

# Tensión formal

Jörg Schlaich, premio José Entrecanales

*Miguel Aguiló*

Si hay algo que caracteriza la obra de tan gran y fructífero ingeniero es la búsqueda de la ligereza. En sus obras, sus escritos y sus clases, Jörg Schlaich concreta sus ideas en torno a la bien establecida tradición ingenieril de reducir la materia empleada para construir. Desde la prosaica posición del ahorro de material para abaratar costes, hasta la etérea sublimación de lo ligero como aproximación a la bóveda celeste, toda una estirpe de grandes ingenieros ha abrazado el dogma.

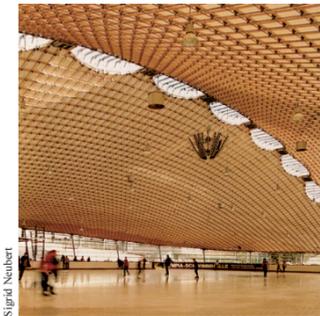
Eduardo Torroja buscó la ligereza con la activación estructural de la forma e hizo volar al hormigón con la geometría de sus láminas de mínimo espesor. Pier Luigi Nervi lo intentó plegando sus cubiertas y con procesos constructivos como el ferrocemento y

la prefabricación. Eugène Freyssinet eliminó el peso de la materia con el pretensado, al introducir esfuerzos contrarios a los previstos. Carlos Fernández Casado lo formuló en torno a la idea de lo estricto, como una filosofía de la contención frente a lo superfluo cercana a una postura ética.

Schlaich persigue lo ligero de una manera radical y profunda, utilizando todos los recursos a su alcance. Aúna conocimientos y creatividad para actuar sobre los datos del problema, sobre el tipo de estructura, sobre el material a emplear, sobre la forma, sobre los detalles. Utiliza materiales de alta resistencia y poco peso, prefiere vanos cortos para disminuir los esfuerzos, evita la flexión que precisa más material y emplea el pretensado.

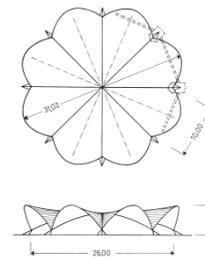
Como la mayoría de ingenieros de los años sesenta, Schlaich comienza a trabajar con hormigón armado y pretensado. En la mejor tradición estructural se interesa por las láminas de hormigón e introduce importantes innovaciones. La piscina cubierta de Hamburgo (1967)—realizada durante su estancia en la oficina de Fritz Leonhardt— es una respetuosa superación de la iglesia de Monterrey de Félix Candela, construida en 1954, cuyo pretensado de las vigas de borde en voladizo y de la propia lámina permite eliminar todos los apoyos perimetrales y logra una estructura etérea.

Sin embargo, Schlaich enseguida deja de construir cubiertas de hormigón, un material demasiado pesado para su resistencia y que no deja pasar



Sigrid Neubert

**Ganador de la primera edición del premio de ingeniería civil José Entrecanales, Jörg Schlaich encuentra en la ligereza la cualidad básica para conseguir estructuras competentes para sus cubiertas, puentes y pasarelas.**



*Para poder acercarse a lo ligero, Schlaich descartó pronto el hormigón y empleó la fibra de vidrio en las láminas de doble curvatura en Stuttgart, o las estructuras tensadas en el estadio de Múnich y en la vecina pista de hielo.*

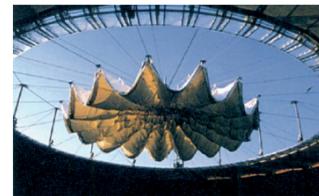


Christina Kandzian



Para abaratar los costes de apoyo y anclaje en las estructuras tensadas se aprovecha el perímetro del edificio para anclar los cables, como sucede en el estadio en Riad, o en las torres de refrigeración en Schmehausen.

La ligereza es para Schlaich sinónimo de eficiencia constructiva, así lo demuestra en la cubierta retráctil de la plaza de toros de Zaragoza, en el puente plegable en Kiel, o en la pasarela de Bochum.



la luz, e intenta aprovechar las ventajas de las formas activas de las láminas sin emplear tanta mano de obra. En el pabellón del Festival Nacional de Jardinería de Stuttgart (1977) recrea en fibra de vidrio las indeformables láminas de doble curvatura utilizadas por Candela en el restaurante de Xochimilco (1958). Con un molde único prefabrica las ocho láminas de 10 a 12 milímetros de espesor, fácilmente colocadas en abanico con una grúa normal, pero el material se degrada enseguida y abandona esa línea.

Otra aproximación a lo ligero es la sustitución de la compresión por la tensión en los esquemas estructurales. Schlaich diseña cubiertas y fachadas de cables tensos dispuestos en familias ortogonales más eficientes en el empleo de material, pues los elementos comprimidos son dimensionados para evitar deformaciones secundarias producidas por el pandeo, mientras los traccionados utilizan toda su masa para resistir esfuerzos principales.

Estas estructuras tensionadas per-

miten manejar fácilmente los flujos de fuerzas dando lugar a soluciones muy ligeras, como demostró en la cubierta del Estadio Olímpico de Múnich (1972), realizada con Frei Otto. Allí resolvió con brillantez los infinitos problemas de diseño y construcción de las uniones y anclajes de los cables, y de sujeción de las placas transparentes de la cubierta, logrando una de las estructuras más innovadoras del siglo. En la posterior pista de hielo (1983) vecina al estadio, las redes perpendiculares de cables cuelgan de un gran arco de celosía metálica.

#### Luz y transparencia

Pero las estructuras tensionadas exigen mástiles o arcos para elevar los apoyos de los cables y anclajes para sujetarlos, transfiriendo al exterior de la cubierta parte del material y de los costes que se ahorran dentro. Una manera atractiva de utilizar la tensión sin incurrir en costes excesivos de apoyo y anclaje es aprovechar el perímetro de la propia estructura para anclar los

cables. Formas comprimidas, como los hiperboloides parabólicos de hormigón de las torres de refrigeración, son recreados como finas mallas de acero tensadas contra un mástil central según las mismas generatrices rectas, y pueden resistir flexiones gracias a la tensión previa de los cables. En la cubierta de la plaza de toros de Zaragoza (1988) o en la de Vista Alegre de Madrid (2000), Schlaich utiliza radios tensos anclados en lo alto del perímetro circular que soportan un casquete central. Con la misma idea de mallas pretensadas, ahora vertical y horizontalmente, construye la enorme fachada de cristal del hotel Kempinski próximo al aeropuerto de Múnich (1993), donde disuelve la estructura de soporte de las placas de cristal en los cables tensados contra su perímetro.

En la búsqueda de una mayor libertad formal, Schlaich combina la idea de tensión con el empleo de acero y cristal para construir sus 'cubiertas flotantes'. Con barras de acero y placas de vidrio, Schlaich logra ligereza, luz y transparencia; concentra la masa para definir con leves geometrías un volumen puro. Pero, mientras la rigidez estructural exige mallas de triángulos indeformables, lo quebradizo del cristal requiere paneles rectangulares. Lo resuelve con un pretensado aplicado según un esquema básico muy simple, el cuadrado formado por cuatro barras y dos cables diagonales. En principio, bajo solicitaciones transversales solo trabaja el cable sometido a tensión pero, si se pretensan ambos, se consigue que trabajen los dos simultáneamente y se reducen las deformaciones a la mitad.

Estas mallas rectangulares tipo ceceo o mosquitera se consiguen con barras de acero y uniones parcialmente articuladas, rigidizadas por medio de cables diagonales pretensados de extremo a extremo a través de todos los nudos. Para que las cuatro esquinas queden en el mismo plano y permitan el apoyo del cristal, Schlaich desarrolla superficies de traslación de una generatriz a lo largo de una directriz arbitraria. Cuando se forma

con barras de diferente longitud, la generatriz se puede contraer o expandir proporcionalmente al trasladarse para que los cuadrados de la malla permanezcan planos, consiguiendo suficiente flexibilidad para superar la jerárquica e inamovible organización geométrica tradicional.

Las placas de cristal se apoyan directamente sobre las barras y se sujetan con mordazas y pasadores en sus cuatro esquinas, sin taladros ni tapajuntas, con un montaje muy sencillo. En el interior, el mismo pasador sujeta las guías de pretensado por medio de dos mordazas similares a la externa que aprietan simultáneamente a los dos cables. La variable geometría de nudos, barras y placas se afronta digitalmente con diseño y producción asistida por ordenador. El nudo resultante queda integrado en las barras y, tanto por fuera como por dentro solo son visibles las pequeñas mordazas circulares, dando lugar a unas mallas totalmente limpias.

El esfuerzo innovador de estos esquemas tiene un sólido apoyo tipológico en las soluciones históricas, sin presentarse como creaciones surgidas de la nada o de las intuiciones. Schlaich no rompe con la historia, pero la recrea y somete a tensión. En la torre de Killesberg en Stuttgart (2001) revisa el depósito elevado del ingeniero ruso Vladimir Suchov en Niznij Novgorod (1853), transformando la celosía troncocónica de barras rígidas en un esquema de mástil tubular envuelto en un hiperboloide parabólico de malla tesa que lo comprime y rigidiza. En la cubierta de la nueva feria de Rimini (2001) recrea en madera una cúpula nervada de 60 metros construida a base de rombos, deudora de los desarrollos de Nervi en su Palacio de los Deportes.

#### Tipo y forma

En sus puentes ocurre algo similar; a diferencia de otros grandes ingenieros alemanes de esa época de madurez del hormigón, como Dyckerhoff, Fritz Leonhardt o Ulrich Finsterwalder que logran salvar grandes luces utilizando

el mínimo material, Schlaich se interesa más en el tipo y la forma que en las dimensiones de sus obras, como antes hicieron Robert Maillart o Eduardo Torroja. Construye muchos puentes de hormigón, de acero y mixtos, que merecen estudios pormenorizados y participan del mismo carácter innovador pero respetuoso con la historia de sus estructuras.

La pila arborescente del puente del valle de Nesenbach en Stuttgart (1999) hace posible otra idea no realizada de Candela para el Palacio de los Deportes de México (1968), al utilizar tubos metálicos en vez de piezas de hormigón. Habitualmente, las pilas o apoyos de puentes y cubiertas de celosía son de robusto hormigón, en fuerte contraste con la ligereza de aquella. En el tronco inferior de la pila-árbol, Schlaich utiliza cuatro tubos unidos que se separan e inclinan para conectar con la celosía, en un continuo que diluye la función del soporte integrándolo en el tablero. En la pasarela de Pragsattel II en Stuttgart

(1992) y en el puente sobre la A8 de Leonberg (1998), los cuatro tubos vuelven a ramificarse con menor diámetro y mayor inclinación, para acomodarse al tablero de celosía. En ambos casos, todas las uniones son fabricadas digitalmente en fundición nodular y quedan integradas en los tubos.

#### Soluciones ligeras

También son interesantes sus pasarelas de banda tesa y sus puentes móviles. El puente plegable de Kieler Hörn en Kiel (1997) recrea el esquema de los viejos puentes de balancines del norte de Europa con una estética juguetona, y consigue abrir un vano de 25 metros de luz en solo dos minutos con mecanismos muy simples. El puente de Humpback en el puerto interior de Duisburg (1999) es aún más sencillo, con un tablero flexible de 73 metros de luz colgado de dos parejas de mástiles, capaz de curvarse hacia arriba al tirar de los anclajes de los cables para dejar un paso de 9,2 metros de altura en el centro del canal.



Tomás Riekle

En su constante innovación, Jörg Schlaich es ajeno a cualquier alarde estructural, no trata de hacer grandes cubiertas, torres muy altas o puentes de mucha luz. Busca soluciones ligeras innovadoras y, si para ello hay que reducir la luz del puente o la altura del edificio, no duda en colocar una nueva pila o añadir un forjado. En este sentido, sus conferencias o sus clases son tan inequívocas como sus obras y nos enseñan que no se trata de superar retos o de batir el récord de esbeltez, sino de explorar nuevas maneras de lograr eficiencia.

Esta incansable búsqueda de lo ligero como cualidad básica de la eficiencia en la construcción de edificios e infraestructuras trasciende el campo de la ingeniería estructural. Su afán de reducir la materia se sublima en incrementar el flujo de energía obtenida del sol; la ligereza como contención en el uso de lo que hay se entiende igualmente como mejor aprovechamiento de lo que nos llega. Sus propuestas de ahorro de materia para construir y de

aumento de energía para vivir proceden de la misma voluntad de lograr un mundo más sostenible.

Desde los años ochenta, Schlaich investiga concentradores solares de plantas distribuidas y centralizadas. Sus espejos cóncavos de membranas muy delgadas de acero soldadas a un tambor de 7 a 15 metros de diámetro y conformadas por vacío hasta su límite plástico (Stuttgart 1989-Almería 1999) son tan innovadores como las chimeneas solares ligeras de 120 metros de altura (Manzanares, 1989), o las de hormigón de 1.000 metros de alto y 120 metros de diámetro, sobre una placa colectora de 5.000 metros de diámetro (Mildura, Australia 2008).

Con su trabajo, Schlaich ha dignificado la construcción de infraestructuras de transporte, cobijo y energía. Combina tecnología, sensibilidad e innovación, en una loable síntesis de investigación teórica y práctica profesional, materializada en una abundante y variada obra. El premio Entrecanales no podía comenzar mejor.