

# AGUSTIN

*Un puente de Musmeci sobre el río Basento:  
una obra singular en el panorama arquitectónico del siglo XX*

# LACORT

## *Resumen*

En un proyecto de edificación, las necesidades arquitectónicas y estructurales no suelen converger en una misma solución por lo que no se contemplan simultáneamente durante el proceso de diseño del proyecto. Cuando las estructuras son de pequeñas luces, las necesidades arquitectónicas dominan sobre las estructurales, y cuando son de grandes luces, sucede lo contrario. En ambos casos, el cálculo estructural comprueba la idoneidad de las estructuras previamente definidas. Sin embargo, existen algunas estructuras, como la del puente de Potenza realizada por Sergio Musmeci, que se han proyectado utilizando el cálculo como herramienta de diseño. En este caso, la forma resultante está cargada de significado porque expresa visualmente el comportamiento de la materia frente a la fuerza de la gravedad. Esta manera de proyectar apunta hacia las bases de un nuevo lenguaje arquitectónico basado en los avances del conocimiento científico, que eleva la técnica a la categoría de Arte.

*«... da tempo sono convinto che una struttura può essere progettata in modo da dare attraverso la sua stessa forma, un'formazione completa sulla propria funzione, e d'altra parte non conosco altro modo per caricare una forma strutturale di un potenziale di comunicazione»*

Sergio Musmeci



Vista del puente de Musmeci hacia el río Basento en Potenza.  
Fotografía: A. Lacort (1998).

## ***Introducción***

El proceso de diseño de un edificio debe satisfacer entre otras necesidades aquellas que son de uso y estructurales, debiendo ajustarse el coste de ejecución del proyecto a un presupuesto de partida.

La mayoría de las estructuras de edificación que el arquitecto diseña a lo largo de su vida profesional son estructuras de pequeñas luces, en las cuales las exigencias estructurales son importantes aunque nunca lo suficiente para condicionar totalmente la forma general arquitectónica. No es habitual que el proyectista integre la estructura en el diseño general desde el primer instante de la creación del proyecto. Este modo de proceder simplifica el mundo real eliminando temporalmente la incidencia de la fuerza de la gravedad sobre el espacio arquitectónico y, por tanto, sobre la arquitectura que se va a diseñar. La forma del proyecto queda así condicionada durante la fase de proyectación arquitectónica y la estructura se interpreta como un requisito inevitable que nunca constituye el fin principal del proyecto. Cuando está decidido el diseño, se incluye en él la estructura, entendida como el soporte estable y resistente que debe cumplir unas condiciones de deformabilidad. Así, la calidad del proyecto estructural está determinada por el diseño arquitectónico, y el cálculo estructural se limita a comprobar la estabilidad, deformabilidad y resistencia de una estructura propuesta, para que la solución arquitectónica conserve su geometría durante un tiempo razonable. Se observa que existe una gran disparidad entre el grado de control racional de la fase creativa de la estructura y de aquella que la verifica.

En las estructuras de grandes luces, como son las de los puentes, la forma general del proyecto siempre está determinada por las necesidades estáticas y económicas. Para definir la forma de una estructura de este

tipo, el proyectista propone un modelo inicial obtenido con criterios de uso arquitectónico, comprobando mediante el cálculo que dicha solución cumple las necesidades estructurales. A partir de los resultados obtenidos, se realizan cambios formales en la estructura conducentes a minimizar los errores de diseño que el cálculo haya detectado en el modelo original. Se entenderá que existe un error de diseño cuando la forma estructural no garantice la estabilidad parcial y/o global, o bien, cuando el material estructural utilizado no se aproveche al máximo en términos de resistencia y rigidez. La flexión, inevitable en estructuras en las que las necesidades arquitectónicas se imponen a las estructurales, será un indicador de la calidad del diseño. Cuanto mayor sea el valor de la flexión más deficiente será el diseño de la estructura.

La nueva solución formal se vuelve a analizar del mismo modo, y se efectúan los cambios geométricos que rectifiquen los errores detectados en esta segunda propuesta de diseño. El modelo estructural inicial sufrirá una serie de transformaciones geométricas hasta que se alcanza una forma óptima definitiva. Es conveniente que para la toma de decisiones, el diseñador disponga de un conocimiento cualitativo del comportamiento de las estructuras frente a las acciones exteriores, que se adquiere estudiando los fundamentos de los métodos manuales de cálculo. Este conocimiento o sentido estático no es otra cosa que una humanización de las Leyes de la Naturaleza, y representa la base de toda invención constructiva.

Hasta el momento no existe una filosofía estructural derivada de los métodos de cálculo que facilite al proyectista la comprensión cualitativa de los principios estructurales que le permitan adquirir una sensibilidad estática para proyectar. En la actualidad, se están desarrollando enormemente programas informáticos de cálculo que alcanzan los mismos objetivos que los métodos manuales con mayor precisión y velocidad. Sin embargo, el uso abusivo de la informática hace olvidar al proyectista que los fundamentos del cálculo manual continúan siendo una importante fuente de inspiración para la comprensión cualitativa del fenómeno estructural. Como consecuencia, las formas generales estructurales que se proyectan no siempre alcanzan suficiente calidad. El modo de proceder así descrito, que se puede definir como un proceso de ensayo y comprobación, no permite descubrir soluciones estructurales distintas a las ya conocidas y no constituye un verdadero método de diseño estructural. El cálculo continúa interviniendo en la comprobación de la capacidad estructural del modelo propuesto y no participa en el diseño del modelo formal óptimo.

Existe otro camino para proyectar la forma estructural, aún poco desarrollado, que apunta hacia una verdadera teoría del diseño de estructuras. Acepta de partida los valores y la posición de las acciones exteriores y de las

reacciones, así como los valores de los estados de tensiones finales que se desea que existan en la estructura. Su objetivo sería determinar aquella geometría de la estructura que produzca en su interior las tensiones previstas utilizando la menor cantidad de material.

Las formas resultantes así concebidas estarían cargadas de significado formal, ya que explicarían visualmente la manera de trabajar de la materia frente a la fuerza de la gravedad. Dicho de otro modo, la forma proyectada se aproxima a la forma estática, que podría definirse como «*la expresión visual de la capacidad estructural de la materia*». Con estas premisas, se puede entender que los errores estáticos son también los errores estéticos del proyecto. Hasta el momento, pocas estructuras se han diseñado conforme a este planteamiento. Un ejemplo notable es el puente de hormigón armado que cruza el río Basento a su paso por Potenza.

### ***El puente sobre el río Basento en Potenza***

Ideado por el ingeniero romano Sergio Musmeci, el puente sobre el río Basento se construyó en la década de los años sesenta, y destaca en el panorama internacional tanto por la originalidad del planteamiento que condujo al diseño final como por el diseño en sí mismo. El puente constituye el acceso a Potenza, antigua ciudad romana fundada en el año 260 a.c. y situada en lo alto de una colina a cuyos pies circula el río Basento. La ciudad, que en la actualidad tiene 65.000 habitantes, es la capital de la montañosa región italiana de Basilicata, región caracterizada por ser rica en viñedos y olivares. Potenza destaca por haber desarrollado un tejido industrial que se extiende a lo largo del río Basento y que está especializado en los ramos de la alimentación, la confección y la construcción. El puente es el elemento principal de paso entre las zonas industrial y residencial de la ciudad, y su diseño inicialmente estuvo fuertemente condicionado por la ubicación del río y por las vías del tren.

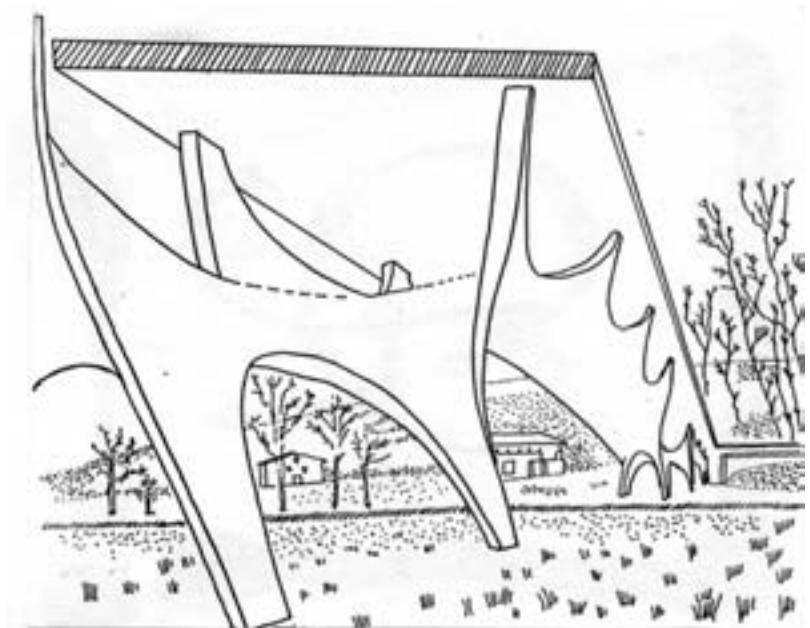
Musmeci consideraba que dotando de significado arquitectónico a una estructura, se contribuía notablemente a la calidad de toda obra de ingeniería. Coincidió con Alberti en el espíritu de la profesión del arquitecto. Pensaba que la mentalidad ingenieril y la arquitectónica actuales debían coincidir más en lo fundamental. En consecuencia, el arquitecto debía ser más técnico y el ingeniero más imaginativo. La solución arquitectónica del puente de Potenza surgió como resultado de esta forma de pensar. Musmeci propuso en Potenza un puente ingenieril-arquitectónico que nació de un pensamiento personal y libre con la

voluntad de tender puntos de contacto entre ambas disciplinas. El resultado final fue un objeto escultórico y arquitectónico, dinámico y cambiante según el punto de vista del observador y de gran fuerza expresiva.

### ***Descripción formal del puente***

El puente se puede interpretar como la combinación de dos estructuras superpuestas, cada una diseñada con criterios diferentes. La estructura superior está compuesta por una plataforma inclinada proyectada para la circulación de vehículos rodados. Este requisito, común a cualquier propuesta de puente que se realice, condiciona totalmente la forma final, desviándola de otras soluciones estáticas más adecuadas desde el punto de vista de la economía del material. Los esfuerzos de flexión que aparecen en la plataforma producen, como se ha comentado anteriormente, concentraciones de tensiones en algunas zonas del material, siendo la dispersión de los valores de las tensiones un indicador de la calidad del diseño estructural. La plataforma propuesta por Musmeci descansa sobre una estructura inferior por medio de 32 apoyos puntuales.

Para la estructura inferior del puente no existían condicionantes arquitectónicos que determinaran su forma general desde la fase inicial del proceso



Perspectiva desde el río Basento del puente de Musmeci, en Potenza.  
Dibujo: A. Lacort (1998).

de diseño. Del mismo modo que otros arquitectos estructuralistas, como Antonio Gaudí o Félix Candela, Musmeci utilizó para diseñar esta estructura ciertos criterios constructivos, geométricos y de lógica estructural, explorando el mundo de las tres dimensiones y escapando de las limitaciones formales impuestas por los sistemas clásicos de representación en el plano. Musmeci ignoró las formas estructurales heredadas y se apoyó en las aportaciones científicas del presente para encontrar aquella forma estructural más acorde a las necesidades específicas del modelo. El resultado que obtuvo fue una estructura superficial con una forma estática poco convencional que, para valorarla desde un punto de vista estético, resulta imprescindible poseer cierta sensibilidad estática.

La estructura está compuesta por una superficie de doble curvatura de 30 centímetros de espesor, que describe en el espacio cuatro arcos iguales de 69,20 metros de luz apoyados sobre unas bases cuadradas de 10,38 metros de lado, cada una de las cuales descansa sobre el terreno. No puede descomponerse en diferentes partes porque se comporta estructuralmente como un objeto único. Esta característica le

Perspectiva desde un apoyo del puente.  
Fotografía A. Lacort (1998).



hace ser especialmente resistente frente a posibles asientos diferenciales o a vibraciones sísmicas, tan habituales en la región montañosa de Potenza.

Pese a que la forma resultante era demasiado complicada para poderla descomponer en elementos repetitivos industrializables y que los métodos de cálculo utilizados eran demasiado complejos, el coste global de la estructura fue similar al de otras soluciones más convencionales.

### ***Breve desarrollo del proceso de diseño***

Musmeci no utilizó el cálculo para verificar el grado de seguridad de la forma resultante, sino para definir la geometría general desde el inicio del proceso de diseño estructural. Combinó el cálculo con algunos criterios estrictamente económicos, contemplados tanto desde el punto de vista constructivo o global como desde el punto de vista de la cantidad de material. Para reducir el coste económico global, eligió el hormigón como material estructural por su facilidad de moldeado, y decidió que las dos curvaturas principales que definían en cada punto la geometría de la superficie tenían que ser iguales y de signo contrario. De esta manera pensaba controlar suficientemente la geometría general para simplificar el número de elementos singulares previstos en el encofrado. En cuanto a la economía del material, estudió las condiciones que debían tener los bordes de la estructura para evitar la aparición de esfuerzos de flexión. Así todos los puntos de la estructura estarían sometidos al mismo estado tensional.

El diseño de la estructura para que cumpliera los requisitos anteriormente comentados, lo resolvió con una ecuación diferencial de superficie, en la que supuso que el peso propio de la estructura equivalía al 25% de las cargas exteriores. Para validar la forma resultante, construyó una maqueta de neopreno que representaba la superficie calculada, y posteriormente otra de metacrilato a escala mayor, mediante las cuales comprobó que las tensiones registradas en ellas eran similares en todos los puntos. Incluso llegó a realizar un estudio grafostático para comprobar el equilibrio interno de la superficie deducida del cálculo manual.

Para definir los detalles del diseño, desarrolló el encuentro de la superficie con la plataforma superior así como con la cimentación, utilizando un programa de elementos finitos. Los resultados obtenidos coincidieron con los que se observaron en una nueva maqueta de microhormigón armado, construida a escala mayor que las anteriores. En el ensayo de rotura realizado con dicha maqueta se manifestó el



Espacio comprendido  
entre la cáscara y la plataforma.  
Fotografía: A. Lacort (1998).

excelente comportamiento de la forma estructural diseñada frente a acciones inesperadas, alcanzándose la rotura cuando el peso propio y la sobrecarga aumentaban en un 100% su valor original.

El espacio comprendido entre ambas estructuras fue concebido por su autor para proyectar un paseo peatonal por el cual los habitantes de Potenza pudieran descender desde la ciudad a un parque lineal situado a lo largo de las orillas del Basento. Sin embargo, dicho paseo no llegó a realizarse.

## ***Conclusiones***

Musmeci asumió en éste y en otros de sus proyectos, una ética que buscaba la sinceridad de la construcción. Creía que la Ciencia era una manifestación de la verdad del mundo y se valió de ella para dotar de significado a la materia, encontrando de este modo un lenguaje arquitectónico objetivo. Por tanto, se puede decir que llegó a la



arquitectura partiendo de sus principios éticos y de su formación científica. Su manera de trabajar fue más parecida a la de un arquitecto proyectista que a la de un ingeniero, ya que diseñó el puente sobre el Basento sin conocer inicialmente el resultado final. Obtuvo una forma estructural específica para el lugar, y por tanto irrepetible y no tipologizada. Pienso que Musmeci abordó en Potenza los aspectos ingenieriles del puente desde un punto de vista arquitectónico. De todo ello se desprende que este puente puede ser un ejemplo aislado que representa la sabiduría científica de su época y quizá sienta las bases de una nueva estética arquitectónica.

Creo que la arquitectura, además de otros valores, tiene el de manifestar el grado de conocimiento de una sociedad acerca de las leyes que gobiernan la naturaleza. La evolución tecnológica y científica no ha llegado a descubrirlo todo. Creo también que seremos rebasados en el futuro por nuevas maneras de enfocar el diseño estructural que completarán nuestra sabiduría actual. Es posible que estas ideas acaben influyendo en los gustos estéticos de la sociedad. Quizá por ello necesitemos reafirmarnos más en el culto a una renovación de nuestro gusto basado en los avances científicos y técnicos que en el culto a unas formas. Sólo así conseguiremos representar en nuestras obras el auténtico espíritu de nuestra época.

## ***Bibliografía***

### **Libros**

Cardellach, F: *FILOSOFÍA DE LAS ESTRUCTURAS*. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, 1970.

Cedolini, M: *STRUTTURE. MORFOLOGÍA STRUTTURALE IN ARCHITETTURA*. Arsene Editrice. Venecia, 1991.

Musmeci, S: *SERGIO MUSMECI*. C.E.S.I.C.A. Roma, 1979.

Pizzetti G, Zorgno A.M: *PRINCIPI STATICI E FORME STRUTTURALI*. Unione Tipografico-editrice. Turín, 1980.

Torroja Miret, E: *RAZÓN Y SER DE LOS TIPOS ESTRUCTURALES*. CSIC. Madrid, 1998.

### **Revistas**

Carlo La Torre (1981): *SERGIO MUSMECI*. Casabella. 469, 39-45.

Musmeci, S (1977): *PONTE SUL BASENTO A POTENZA*. L'Industria Italiana del Cemento. 2, 77-98.

Musmeci, S (1979): *LA GENESI DELLA FORMA NELLE STRUTTURE SPAZIALI*. Parametro. 28, 13-32,

Musmeci, S (1980): *STRUTTURA ED ARCHITETTURA*. L'Industria Italiana del Cemento. 10, 771-786.