística influye sobre la visión y costumbres sociales, y desarrolla una manera distinta de ver los objetos, incluidos los técnicos e industriales; potencia una forma de crear y proyectar diferente. En la Antigüedad Plinio el Viejo daba cumplida cuenta, en su *Historia Natural*, de la importancia que había de tener la consideración de un nuevo material y de sus técnicas, para la historia de la construcción, y de la humanidad (7).

En la primera mitad del siglo XX se consolida la llamada estética de la máquina, ligada al diseño industrial, que propone "otra" belleza basada en

supuestos distintos a los de la belleza ideal que era el paradigma en el pasado. La ciencia tecnológica ha tenido un énfasis especial como uno de los principales factores de la evolución cultural en la modernidad hasta constituirse en el saber dominante y preferido. Pero hacia finales de los años setenta la situación cambió y el, llamado, "maquinismo" fue rechazado como alabanza dirigida a la construcción en general (8).

Los nuevos materiales y las nuevas formas, en los años treinta en España, entraron también en desacuerdo con las valoraciones establecidas para las obras arte poseedoras de la preciada "venustas"(9). Los juicios estéticos de las obras realizadas con los nuevos materiales se siguieron basando en la sujeción los cánones de proporción clásicos, propios para obras hechas con materiales del pasado, sin tener en cuenta que eran imposibles de aplicar a los nuevos materiales porque, por ejemplo, como se sabe, el fenómeno resistente y elástico de una columna de hierro fundido, no puede ser ni es el mismo que el de una columna de piedra y, por tanto, ni se le pueden aplicar a aquella las mismas reglas de proporción que a ésta, ni su aspecto visual externo podrá ser nunca comparado. Además, la cuestión estaba en

convencer de que no sólo no se podían comparar ambas cuestiones sino que no se debía hacerlo, ya que los nuevos materiales tenían que ser considerados capaces de generar su propia artisticidad y su propia estética.

Dentro de la corriente progresiva de la historia de la construcción, como subraya Fernández Ordóñez, hay unos pocos hitos excepcionales como son: la invención del arco; el descubrimiento del cemento por los romanos y su utilización en grandes bóvedas de hormigón; la incorporación del hierro como material de construcción y, -como aportación del siglo XX-, la invención del hormigón armado pretensado. Es decir, el hormigón armado es considerado como el gran nuevo material del siglo XX.

Coherente con su época y con el (llamado por la historia) "Movimiento Moderno", el hormigón, hacia los años veinte y treinta del siglo XX, absorbe y asume por entero la gran tesis constructiva del momento: el funcionalismo, tanto en arquitec-

tura como en ingeniería. La tesis ideológica se apoya en la aparición de los nuevos materiales y en la auto-exhibición descarada de su función constructiva, sustentante, estructural.

Pero en algunos creadores el nuevo material, el hormigón, fue investigado en sí mismo con el fin de conseguir de él que, a pesar de su aspecto, tosco, rudo, gris y pesado, conformara estructuras tan livianas como una pluma, tan ligeras como una cáscara de huevo, o como una porcelana. Y eso fue porque hubo quien intentó inyectar vida en la masa de ese hormigón; intentó convertir su estructura en un organismo vivo, en una estructura orgánica, dotada de vida, de movimiento. Y lo confesó por escrito, y explicó sus razones. Uno de esos creadores fue Eduardo Torroja en España, a través de su obra realizada en la década de los años treinta, contemporáneamente, a las tesis de la denominada arquitectura orgánica (10).

Las comparaciones entre la estructura de las construcciones y la de los seres vivos son abun-



Figura 3.- Técnica de la "bóveda catalana".

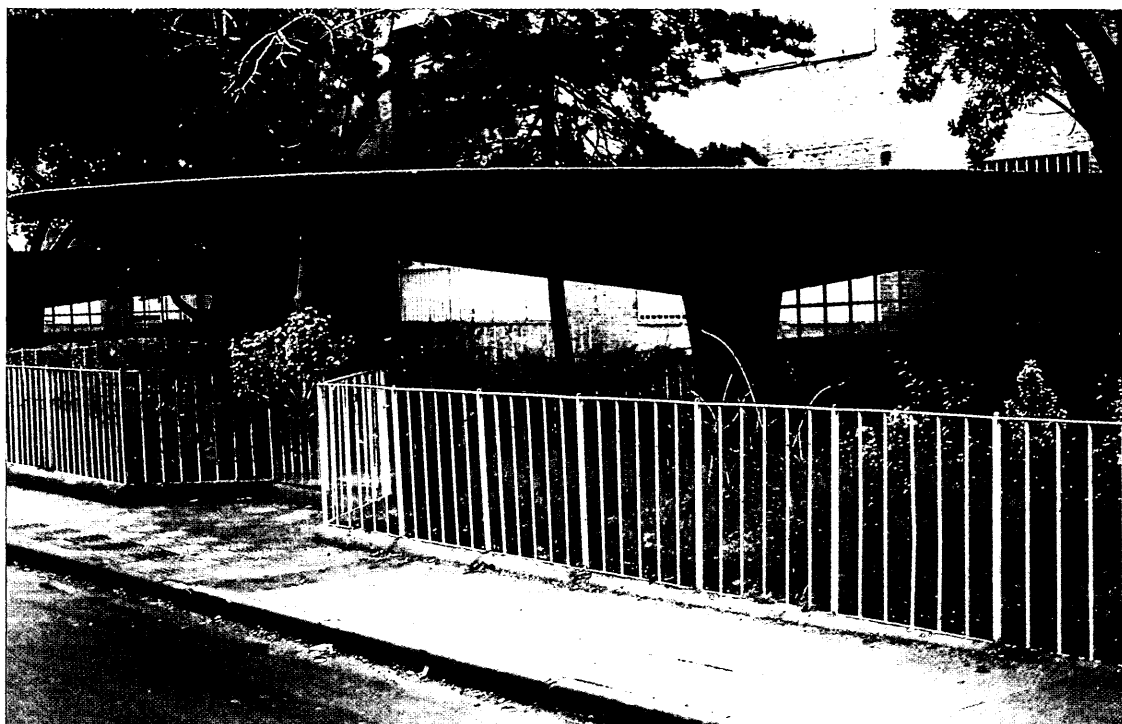


Figura 4.- Voladizo, Instituto "Ramiro de Maeztu" (Madrid), 1930. Eduardo Torroja.

dantes a lo largo de la historia, estableciendo analogías entre los organismos vivos y las máquinas construidas por el hombre. Arquitectos como F. LL. Wright o Le Corbusier lo hacen en sus dibujos y bocetos, como se sabe, aunque algunos críticos sostienen que se trata de analogías de tipo simbólico más que funcional (11).

Sin embargo el pensamiento de Eduardo Torroja, y su obra, parecían querer ir más lejos de lo puramente simbólico. Sus "formas laminares" viven y actúan como seres vivos; porque él vivió sus fenómenos tensionales internos al crearlos. Así pues se le considera un gran creador de nueva iconografía constructiva para la ingeniería, la arquitectura y -por qué no- la escultura en hormigón; fue un gran creador de tipos estructurales, descubiertos, exclusivamente, a partir del conocimiento profundo de las propiedades técnicas del hormigón armado. En él, en su obra, en sus bocetos, en sus proyectos, no hay un a priori estético sino un resultado final estético. Éste viene dado por el estudio enormemente profundo, llevado a cabo por él, del comportamiento interno del hormigón armado, y por su capacidad personal no solo de imaginar esos fenómenos intrínsecos sino de "verlos", de visualizarlos, de materializarlos, y de transmitirlos hechos obra, para que fueran perceptibles por todos.

Interesa destacar lo que significa realmente la creación de dichos tipos dentro del desarrollo de una morfología constructiva propia de la ingeniería, de la evolución de un repertorio específico de formas disponible para el ingeniero. Pero también se ha de subrayar la novedad que supone el concebirlos para ser utilizados en serie o de manera sistemática, en la construcción. Es un cambio cualitativo de concepto que tiene una gran trascendencia posterior y significa la aceptación definitiva, sin reparos, de los nuevos materiales y de las nuevas leyes de la construcción que se estaban imponiendo la década de los años treinta del siglo XX. Significa, por parte de una mente privilegiada y sensible, como lo es la de Torroja, una actitud falta de prejuicios que, sin temor, se lanza a aceptar los nuevos retos, apasionantes, que van imponiendo los avances de la técnica.

Los nuevos tipos estructurales pueden ser valorados en la dimensión estética de sus formas mediante los criterios que el mismo Torroja enuncia en sus teorías sobre la expresión estética en la construcción, en uno de sus escritos más importante: Razón y ser de los tipos estructurales (1960), donde se encuentra desarrollado su pensamiento teórico, además de en los numerosos artículos escritos por él y traducidos a varias lenguas (12). En ellos se manifiesta desde supuestos claramente racionalistas, y con el funcionalismo

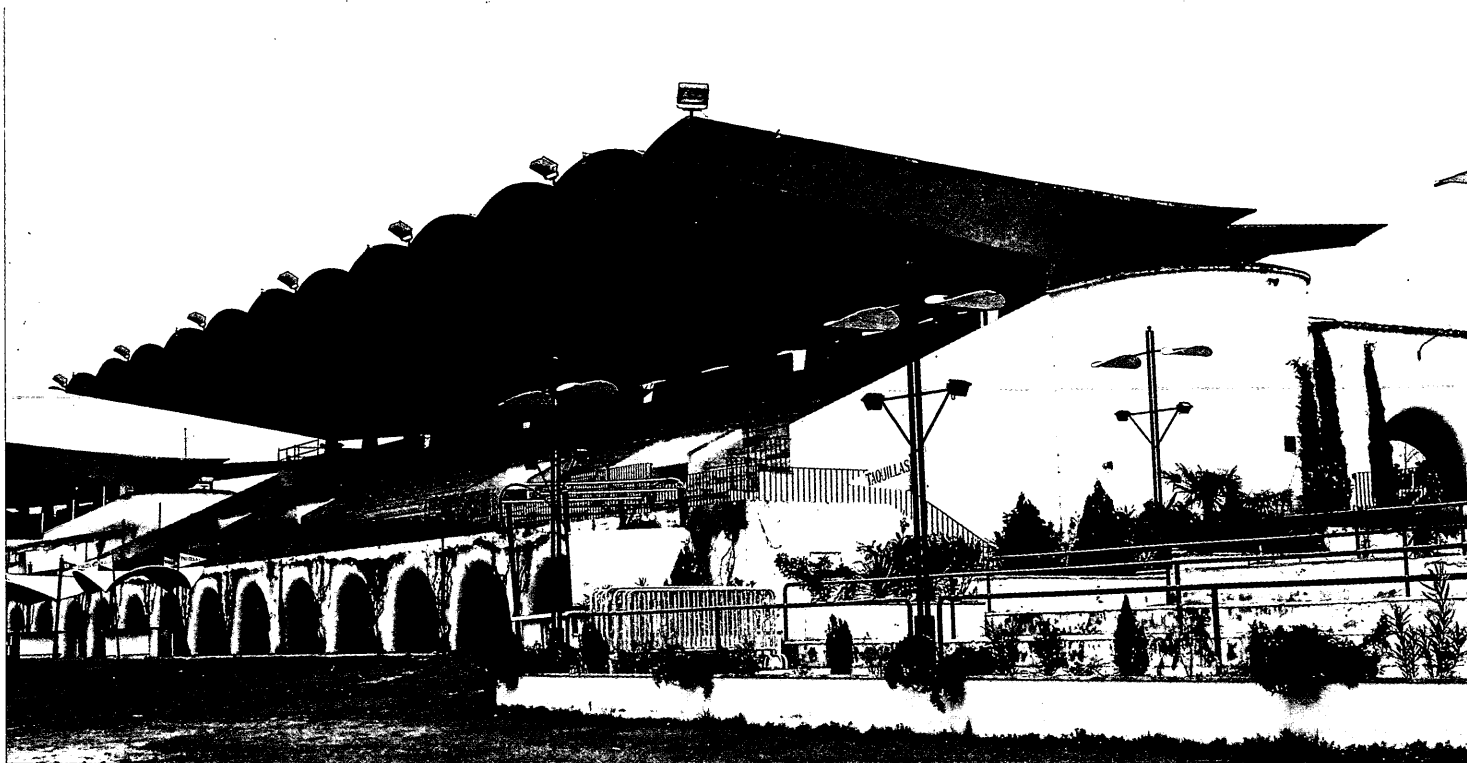


Figura 5.- Hipódromo de la Zarzuela (Madrid), 1936-39. Eduardo Torroja.

como denominador común en sus argumentos, explicando y justificando las conclusiones a que ha llegado en su investigación de los tipos estructurales concebidos por él y denominados "formas laminares".

En los años treinta del siglo XX, según Fernández Ordóñez, hubo una singularísima mentalidad, que afectó no sólo a la construcción de grandes edificios, sino también al levantamiento de presas y de puentes (colgantes y de tramo recto), caracterizada por una "insaciable ansiedad por la ligereza, y, un profundo y nuevo sentimiento, de la calidad estructural", situándose más cerca de la poesía que de la propia técnica y sus sucesivos logros (13). Todo ello iba unido al amor al riesgo y a los retos constructivos (y bastante desdén por el derroche económico). Era la época en que Torroja desarrollaba sus ideas organicistas, en la teoría y en la práctica, para la creación de sus tipos estructurales.

La tendencia generalizada hacia el aligeramiento estructural en las presas, en los años treinta de nuestro siglo, fue precedida de una larga trayectoria en la evolución de tipologías de presas, que cimienta los logros obtenidos por las actuales. En el siglo XVIII ya aparecen ideas para aligerar presas mediante bóvedas múltiples. Con

hormigón moderno, hacia la mitad del siglo XIX, se utiliza ya el perfil moderno triangular de "presa de gravedad", que se mantiene hasta que surgieron las "presas bóveda" en los años treinta del siglo XX. Éstas últimas evolucionaron hacia las finísimas "presas cúpula" (Presa de Coolidge), donde las estructuras de hormigón expresan el máximo de ligereza, hasta llamarlas incluso "presas-cáscara" por la delgadez de la capa de hormigón empleada. Surgieron en Europa y Japón, sin ser adoptadas por USA o URSS, y a partir de la II Guerra Mundial dejaron de construirse para siempre. En esa misma época E. Torroja desarrollaba su propia tipología, creada a base de delgadas estructuras laminares de hormigón armado; y era también el tiempo del auge de los puentes colgantes, lo cuales competían entre sí a ver cuál conseguía ser el más ligero de todos.

Como tipo estructural, la técnica de la viga triangulada se mostraba como fuente de grandes posibilidades creativas, desarrollándose continuamente también desde el siglo XVIII. En esta época se abrió el camino de su investigación y experimentación con estructuras trianguladas a partir de estructuras en madera. La primera que superó los 50 m de luz fue construida para la Sala de Ejercicios de Moscú, en 1824, por el ilustre ingeniero español, no suficientemente valorado, Agustín de



Figura 6.- Hipódromo de la Zarzuela (Madrid). (Detalle de la cubierta vista de frente). Eduardo Torroja.

Bettancourt (14). Esta estructura para cubierta era de madera y es precedente reconocido de las estructuras metálicas para cubiertas que se desarrollaron después, sobre la base de la triangulación, para edificios de plantas rectangulares o cuadradas.

La estructura metálica triangulada, como "tipo" estructural, se reveló excelente para cubrir espacios de gran luz mediante elementos que actúan perfectamente en tensión. De manera que, esta estructura aérea, semi-transparente, une, a la ligereza y sensación que da de espacio abierto, el descubrimiento técnico de su elasticidad que, adecuadamente utilizado, ofrece enormes posibilidades creativas y la superación de bastantes retos constructivos. El paladín del hormigón armado en los años treinta en España, Torroja, utilizará en los años cuarenta la triangulación en la cubierta del campo de fútbol de Les Corts (1943) en Barcelona. Con ella consigue adaptarse perfectamente a la exigencia de no interrumpir el campo visual sobre el área de juego, además de proteger del sol o lluvia las primeras filas de asientos, manteniendo además la altura suficiente para los espectadores de las últimas filas del fondo. (Trae a la mente la articulada solución en "pinza" realizada por P.L. Nervi en el Estadio de Florencia (1930). Sin embargo, en el estadio de Torroja, vemos

pronto las "señas de identidad" de éste: el espíritu de lo vivo, de lo orgánico, a pesar de todo, a través de la presentación de un perfil ondulado en el borde exterior. A pesar de ser una estructura metálica de grandes dimensiones que, además de cumplir perfectamente su función, produce sensación de vida interna, propia, dando impresión de movimiento. En este sentido avanza más aún en el diseño de la estructura del Hangar de Torrejón, expresando mayor flexibilidad.

En el terreno de los puentes colgantes, la meta simbólica de dar sensación de ligereza, conseguida mediante mayores luces con menos cantidad de acero, se logrará también en 1930 con la construcción del puente George Washington sobre el río Hudson, uniendo Manhattan con New Jersey, obra de Othmar Ammann, ingeniero de origen suizo. Al que sucede, en San Francisco, el famoso Golden Gate (1933-1937), obra del norteamericano Joseph Strauss, que fue inaugurado con grandes fiestas. Se habla de "irreprimible ansiedad hacia la ligereza de los puentes colgantes, especialmente en sus tableros" (Fernández Ordóñez) que sólo fue frenada por el desastre del puente de Tacoma (Washington) en 1940, cuyo tablero tenía un canto cuatro veces menor al mínimo que aceptaban las normas. Ya está muy lejos de todo ello el famoso Puente de Brooklyn (1883), cuyas pilas tie-

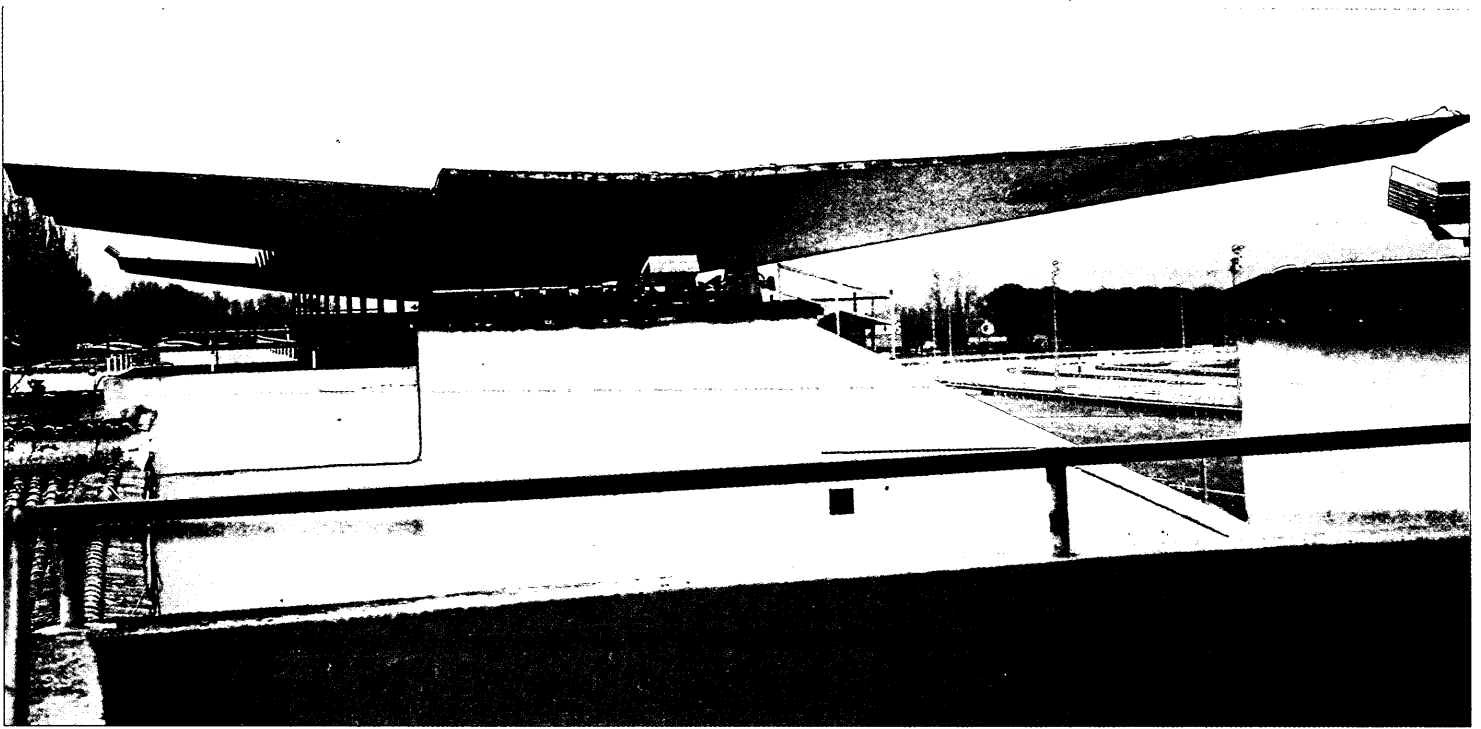


Figura 7.- Hipódromo de la Zarzuela (Madrid). (Detalle del perfil de la cubierta). Eduardo Torroja.

nen referencias historicistas de sabor gótico y una pasarela para peatones, en la parte superior, para pasear y contemplar la vista y el paisaje: un concepto de vivencia de la obra completamente distinto.

La filosofía íntima de un puente colgante es la de significar algo más que un salto entre dos orillas, hacia arriba; intentó ser un salto hacia adelante, en sentido horizontal. Sólo la invención del pretensado resolvería definitivamente el problema de saltar "a la otra orilla" sin necesidad de elevarse, con un impulso exclusivamente horizontal. Es decir, la cuestión consistía en conseguir rebajar al máximo las bóvedas del puente. La historia de los rebajamientos de bóveda en puentes de fábrica de sillares tiene un gran ejemplo en el último tercio del siglo XVI, en el conocido puente de Santa Trinitá en Florencia, obra de Ammanati (que también fue un gran escultor). Poco se consiguió después en ese campo hasta 1930 cuando se construyó de hormigón armado el puente Plougastel, récord y símbolo de la potencia de este material. Sólo con la técnica del pretensado se pudo lograr el máximo rebajamiento como demostró el conocido puente de Luzancy (1941-1946), obra de E. Freyssinet. Para Fernández Ordóñez, con este genial artificio la materia se vence a sí misma y a partir de ese momento la historia de las grandes bóvedas tiene sólo dos hitos sustanciales: la in-

vención del arco y la destrucción del arco (el pretensado). "El pretensado, transforma el impulso hacia arriba, en un impulso hacia adelante", es algo así como un "arco plano" (15).

En el terreno de la construcción de cubiertas y de la creación de nuevos tipos estructurales más livianos para ellas, la cuestión residía en conseguir construir las de superficie continua y, además, que fueran lo más delgadas posible. Las láminas de hormigón armado constituyen un tipo de estructura adecuado para ello, útil también para la concepción de nuevas tipologías de cubierta, y para desarrollar otras posibilidades de expresión constructiva. Si en 1913 se superaba por primera vez la luz de la cúpula del Pantheon de Roma con una estructura de fábrica de 65 m de diámetro hecha en hormigón armado, cuando se construyó la cubierta de la Sala del Centenario, obra de Max Berg, en Breslau, la verdad era que fue posible gracias a las nervaduras, meridianos y paralelos que dicha estructura tenía. Es decir, esa cubierta no era una superficie continua.

La serie de grandes bóvedas hechas con superficies continuas de hormigón, es iniciada en 1916 en Francia por E. Freyssinet con sus hangares de Avord y después, en los años veinte, con los famosos hangares de Orly, de directriz parabólica, los cuales marcan un verdadero hito en la



Figura 8.- "Láminas de hormigón entre árboles" (Hipódromo de la Zarzuela, Madrid). Eduardo Torroja.

historia de la técnica y suministran nuevos ejemplos para la historia de las formas visuales en la construcción. Se trata de bóvedas que no se apoyan en ningún elemento vertical previo sino que arrancan directamente desde el suelo. Los hangares de Orly son dos grandes bóvedas laminares de sección ondulada con espesor de 9 cm y luz, entre ejes, de 88 m. Esas láminas de hormigón armado son fruto, también, de esa tendencia generalizada hacia la ligereza; hacia la esencialidad de los fenómenos resistentes y, por consiguiente, de la tendencia a lo indispensable en los perfiles finales en la forma externa visual de la construcción.

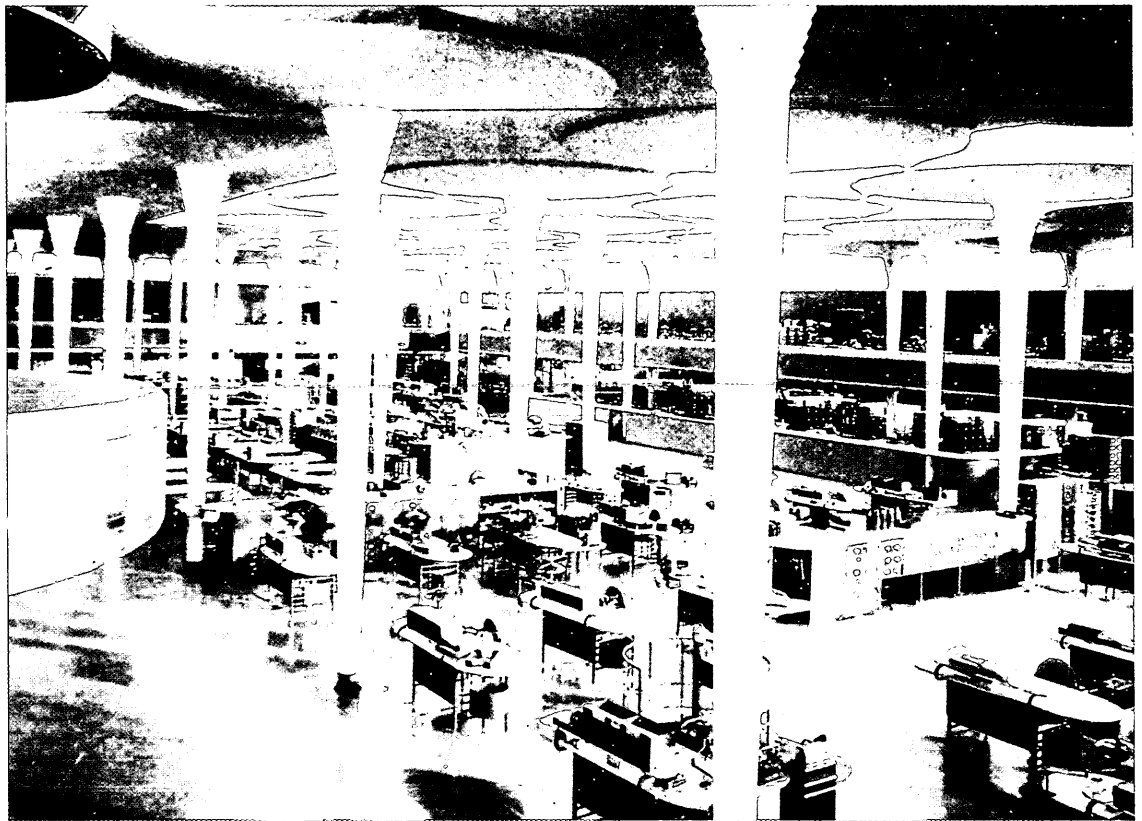
En el terreno de las láminas de hormigón E. Torroja realizó una gran aportación tipológica. Una solución clásica había sido siempre el reforzar la superficie laminar con nervios, diagramas o tirantes, como se ha visto. Por otro lado, las láminas de hormigón habían buscado siempre formas geométricas históricamente conocidas: círculo, parábola, bóveda de arista, cúpula esférica, etc. Sin embargo en la obra de Torroja se produce una ruptura total en los conceptos clásicos estructurales, pues crea una tipología de cubierta única que consigue sostenerse por sí misma, sin la menor ayuda de refuerzos ajenos a la propia superficie laminar de hormigón. Para Torroja era emocionante comprobar cómo se despegaba del encofrado, por sí misma, la lámina de hormigón de la cubierta

del Mercado de Algeciras, de planta poligonal. Era como asistir al nacimiento de un ser vivo.

La tipología de lámina de hormigón es empleada también, por Torroja, en la cubierta del Frontón Recoletos de Madrid (desaparecido). Se trata de una lámina cilíndrica que, en este caso, se sostiene a sí misma, con 55 m. de luz, sin necesidad de nervios de refuerzo. Y en el Hipódromo de la Zarzuela de Madrid consigue un juego de elementos constructivos en equilibrio, que genera incluso el perfil de la propia cubierta, basándose en los fenómenos tensionales de la lámina de hormigón exclusivamente (16). Fernández Ordoñez llama a la solución obtenida para el Frontón Recoletos "funcionalismo poético", aplicando el concepto, igualmente, a las bóvedas voladas del Hipódromo de la Zarzuela y añade: "Hoy día sería impensable plantear siquiera estructuras semejantes a las de un Hipódromo de la Zarzuela, con un concepto técnico tan rico y profundo, porque sería más costosa que alguna otra solución también funcional pero más barata, porque hoy, el precio es el verdadero factor determinante".

La estructura de las láminas de Torroja en el Frontón y su cubierta presentaba una novedad tal, que su cálculo era -en aquellos años- prácticamente inabordable por lo que él mismo realizó un ensayo previo en un modelo a tamaño natural, y

Figura 9.- "Hongos".
(Edificio industrial "S.C.
Johnson and Son", Racine,
(interior), 1936-39).
Fran Lloyd Wright.



consideró suficiente la superación de esa prueba para construirlo. Era -en palabras de Torroja- el triunfo de "la sensación de ligereza, de éxito y de dominio de la propia materia, que se obtiene con un forma simple".

Se trata de una solución muy compleja a través de una forma geométrica muy sencilla que incorpora una técnica nueva -desconocida entonces-, y que consigue sostenerse -dice Torroja- "por su forma y no por la resistencia oculta de su material." Esta forma de pensar es de un funcionalismo exquisito. El secreto estaba en la vida propia del material, adquirida a través de su forma. Torroja, según el mismo explica, solo puede alcanzar el objetivo de expresar el fenómeno resistente en la construcción mediante las láminas de hormigón armado, en las cuales se funden un uno lo tensional y lo estético. Unión tan querida y buscada por él. Pero no pretende imitar, como hacen otros, algún estilo del pasado más apreciado por él, como podría pensarse viendo sus capillas y pequeñas iglesias concebidas para estar situadas entre montañas en Los Pirineos. En ellas, las cubiertas adquieren esas características ahusadas no por aproximación al estilo gótico sino por la forma de la lámina.

En cuanto a la utilización de elementos prefabricados en serie en la construcción el ejemplo correspondiente fue el Silo de Carbón (Instituto de la Construcción y el Cemento, hoy, "Instituto Torroja"), con el que aportó nuevas formas iconográficas, en este caso no onduladas sino geométricas, al repertorio de tipologías del mundo de la construcción.

El campo de las estructuras plegadas para cubiertas también fue explotado por Torroja. En la Universidad de Tarragona consiguió, en los interiores de las aulas, interesantes efectos de luz y sombra por medio de la disposición plegada de las cubiertas. Solución enormemente adecuada para el destino a que iban dirigidos esos espacios interiores, para los que tuvo en cuenta la orientación solar y el control de la iluminación natural.

El desarrollo científico de la técnica del hormigón pretensado, no coincidió con los grandes años en la producción de Torroja. Cuando el gran descubridor de esta nueva técnica E. Freyssinet, andaba profundizando en ella hasta sistematizarla, Torroja construía edificios con estructuras laminares e investigaba nuevas "formas" posibles con ellas. No pudo o no quiso profundizar en el

hormigón pretensado. Cuando Torroja construyó el Viaducto de Alloz (1940), utilizó el pretensado en las paredes del canal por donde pasa el agua impermeabilizando el material. En este caso empleó los soportes de la estructura en su mínima expresión material, desnudándolos al máximo y evidenciando su función constructiva de sostén del canal por donde corre el agua. Consigue así una estructura ligera y aérea a través de la cual se transparenta el paisaje natural circundante, casi integrándose con él. Otra ocasión en la que utilizó hormigón pretensado también estaba relacionada con el agua. Se trata del depósito de aguas de Fedala (Marruecos, 1956) que tiene la forma externa generada por un hiperboloide pretensado. Esta forma de enormes dimensiones, por sus curvas y su perfil general orgánico, parece contonearse como un raro personaje "feliniano", en ese paisaje africano exótico, lleno de palmeras, que le rodea.

Con el pretensado nació una nueva tipología estructural que también da lugar a nuevas formas, exclusivas del siglo XX, sin ningún precedente histórico. El pretensado eleva el hormigón armado a la categoría de material "noble" (viejo sueño acariciado por Torroja, ¿qué no hubiera querido él?), porque consigue como resultado una estructura elástica sin que aparezcan tracciones en ningún punto del hormigón. Es decir, su deterioro es casi imposible y éste, si se produce, es de forma generalizada y en bloque. Además, dentro de la historia interna del hormigón, con el pretensado, como se sabe, se consigue dar ese salto cualitativo importante: sustituir cantidad por calidad, pudiéndose obtener ligereza en las estructuras sin tener que llegar a situaciones límite o de riesgo. Aunque la idea del progreso tecnológico como finalidad ya no emociona tanto hoy como antes (17).

Si seguimos en el ámbito de la poesía para intentar comprender las estructuras de Torroja desde esta perspectiva, podremos pensar también que el hormigón armado pretensado no le llegara a interesar. Porque si a la vida le sigue la muerte, como así es, desde ese punto de vista si las estructuras de pretensado no envejecen, no mueren, tampoco están vivas realmente, son máquinas casi perfectas, pero no seres vivos. Y parece como si lo que hubiera pretendido Torroja, por encima de todo, fuese conseguir que sus tipos estructurales estuvieran vivos ya que la técnica del hormigón, a la que consagró su vida y en la que creía con fe total, podía permitírselo. Como él mismo

decía: "El resultado genial de un momento de inspiración es siempre el epílogo de un drama, que frecuentemente está constituido por toda una vida de trabajo." (E. Torroja. "Las formas laminares". 1957).

Notas

- 1) **Aurín, R.** "Chillida fuera de la ley". Entrevista en, *Obra Pública*, nº 7/8, Barcelona, 1988, pp. 10-22.
- 2) **Bertomeu Blay, Xavier.** "El factor del diseño ingenieril en la evolución cultural del progreso actual" en, *Revisita de obras públicas*, marzo, 1984, pp. 186-188.
- 3) "Biología estructural" en, **Cardellach, F.** "Filosofía de las estructuras", Parte II, Cap. V, pp. 65-66. Madrid: Unión Editora, 1969. También, *Leyes iconográficas de la línea y de la luz*, en, *Academia*, núm. 40, 1916.
- 4) **Vitruvio Polion.** Los diez libros de arquitectura. (Trad. Agustín Blázquez). Barcelona: Aguilar, 1970.
- 5) **Fernandez Casado, Carlos.** "Estética de las artes del ingeniero" en, *Academia*, núm. 43, 2º semestre, 1976.
- 6) Véase, **Lin, T.Y.** "La interacción entre arquitecto e ingeniero" en, *Obra Pública*, nº 7/8, Barcelona, 1988, pp. 98-115.
- 7) **Plinio el Viejo.** Textos. (Trad. Esperanza Torrego). Madrid: Visor, 1987.
- 8) **Tzonis, A. / Lefaivre, L.** "La mecanización de la arquitectura y la doctrina funcionalista" en, *Arquitectura, técnica y naturaleza en el ocaso de la modernidad*. Madrid: Monografías del M.O.P.U. 1984, pp. 27-56.
- 9) **Cardellach, Félix** "Las formas artísticas de la arquitectura técnica" en, *Academia*, núm. 40, 1916.
- 10) **Frank, E.** "Pensiero organico e architettura wrightiana". Bari: Dedalo libri, 1978.
- 11) **Fernández-Galiano, L.** "Organismos y mecanismos como metáforas de la arquitectura" en, *Arquitectura, técnica y naturaleza en el ocaso de la modernidad*. Madrid: Monografías del M.O.P.U., 1984, pp. 57-80.
- 12) **Torroja, E.** "Razón y ser de los tipos estructurales". Madrid: Instituto E.Torroja, 1960, (3ªed.).
- 13) **Fernández Ordóñez, J.A.** "Lo ligero y lo barroco en la ingeniería de los años treinta" en, *Los Cuadernos de Cauce 2000*. Madrid: C.O.I. de C.C.y P., 1983.
- 14) **Bogoliúbov, A.** "Un héroe español del progreso: Agustín de Betancourt". Prólogo de Julio Caro Baroja. Epílogo de J.A. García-Diego. Madrid: Seminario y Ediciones, S.A., 1973.
- 15) **Fernández Ordóñez, J. A.** Op. Cit. p. 9.
- 16) **Arniches, Domínguez y Torroja,** "Hipódromo de Madrid" en, *Arquitectura*, nº4, junio, 1935.
- 17) **A.A.V.V.** *Arquitectura, técnica y naturaleza en el ocaso de la modernidad*. Curso de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo. Madrid: Monografías del M.O.P.U., 1984. ■