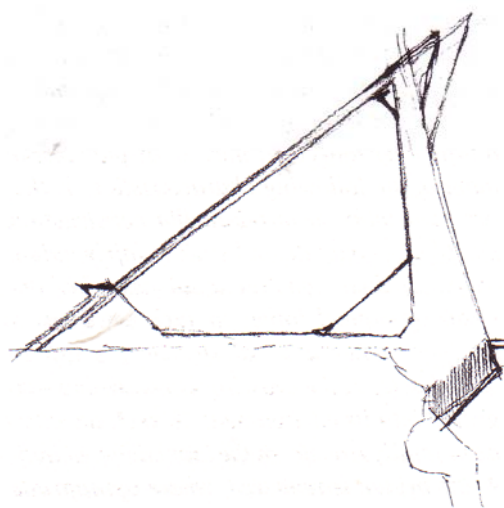


Kenneth Frampton

Ocho puentes de arquitecto

Eight Bridges by an Architect



Frente a la tradicional economía de medios de los ingenieros, Calatrava se distingue por la expresividad plástica de sus puentes.

Amid the traditional economy of engineers, Calatrava distinguishes himself through the formal expressiveness of his bridges.

LA CONSTRUCCIÓN de puentes siempre ha tenido un papel fundamental en la configuración del paisaje y del tejido urbano. Algunos incluso han llegado a ser ciudades en miniatura, como el Ponte Vecchio en Florencia. En la era romana, el puente constituía una infraestructura regional que no ha tenido paralelo hasta el siglo XIX. Ésta fue una época en la que el ingeniero era una especie de Prometeo, la era de hombres como Brunel, Roebing y Baker; por primera vez las murallas de las ciudades se derribaron, y la urbanización comenzó a extenderse por el campo. En el siglo XX, sin embargo, las infraestructuras de la era del ferrocarril darían paso a las vías para automóviles.

Si los materiales simbióticos de las vías férreas fueron el hierro y el acero, el de las autopistas iba a ser el hormigón armado, capaz de proporcionar luces económicas y un mantenimiento casi nulo. Este cambio se refleja en la trayectoria del ingeniero suizo Robert Maillart. La patente del pretensado por parte de Eugène Freyssinet en 1933 aumentaría considerablemente la resistencia del hormigón armado, permitiendo hacer vigas con relaciones luz/canto de 20 a 1.

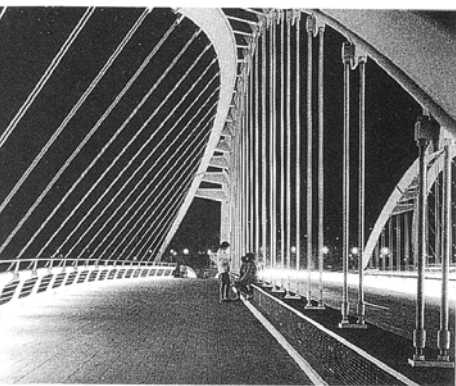
La escalada en la construcción de autopistas desde 1945 llevó a la invención de los encofrados móviles para la ejecución a grandes alturas y a la disposición de las calzadas en voladizo a partir de vigas-cajón centrales. En los años sesenta llegaron los puentes de hormigón sustentados por cables. Este periodo alcanzó su apoteosis con el extraordinario puente de Ganter (1977-1981), de Christian Menn, un viaducto de 679 metros en la autopista del Simplón. En él se inspiraría el proyecto fin de carrera de Santiago Calatrava.

Un ingeniero irreverente

Formado en el Politécnico (ETH) de Zúrich en la tradición de la estática gráfica de Culmann, heredero de Maillart y luego de Menn, con quien estudió, Calatrava se ha apartado desde entonces de la aplicación rigurosa de los principios de la escuela, con el fin de conseguir

formas dinámicamente más expresivas. En la realidad, los triunfos y los fracasos de Calatrava derivan de su insistencia en combinar los papeles de arquitecto, ingeniero y urbanista en una sola persona, pese a la ya consagrada división del trabajo que diferencia categóricamente entre ciencia aplicada y discurso artístico. Y el escándalo de los logros de Calatrava ha surgido tanto de su rechazo de tales críticas como de cualquier falta intrínseca de su propia obra. Entre sus críticos más virulentos han estado siempre los ingenieros de estructuras, principalmente porque su obra puede entenderse como una premeditada manipulación de su *métier*. El hecho de que Calatrava, un cualificado ingeniero de estructuras no hubiera querido para aplacar estas críticas, que incluso le acusan de despreciar la economía, su elección de la forma estructural. Pero esto es realmente indigna a los ingenieros puristas por el uso expresivo que Calatrava hace de materiales diversos, pese a que el hormigón armado depende por definición de la combinación de materiales bastante distintos. La actitud de Calatrava alcanza dimensiones particularmente exasperantes en el campo del diseño de puentes, principalmente porque éstos consideran el *sine qua non* de la ingeniería civil en su aspecto más triunfante.

Calatrava ha diseñado más de 33 puentes en algo más de una década; todos ellos presentan una o varias de las siguientes características: 1, su construcción es mixta, combinando de manera singular el hormigón y el acero; 2, el ensamblaje encauza las fuerzas estáticas de modo que se producen inusitados efectos expresivos; 3, están invariablemente integrados en su entorno, hasta el punto de transformarse totalmente; 4, se presentan a veces como una escala regional; y 5, los detalles de la estructura y su iluminación artificial enfatizan la dinámica estructural y, por ello, transmiten una sensación de movimiento detenido. Es precisamente esto lo que constituye el aspecto herético-exegético de sus construcciones, la 'desviación' que Calatrava le da a la estructura aparente un estado de suspensión.

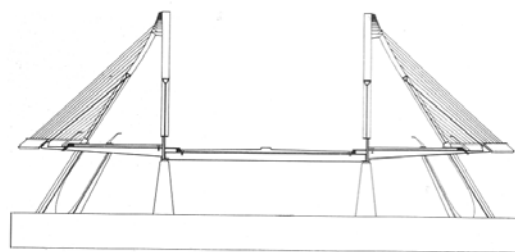


Bach de Roda, Barcelona, 1984-1987

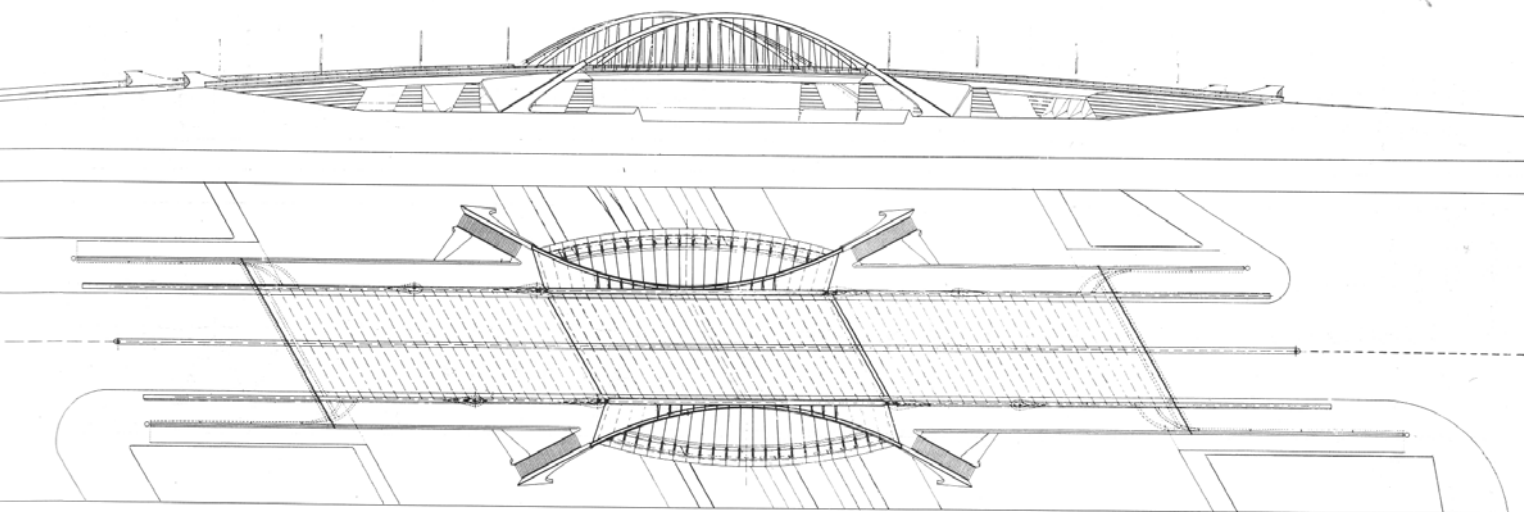
Estos atributos son claramente visibles en el primer puente de Calatrava: el de Bach de Roda - Felipe II, en Barcelona. Es un puente construido sobre una línea férrea que tanto un corte como una servidumbre de ésta es la causa principal de la suave elevación de la calzada sobre los 40 metros de altura. Así pues, el puente responde tanto a la necesidad como a la elevación, siendo éstos los datos fundamentales que determinaron su diseño, además de minimizarse los estribos para enfatizar la sensación de una plataforma de estructura simple volando ligera por encima del terreno. Pero, en realidad, la plataforma se

sustenta en arcos de acero apoyados en contrafuertes de hormigón que resisten los empujes.

Bach de Roda une dos barrios antes separados. Al hacerlo, convierte la travesía de las vías en un lugar urbano. Así, los cuatro arcos del tramo principal no sólo sustentan la calzada, sino que también transforman el ensanchamiento de las aceras laterales en miradores que se alinean asimétricamente con el esviaje del cruce. Esta alineación refuerza la visión del ferrocarril como un corte en el paisaje, estando el eje dinámico compensado por cuatro pequeños parques situados a ambos lados de las vías. El acceso a estos parques se realiza por escalinatas de hormigón que se integran con la pla-



taforma mirador que sobresale a cada lado del puente. Los apoyos externos de estas escaleras tienen la misma sección que los arcos parabólicos exteriores con los que se alinean. Los parapetos de los dos miradores están suspendidos de los correspondientes arcos exteriores, estando anclados los cables en la junta que empalma las partes de hormigón y acero del arco de sección triangular hueca. Los arcos interiores y exteriores de acero se unen en la coronación y se reparten entre sí los cables de sostén de la calzada y las aceras. Calatrava eleva estas últimas por encima del nivel de la calzada, dotando a los peatones de cierta prioridad visual y psicológica sobre los coches.



Bach de Roda, Barcelona, 1984-1987

These attributes are clearly visible in Calatrava's first bridge: Bach de Roda - Felipe II, in Barcelona. This is a skew-bridge built over an railway line that is not so much a cutting as it is a walled right-of-way. This gentle modulation of the ground is the prime reason for the gentle rise of the roadbed over the 40-meter track. Thus the bridge is a direct response to both skew and rise, these being the fundamental givens that determined its program. With Calatrava cutting back the abutments as much as possible, so as to emphasize the feeling of a flat-curved deck flying lightly above the surface of the ground. Otherwise the

deck is carried by a steel arch supported by angled concrete buttresses resisting its thrust.

Bach de Roda links two previously separated quarters. In so doing it turns a rail crossing into an urban place-form. Thus the four arches of the main span not only carry the roadbed but also provide for a widening of the sidewalk into belvedere platforms that are asymmetrically aligned with the skew of the crossing. This alignment stresses the view corridor of the railway as it cuts through the landscape, the dynamic axis being offset by four pocket parks on either side of the tracks. Access to these parks is by concrete stairways that are integrated with the belvedere platform

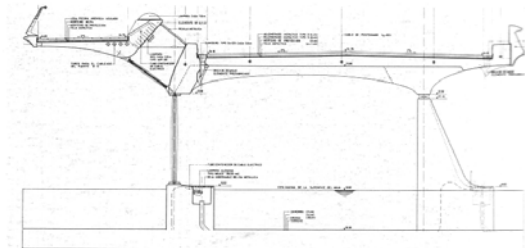
that swells out on either side of the bridge. The outer concrete upstands of these stairs are of the same section as the outer parabolic arches with which they align. The belvedere parapets are suspended from the outer arches, their cables gaining fixity above the butt-joint that connects the concrete and steel sections of the triangular box-sectioned arch. The inner and outer steel arches connect with each other at their crowns and divide thereafter into the separate cable supports for the roadbed and the sidewalk. Here, Calatrava raises the sidewalk above the level of the roadbed, thereby according pedestrians a certain visual and psychological priority over the automobile.



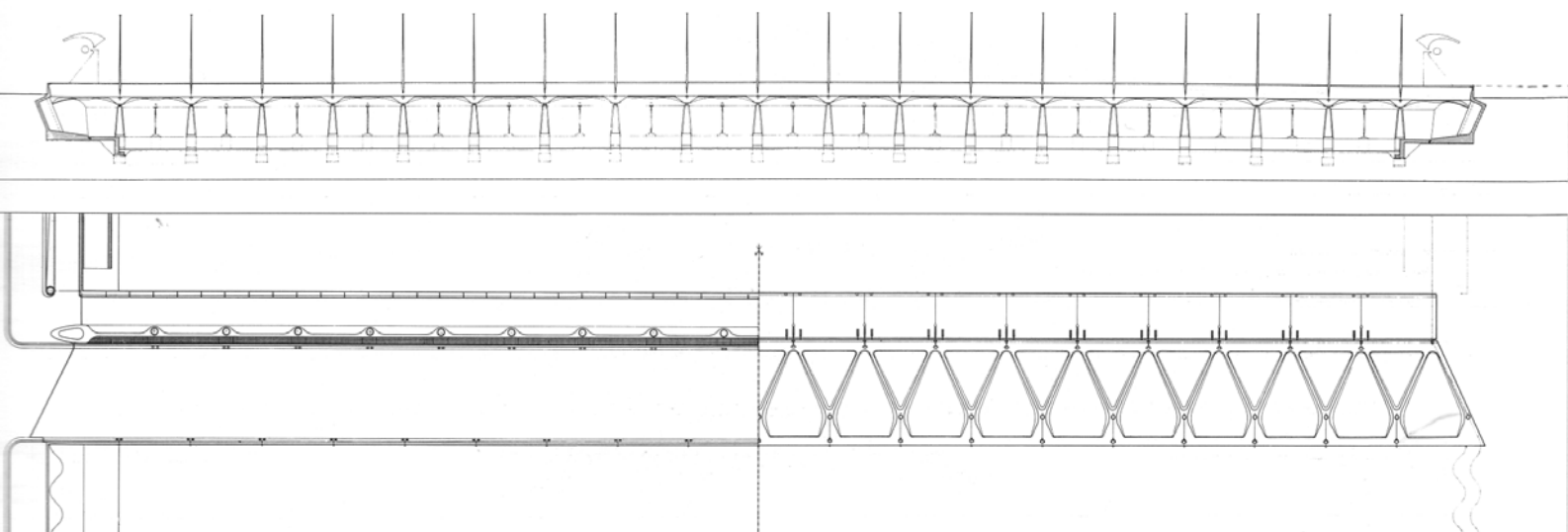
Nueve de Octubre, Valencia, 1986-1988
 Con 144 metros de luz, este puente está consi-
 derado sobre el lecho seco del río Turia, en
 Valencia (véase A&V 24). Concebido como un
 viaducto doble que flanquea un estanque orna-
 mental, esta construcción sustenta las dos cal-
 zadas separadas de una avenida. El estanque
 pretendía compensar la eliminación del río y
 recordar la ambigua proeza fáustica por la que
 el curso natural fue desviado después de las
 fundaciones de 1972. El viaducto de acero y
 hormigón armado de Calatrava se modeló para
 que sirviera de metáfora hidráulica, en parte
 mediante una construcción a modo de esclusa
 en parte mediante las formas onduladas de

los muros de contención laterales. Concebido
 originalmente como una 'imagen especular'
 simétrica, con dos viaductos colocados a am-
 bos lados de un línea de tranvías que recorrería
 el eje central, el puente partido realizado final-
 mente comprende dos calzadas separadas apo-
 yadas en soportes y flanqueadas en sus respec-
 tivos bordes exteriores por pasarelas en vola-
 dizo elevadas 40 centímetros por encima del
 nivel de los vehículos.

El intradós de la calzada se rigidiza median-
 te una red triangular de nervaduras que están
 soportadas por machones de hormigón seme-
 jantes a los de Bach de Roda. Hacia el borde
 exterior, esta red de nervios se apoya también



en columnas cruciformes de acero, que al es-
 trecharse en sus extremos dan una impresión
 de ligereza evocadora de los componentes a
 tracción. Esta dicotomía de expresión confiere
 al puente una apariencia de levitación, realza-
 da por la elevación de las aceras voladas y
 separadas mediante una abertura luminosa y
 enrejada que se extiende en toda la longitud del
 puente. El diseño se completa con dos rasgos:
 1, largas rampas que descienden a lo largo de
 los muros de contención, hasta llegar a una
 calzada inferior; y 2, cuatro monumentales
 soportes de hormigón rematados por formas
 abstractas, vagamente reminiscentes de la es-
 cultura de Antoine Pevsner.

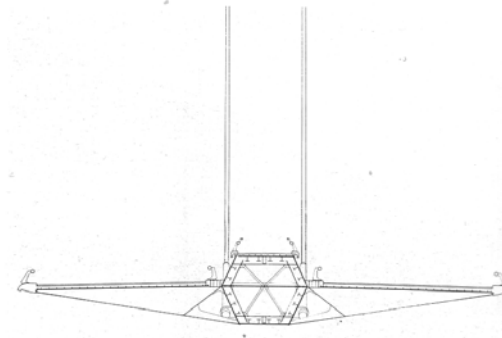
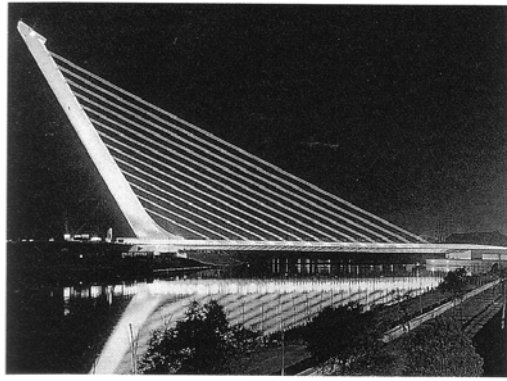


Nueve de Octubre, Valencia, 1986-1988
 The 144-meter-span Nueve de Octubre Bridge
 built across the dry bed of the River Turia in
 Valencia (see A&V 24). Conceived as a double
 viaduct, framing an ornamental pool, this con-
 struction provides for the crossing of a divided
 highway. The pool was intended to compen-
 sate for the removal of the river and to recall
 the ambiguous Faustian feat by which its natu-
 ral course was diverted, following the 1972
 flooding of the city. Calatrava's reinforced-
 concrete and steel viaduct was fashioned in
 such a way as to serve as a hydraulic meta-
 phor, in part through its sluice-like construc-
 tion and in part through the undulating shell

form adopted for the embankment walls. Originally conceived as a symmetrical 'mirror image' comprising two viaducts set back-to-back about a free-standing elevated tramway running down the central axis, the divided bridge as built comprises two separate roadbeds carried on piers and flanked on their respective outer edges by cantilevered sidewalks elevated 40 centimeters above the vehicular level.

The soffit of the roadbed is stiffened by a triangulated network of downstand rib-beams that are carried by concrete piers reminiscent of those used in Bach de Roda. Towards the outer edge, this rib-network is also supported

by cruciform steel columns, that in tapering towards their extremities give an impression of lightness reminiscent of tensile members. This dichotomous expression imparts to the whole bridge a levitational appearance, one which is heightened further by the elevation of the cantilevered sidewalk, partially detached by a grilled light slot extending down the length of the bridge. The design is completed by two features: 1, by long ramps that descend along the embankment, down to a lower causeway situated on either side of the bridge; and 2, by four monumental concrete pylons capped by abstract forms, vaguely reminiscent of the sculpture of Antoine Pevsner.



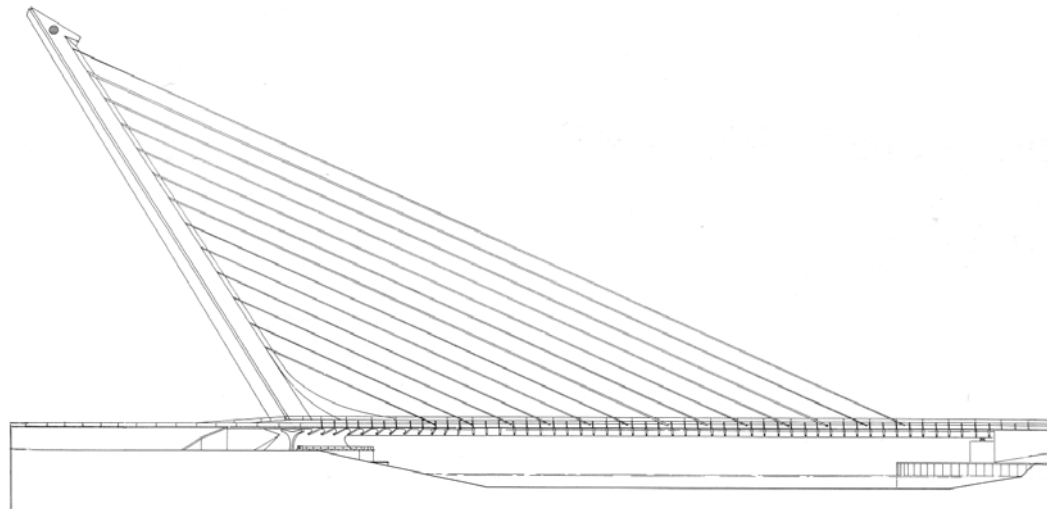
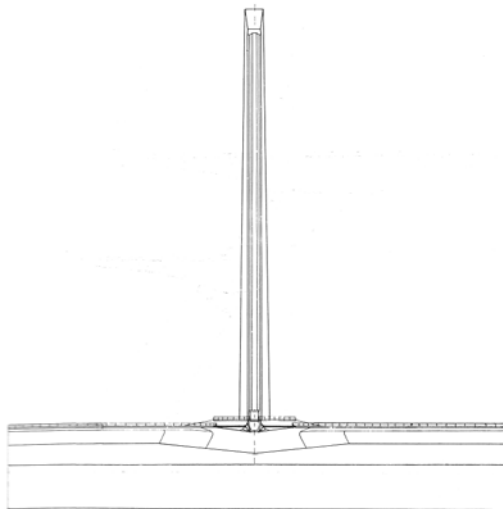
3. Alamillo, Sevilla, 1987-1992

Adyacente al emplazamiento de la Expo'92, ésta es una construcción experimental, dado que es el primer puente sustentado por cables en el que la plataforma se equilibra con el peso de la torre inclinada hacia atrás (veáse *Anuario 1993*). Esta torre de 142 metros de altura está hecha de secciones hexagonales de plancha de acero revestidas de hormigón en masa. Originalmente estaba concebida como una serie de piezas de hormigón apiladas en la que los cables a tracción se habrían ido anclando a medida que se elevaba.

El contratista pensó que no podría construirlo así porque el peso muerto del puente no

sería suficiente para compensar el de la torre en cada una de las fases. Finalmente se decidió levantar la torre como un tubo de acero auto-soportado en voladizo, que se iría cargando con contrapesos a medida que los correspondientes cables se fueran asegurando y que la carga del puente se fuese equilibrando con la inclinación y el peso de la torre. Al final, aparte del tablero de hormigón, tanto el puente como la torre se montaron como construcciones plegadas, huecas y relativamente ligeras a base de planchas de acero. La espina de la plataforma se construyó como una viga cajón, a cuyos costados se fijaron después los cables. En sección, el tramo principal lleva la pasarela de

peatones en la parte superior de la viga cajón, a 1,6 metros por encima de la calzada. A su vez, ésta se sostiene mediante brazos volados de 12,5 metros, a base de planchas de acero con pestañas de refuerzo a lo largo de los cordones superior e inferior. Los estribos de estos brazos se cortan cerca de los soportes de la viga, quedando sólo la pestaña inferior de refuerzo para completar la triangulación estructural. La intención era una vez más aligerar la apariencia del puente articulando sus partes. Este efecto de levitación se aprecia de un modo espectacular con la iluminación nocturna, cuando los brazos en voladizo arrojan sombras nítidas sobre los costados de la viga cajón.



3. Alamillo, Seville, 1987-1992

Adjacent to the Expo'92 exhibition site, this is an experimental structure since it is the first cable-stayed bridge where the cable supports of the deck are counterbalanced by the sheer weight of the tower leaning back (see *Anuario 1993*). The 142-meter-high tower is made up of hexagonal sheet-steel sections, lined with a cast concrete counterweight. It was originally conceived as a stacked concrete tower, wherein the tensile cable supports would have been progressively fixed in position as the tower rose in height.

The contractor felt he could not construct the span in this way since the full dead weight

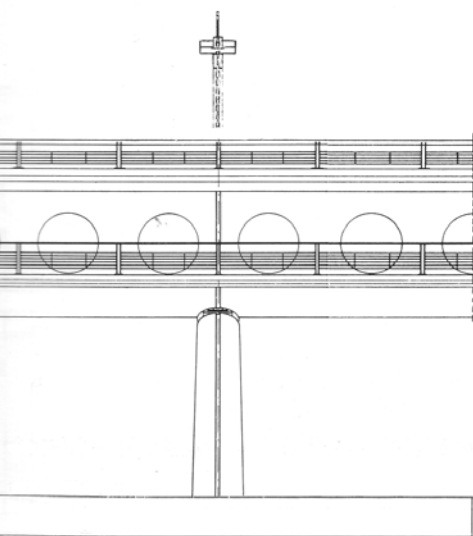
of the bridge would not be sufficient to counterbalance the tower at each stage. It was finally elected to build the tower as a self-supporting cantilevered steel tube that would be progressively loaded with counterweights as the respective cables of the bridge were secured and the load of the bridge taken up by the inclination and weight of the tower. In the end, aside from the concrete roadbed, both bridge and tower were initially constructed as relatively lightweight, hollow folded-plate structures in sheet steel. The spine of the steel deckwork was constructed as a hollow box girder, the sides of which were later secured to the cables. In section the main span has the

pedestrian passerelle running along the top of the box girder set some 1.6 meters above the roadbed of the bridge. Meanwhile the roadbed was carried on 12.5-meter cantilever arms, built up of sheet-steel plates with stiffening flanges along the top and bottom chords. The spandrels of these steel arms are cut open close to the girder support with only the stiffened lower flange completing the structural triangulation. The aim was once again to lighten the appearance of the bridge by articulating its parts. This levitation effect becomes dramatically apparent in the floodlighting at night when the open arms cast highly configured shadows against the canted sides of the box girder.



Cartuja, Sevilla, 1987-1992

unque los 200 metros del puente del Alamillo constituyen un *tour de force*, su verdadero alcance sólo puede apreciarse a escala regional. Esto nos remite a la grandiosidad del diseño original, en el que se idearon dos puentes colgantes, cuyas torres se inclinaban una hacia otra a una distancia de 4.000 metros. Pese a que las autoridades se comprometieron a mantener esta idea, Calatrava sólo llegó a realizar la sección central de este paso regional, que al duplicarse habría formado el pórtico de los terrenos de la Expo'92. Para conseguir esto, Calatrava propuso construir la carretera de unión de los dos puentes como un viaducto

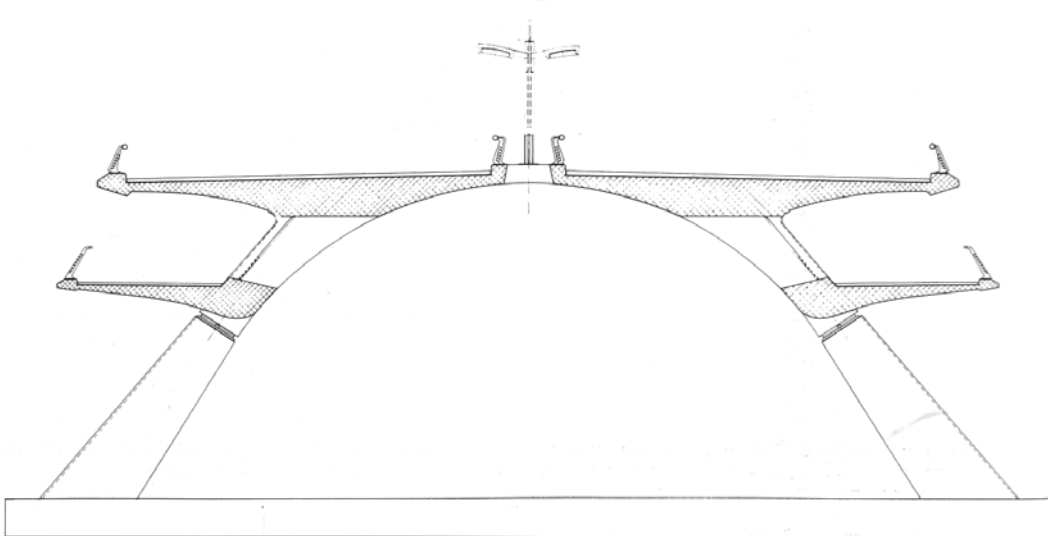


Cartuja, Seville, 1987-1992

While the 200-meter cable-stayed Alamillo crossing is a *tour de force*, its full scope can only be appreciated at a regional scale. This brings us back to the grandeur of the original design in which two counterweighted cable-stayed river crossings were envisaged, leaning towards each other across a distance of 4000 meters. Despite the fact that the full regional dimension of this concept was compromised by the authorities, Calatrava was allowed to re-size the middle section of his regional crossing that would double as the portal to the exhibition grounds. This Calatrava was able to achieve by controlling the roadwork be-

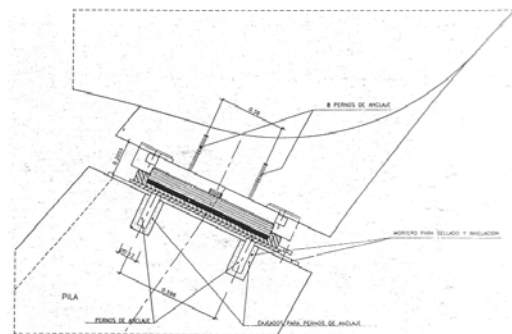
elevado que dividiría un aparcamiento exterior a los terrenos propios de la exposición. Esta disposición permitía aparcar y pasar caminando bajo el viaducto para llegar a la entrada. De este modo, el viaducto de la Cartuja, construido enteramente en hormigón armado, se concebía como un contrapunto a la torre sostenida por cables del puente del Alamillo.

Modelado como un simple caparazón mediante encofrados deslizantes, y apoyado a ambos lados en *pilotis* inclinados de hormigón, el viaducto de la Cartuja adoptaba inicialmente una sección algo distinta en la que las líneas paralelas de *pilotis* soportarían cada una, como una carga equilibrada en voladizo, la



tween the two bridges and by building the crossing between them as an elevated viaduct dividing a parking forecourt from the exhibition proper. This arrangement enabled one to park and walk under the viaduct into the exhibition. In this way the Cartuja Viaduct, constructed entirely of reinforced concrete, was conceived as a counterform to the cable-stayed tower of the Alamillo Bridge.

Cast as a basic shell over moving formwork and supported on either side by inclined concrete *pilotis* throughout its length, the Cartuja Viaduct initially assumed a somewhat different section in which parallel lines of *pilotis* would each support, as a balanced cantilevered load,



mitad de la calzada doble. Una pasarela peatonal iría también suspendida entre las dos vías de tráfico, sostenida por enlaces transversales que estabilizarían la estructura en sentido lateral. Tal como se construyó, la estructura es más compleja, pues la calzada doble es un voladizo equilibrado sostenido por la parte superior del caparazón inferior. Las partes peatonales están situadas bajo las calzadas separadas a ambos lados del caparazón. Una vez más, como es típico del estilo de Calatrava, las formas interactivas en sección están articuladas por la luz y con este fin el caparazón abovedado está perforado por tres líneas de huecos circulares que iluminan el pórtico-viaducto desde lo alto.

one half of the divided highway. A pedestrian passerelle would also have been suspended between the two streams of traffic, supported by transverse ties stabilizing the structure in a lateral dimension. As built, the structure is more complex for the divided highway is a balanced cantilever carried on the superstructure of the lower shell. In this instance pedestrian causeways are hung beneath the divided autoroute on either side of the shell. Once again, the interacting sectional forms are articulated by light and to this end the barrel-vaulted shell is perforated by three lines of circular holes, which illuminate the viaduct-portal from above.

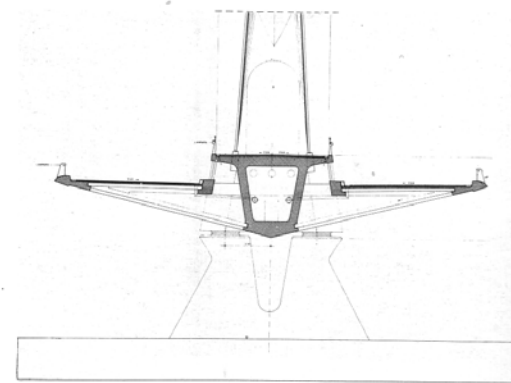


5. Lusitania, Mérida, 1988-1991

Con una longitud de 465 metros y un vano de 189 metros de luz, este puente tiene una escala regional. Situado a unos 600 metros de un puente romano, su perfil se ha modulado para proporcionar un contraste armónico con la construcción antigua. El conjunto está dividido en tres partes: el arco atirantado del que cuelga la plataforma situada en el centro del río, y las dos calzadas de 144 metros sobre vigas cajón apoyadas en soportes que enlazan con las orillas a cada lado del vano central.

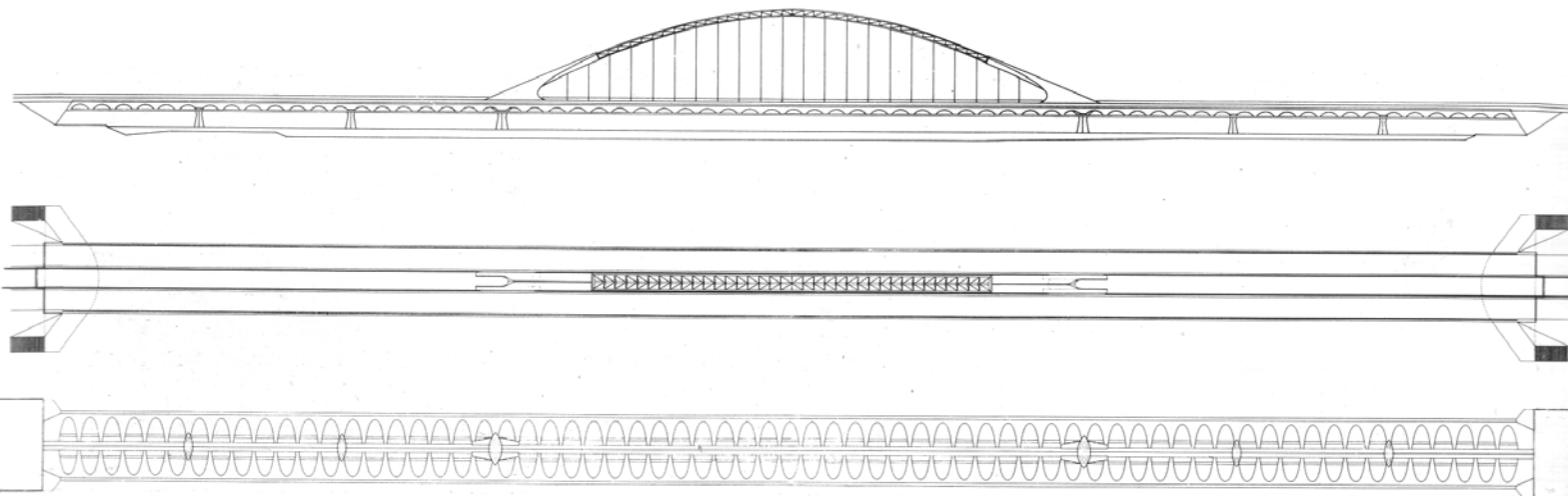
Calatrava ha intentado unificar el tramo central y los laterales, manteniendo la continuidad entre la espina que forma la viga cajón

en toda la longitud y las calzadas voladas que conjuntamente constituyen la sección transversal. Como en casi todos los puentes de Calatrava, cada componente se inflexiona, esculptural y estructuralmente, con respecto al sistema general. En este caso, una pasarela de 5,5 metros de ancho, elevada 1,5 metros sobre la plataforma, sirve como mediana de la autovía de calzadas separadas. Este paseo se integra en la sección hueca de hormigón que forma la espina de toda la estructura. Sostenidas por ménsulas de hormigón, dos calzadas de 7 metros se proyectan en voladizo a ambos lados de la citada espina. Como invariablemente ocurre con Calatrava, cada elemento se articula con el



adyacente, de modo que el espacio y la luz penetran a través del tejido para aligerar la plataforma y exhibir la acción de la estructura.

Uno de los aspectos más brillantes y controvertidos de este diseño es el arco tubular triangulado que se eleva desde los riñones de hormigón armado. Cada uno de estos estribos sostiene unos 29 metros de plataforma antes de recibir el arco metálico de 131 metros. Éste tiene una sección triangular (de 5 x 2,5 metros entre ejes) de tubos de acero, mientras los cables que sostienen el tablero se abren en abanico desde el cordón inferior del arco para permitir el paso peatonal, al tiempo que se anclan a cada lado de la viga cajón inferior.



5. Lusitania, Mérida, 1988-1991

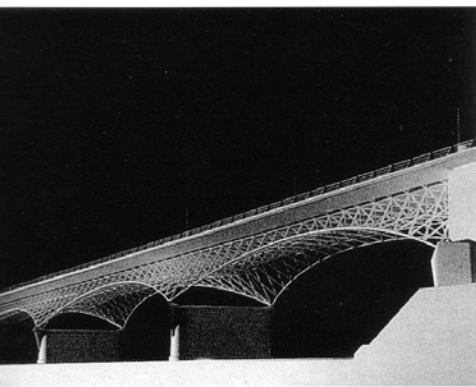
With a length of 465 meters and an arch span of 189 meters, this bridge possesses a regional scale. Situated some 600 meters downstream from a Roman bridge, its profile has been modulated so as to provide an harmonic contrast to the antique structure. The crossing is divided into three distinct parts: the tied arch from which the roadbed is suspended at mid-stream, and the two 144-meter pier-supported, box beam causeways linking back to the land on either side of the central span.

Calatrava has made an attempt to unify the three spans, by maintaining the continuity of the box girder spine throughout, together with

the cantilevered roadbeds that jointly constitute the transverse section of the bridge. As in almost all of Calatrava's bridges, each component is plastically inflected, both sculpturally and structurally, in relation to the overall system. In this instance a 5.5-meter-wide passerelle, elevated 1.5 meters above the roadbed, serves as a median strip for the divided highway. This walkway is cast integrally with the reinforced-concrete box section that is the spine of the structure. Braced by reinforced-concrete struts, two 7-meter roadbeds are cantilevered out from this spine on either side. Each element is articulated from its neighbour, so that space and light penetrate through the

fabric in such a way as to lighten the span and display the action of the structure.

One of the most brilliant and controversial aspects of this design is the tubular lattice sickle arch that spans between reinforced-concrete haunches. In this instance the arched concrete abutments carry some 29 meters each of the span on either side before receiving the 131-meter steel arch. This last is made up of a 5 meter by 2.5 meter (axis to axis) triangulated section in tubular steel, while the cables that support the main span fan out from the lower chord of the arch so as to permit pedestrian passage between them while gaining anchorage on either side of the box girders beneath.

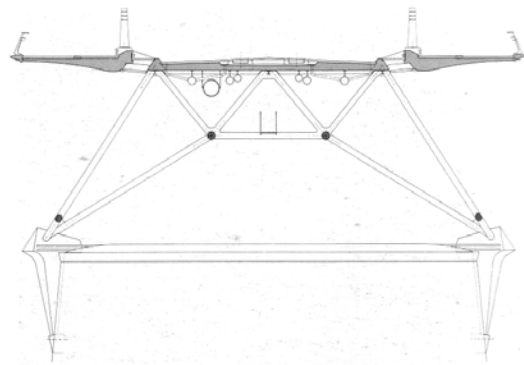


Wettstein, Basilea, 1988

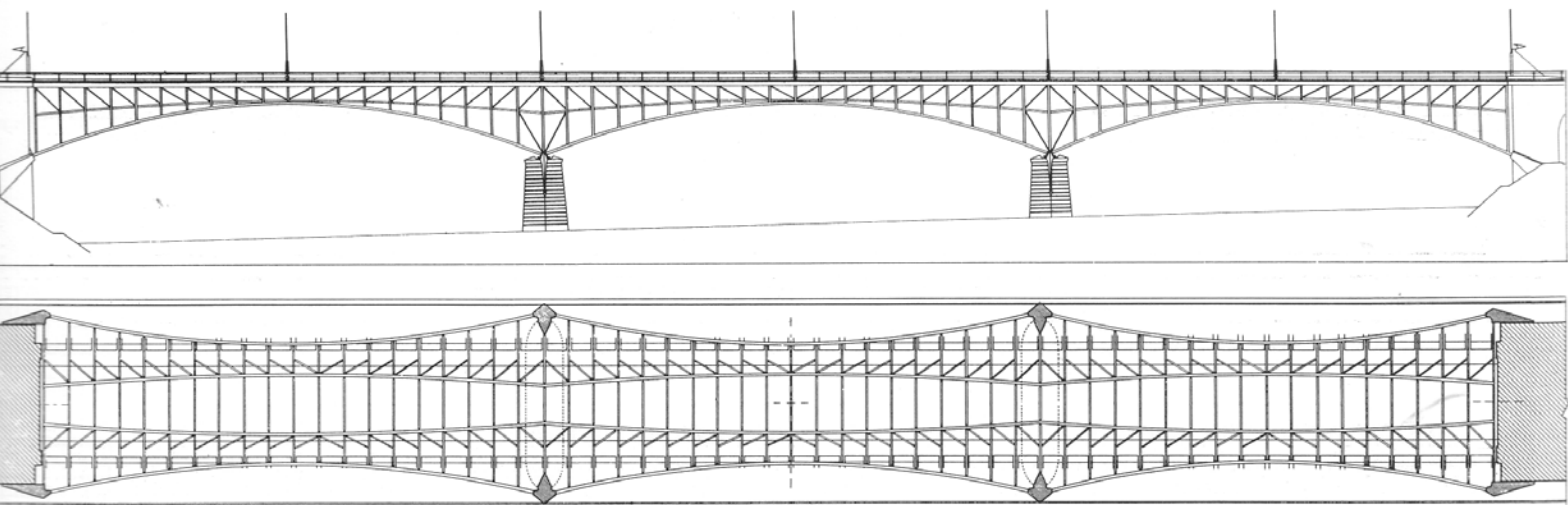
En su construcción mixta, Calatrava ha optado en ocasiones por simular un entramado de hierro del siglo XIX; así ocurre en su proyecto para el puente de Wettstein. De un paso de 199 metros y tres tramos, diseñada para apoyarse en dos machones existentes, simplifica la idea de Roland Barthes de una *répétition différente*, no sólo porque el puente asemeja a los entramados de la era del ferrocarril, sino también porque la estructura se apoya en los machones como los atletas en un momento de saltos. La sección transversal de la estructura superior descansa sobre los machones casi evitándolos, transmitiendo la carga en

el último momento, por decirlo así, incluso fuera de su coronación. Es precisamente esta genialidad estructural lo que parece haberle hecho perder el encargo, pues la perversidad de este anclaje provocó una gran controversia, concluida finalmente en contra mediante un referéndum. Aparte de la discutible decisión de empotrar las instalaciones en la calzada, este puente sufrió muchas modificaciones en el curso del debate público y tal vez esté excesivamente elaborado. Al colocar las cargas del puente fuera de las cabezas de los soportes, Calatrava respetaba el contexto existente al tiempo que reafirmaba su independencia.

Ésta no es la única forma en que el puente



simula y al tiempo niega la tradición, pues, aunque recuerda un entramado de hierro, es en realidad una malla espacial de canto variable. Es una invención tridimensional híbrida que tal vez podría definirse mejor como un 'seudarco'. Si bien el cordón inferior de esta estructura tubular soldada constituye de hecho un arco, éste es también parte integral de la *caja torácica* que soporta el puente. Y empleo deliberadamente el término 'caja torácica' porque aquí encontramos el recurso habitual de Calatrava a las analogías biológicas, un método que en parte proviene del racionalismo estructural de Antoni Gaudí, derivado a su vez de los escritos de Eugène Viollet-le-Duc.



Wettstein, Basle, 1988

A pesar de su predilección por la construcción mixta, Calatrava ha optado en ocasiones por simular un entramado de hierro del siglo XIX como se evoca, en su diseño para el puente de Wettstein. Este cruce de 199 metros en tres tramos, diseñado para descansar en dos pilares pre-existent, ejemplifica Roland Barthes's idea de una *répétition différente* no sólo porque el puente superficialmente parece la estructura del ferrocarril sino también porque la estructura se apoya en los pilares como un atleta en un momento de saltos. La sección transversal de la superestructura descansa sobre los pilares de tal manera que casi los evita, transmitiendo la carga en

being restrained at the last minute, as it were, just beyond the capping of the pierheads. It is just such structural wit that seems to have cost Calatrava the commission since the perversity of this bearing provoked a great deal of controversy, a debate that was finally settled through a public referendum. Aside from the debatable wisdom of casting services into the roadbed, this bridge underwent many modifications in the course of the debate and it may have become overworked. By planting the weight of his bridge just outside the existing pierheads Calatrava both respected the traditional context and asserted his independence.

This is not the only way in which the bridge

is both a simulation of tradition and a denial of it, for, while it superficially resembles iron trusswork, it is in fact a space-frame, of constantly varying depth. It is a three-dimensional hybrid invention that could perhaps be best characterized as a pseudo-arch. Although the lower cord of this welded tubular structure does in fact constitute an arch, this arch is also an integral part of the ribcage that carries the bridge. I employ the term 'ribcage' advisedly for here we encounter Calatrava's habitual recourse to biological analogies, a method that clearly derives from Antoni Gaudí's structural rationalism stemming in turn from the writings of Eugène Viollet-le-Duc.

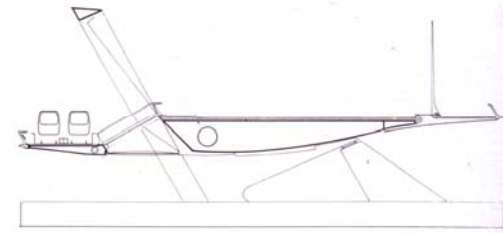


7. Gentil, París, 1988

Al contrario que la mayoría de los ingenieros que diseñan puentes de perfil bajo, Calatrava está tan interesado en el poco visible intradós estructural como en su apariencia en superficie, y a este respecto muestra un marcado interés tanto por la vista desde abajo como por su reflejo en el agua, donde la hay. La intención es exhibir el intradós como un trazado estructural y plásticamente activo, como en este proyecto para el puente de Gentil en París.

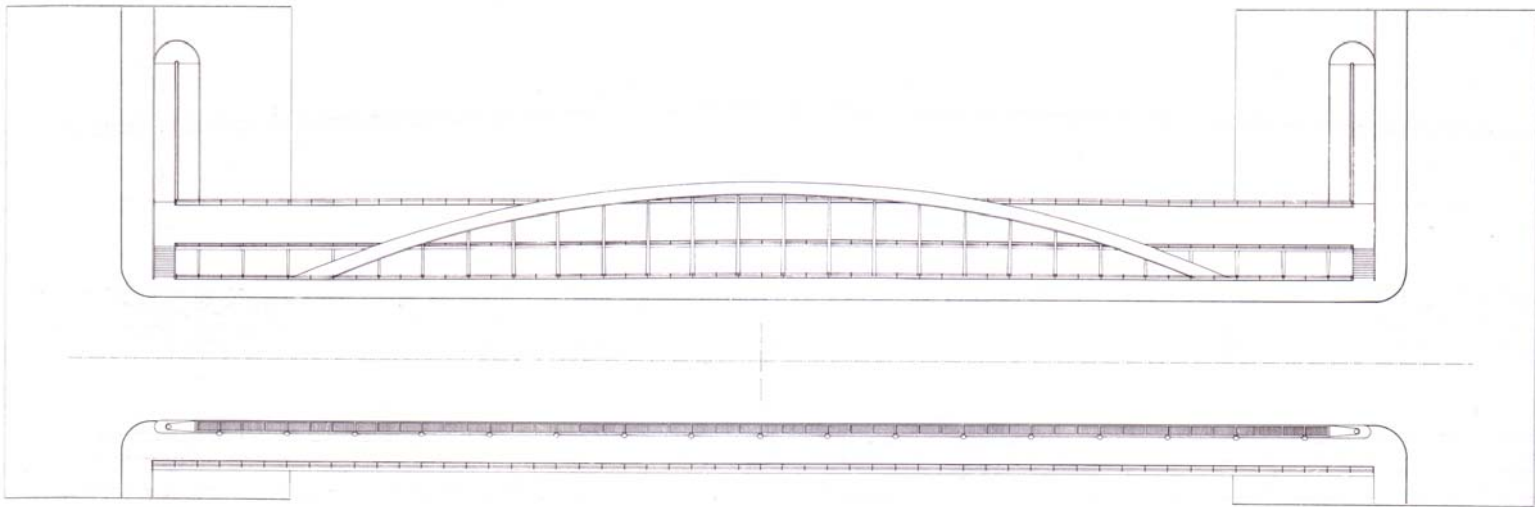
El carácter plástico de la plataforma de este puente aprovecha la fuerza del montaje a torsión, mientras la estructura adquiere resistencia inicial a torsión al estar plegada como un

avión de papel. A un lado del pliegue está la plataforma propiamente dicha, combada a lo largo, ahusada en sección y saliendo en voladizo de un gran tubo de acero que corre a lo largo del puente; al otro lado está el arco angular y falciforme que salva la luz. Éste a su vez está reforzado por tirantes de acero de sección triangular hueca integrados estructuralmente con nervios de sección similar y profundidad decreciente, que sirven para sustentar conjuntamente el peso de la plataforma. Estos nervios que soportan el voladizo, huecos los del arco y plegados los de la plataforma, tienen el mismo módulo y forman un tejido estructural continuo que corre desde el cordón superior del



arco hasta el borde exterior de la pasarela. El carácter estático del puente cambia en el punto en que el arco cruza la plataforma para descender hasta sus estribos, al pie de los muros laterales. Aquí el puente queda arriostrado por dos grandes machones situados junto a las orillas. La sección transversal de la plataforma desde aquí hasta los extremos se sustenta gracias a la propia rigidez de los nervios.

En la mayoría de sus puentes, Calatrava se esfuerza por dar a los distintos usuarios pasos a distintos niveles dentro de cada tramo; así en este caso el peso del voladizo queda parcialmente compensado por la doble vía férrea colgada detrás de la plataforma.



7. Gentil, París, 1988

Unlike most engineers engaged in designing low-rise bridges, Calatrava is as interested in the largely invisible structural soffit of the crossing as in its surface appearance, and in this regard he displays a marked interest in both the underview and its reflection in water where this is available. The aim is to render the soffit as a structurally and plastically active pattern, as in his competition entry for the Gentil Bridge in Paris.

The plasticity of the deck in the Gentil Bridge turns upon the strength of the assembly in torsion with the structure acquiring its initial torsional strength through being folded

like a paper aeroplane. On the one side of the fold there is the deck itself, cambered in length, tapered in section and cantilevered out from a large steel tube running the length of the bridge; on the other there is the angled, sickle-arch of the span. This in turn is reinforced by triangular box-sectioned steel hangers made structurally integral with similar sectioned ribs, of diminishing depth, which serve jointly to carry the weight of the deck. These box-sectioned arch ribs and the pleated deck ribs that jointly serve to carry the cantilever are on the same module and form a continuous structural fabric, running from the upper chord of the arch to the outer edge of the

sidewalk. The statical character of the bridge changes at the point at which the arch crosses the deck to descend to its abutments at the foot of the embankment. In this point the bridge is braced by two mega-pylons. Save for the longitudinal continuity of the tube and the rise of the span, the cross-section of the deck from here to the abutments is supported through its own ribbed stiffness.

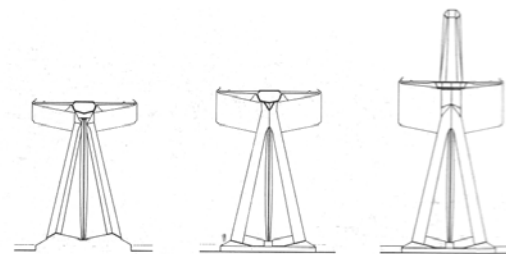
In most of Calatrava's bridges an effort is made to provide for different classes of users at different levels within the span, so that the weight of the cantilever is partially counterbalanced by twin railway lines hung off the back of the span.



East River Crossing, Londres, 1990

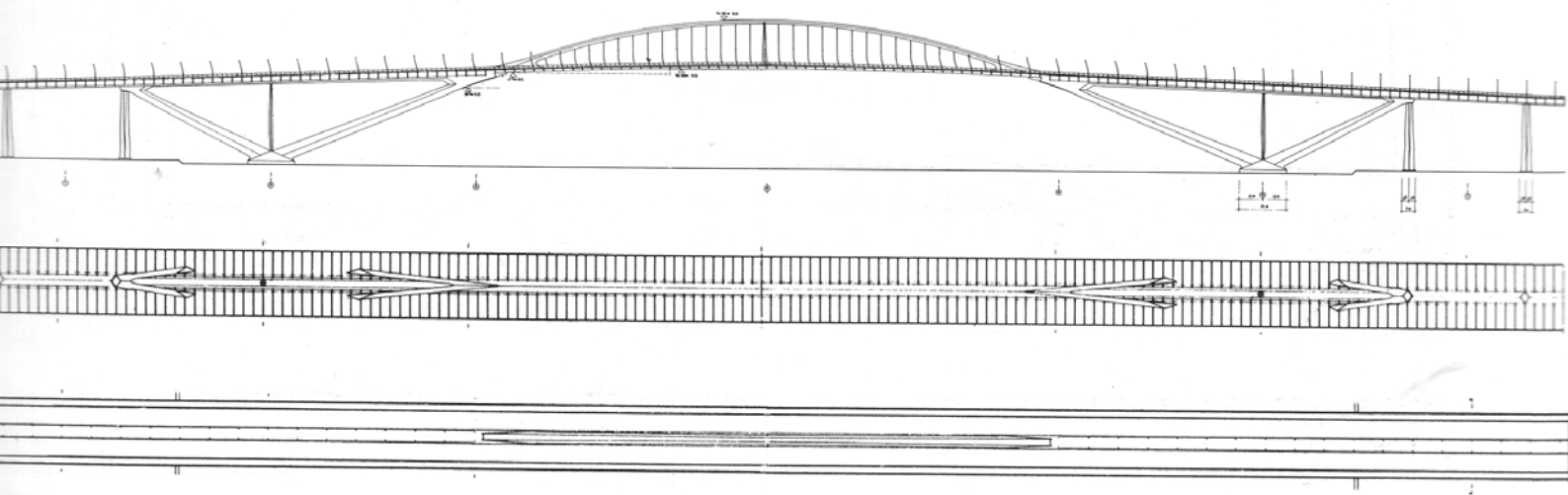
En sus 510 metros de envergadura, este puente es quizás el diseño más monumental de Calatrava. Dado que sólo habría requerido dos apoyos en el río, es de suponer que habría sido relativamente económico, lo que indica que la oposición a este proyecto se debió tanto al conservadurismo de la burocracia ingenieril como a la perenne insularidad británica. Llamó mucho la atención la forma de montaje y el método de ejecución propuestos; en concreto, llevar flotando el tramo central hasta su posición seguramente habría sido posible por su bajo centro de gravedad. La axonometría constructiva indica que el procedimiento

habría sido aproximadamente como sigue: primero se hundirían en el río cajones neumáticos a unos 40 metros de cada orilla; en estas cimentaciones se apoyarían después los estribos de hormigón armado; el siguiente paso sería construir la autopista elevada mediante apoyos metálicos desde los lados, con la plataforma de hormigón montada sobre nervaduras de acero en voladizo desde una viga cajón central; luego se habrían montado contrafuertes de acero en ángulo para recoger la viga de acero donde comienza la travesía, al tiempo que otros soportes de acero se inclinarían hacia el río para recibir los empujes del arco; sólo quedaría ya la construcción en otro lugar del arco de acero



de 200 metros y su transporte, flotando por el río, a la posición en que debía ser elevado.

Las técnicas de flotación y elevación propuestas están en deuda con algunos antecedentes como el viaducto de Saltash (1859), de Brunel, y el puente de Plougastel (1926), de Freyssinet, mientras que la secuencia lógica del procedimiento de erección nos remite al método empleado por Eiffel en el puente de Garabit (1884). Finalmente, es de destacar el ingenio de proporcionar los necesarios galibos tanto por encima como por debajo del tramo principal, para los aviones que aterrizan en el aeropuerto de Londres y para los barcos que entran en el estuario del Támesis.



East River Crossing, London, 1990

With its 510-meter span, this is perhaps the most monumental design Calatrava has provided to date. Given that the London bridge could have only required two supports in the middle of the river, we may also assume that it was a relatively economic, which prompts one to conclude that the official opposition to this project was as much due to the innate conservatism of the engineering bureaucracy as to the perennial insularity of the British.

A great deal of attention was devoted to the method of assembly and the erection method proposed, namely the floating of the central span into position would surely have been

feasible given its low center of gravity. Constructional axonometric indicates that the procedure would have been something as follows: first, caissons would have been sunk into the river some 40 meters off the bank on either side; abutments in reinforced concrete would then have been established on these foundations; the next step would have been to erect the elevated motorway on steel pylons from either side, the concrete deck being built out over steel ribs cantilevered from a central box girder; steel buttresses would then have been built out at an angle to pick up the steel girder as it began the crossing while other steel struts would angle out over the river to receive the

thrust of the arch; there would then remain only the off-site fabrication of the 200-meter steel arch and the floating of it into position and its raising to the level of the road.

The floating and raising techniques proposed evidently owe much to precedents such as Brunel's Saltash Viaduct of 1859 and Freyssinet's Plougastel Bridge of 1926 while the sequence of the erection procedure takes one back to the method employed in Eiffel's Pont Garabit of 1884. Finally one needs to note the typical ingenuity of providing the required clearances both above and below the main span, for planes landing at London Airport and for ships entering the Thames estuary.



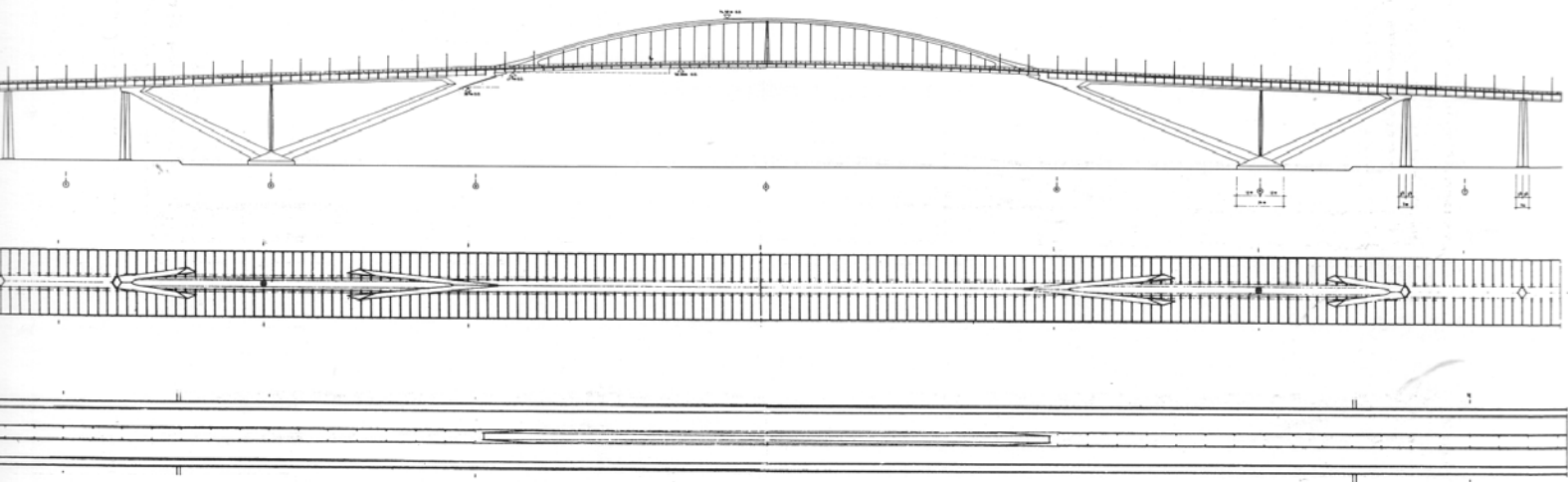
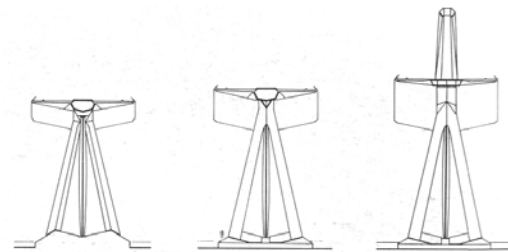
East River Crossing, Londres, 1990

Con sus 510 metros de envergadura, este puente es quizás el diseño más monumental de Calatrava. Dado que sólo habría requerido dos apoyos en el río, es de suponer que habría sido relativamente económico, lo que indica que la oposición a este proyecto se debió tanto al conservadurismo de la burocracia ingenieril como a la perenne insularidad británica. Llamó mucho la atención la forma de montaje y el método de ejecución propuestos; en concreto, llevar flotando el tramo central hasta su posición seguramente habría sido posible gracias a su bajo centro de gravedad. La axonometría constructiva indica que el procedimiento

habría sido aproximadamente como sigue: primero se hundirían en el río cajones neumáticos a unos 40 metros de cada orilla; en estas cimentaciones se apoyarían después los estribos de hormigón armado; el siguiente paso sería construir la autopista elevada mediante apoyos metálicos desde los lados, con la plataforma de hormigón montada sobre nervaduras de acero en voladizo desde una viga cajón central; luego se habrían montado contrafuertes de acero en ángulo para recoger la viga de acero donde comienza la travesía, al tiempo que otros soportes de acero se inclinarían hacia el río para recibir los empujes del arco; sólo quedaría ya la construcción en otro lugar del arco de acero

de 200 metros y su transporte, flotando por el río, a la posición en que debía ser elevado.

Las técnicas de flotación y elevación propuestas están en deuda con algunos antecedentes como el viaducto de Saltash (1859), de Brunel, y el puente de Plougastel (1926), de Freyssinet, mientras que la secuencia lógica del procedimiento de erección nos remite al método empleado por Eiffel en el puente de Garabit (1884). Finalmente, es de destacar el ingenio de proporcionar los necesarios gálibos tanto por encima como por debajo del tramo principal, para los aviones que aterrizan en el aeropuerto de Londres y para los barcos que entran en el estuario del Támesis.



East River Crossing, London, 1990

With its 510-meter span, this is perhaps the most monumental design Calatrava has produced to date. Given that the London bridge could have only required two supports in the middle of the river, we may also assume that it was also relatively economic, which prompts one to conclude that the official opposition to this project was as much due to the innate conservatism of the engineering bureaucracy as to the perennial insularity of the British.

A great deal of attention was devoted to the mode of assembly and the erection method proposed, namely the floating of the central span into position would surely have been

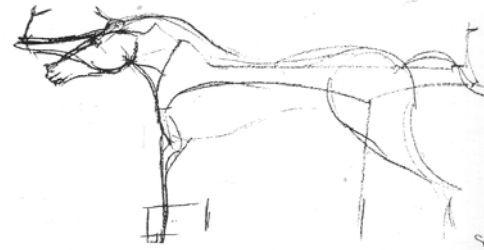
feasible given its low center of gravity. Constructional axonometric indicates that the procedure would have been something as follows: first, caissons would have been sunk into the river some 40 meters off the bank on either side; abutments in reinforced concrete would then have been established on these foundations; the next step would have been to erect the elevated motorway on steel pylons from either side, the concrete deck being built out over steel ribs cantilevered from a central box girder; steel buttresses would then have been built out at an angle to pick up the steel girder as it began the crossing while other steel struts would angle out over the river to receive the

thrust of the arch; there would then remain only the off-site fabrication of the 200-meter steel arch and the floating of it into position and its raising to the level of the road.

The floating and raising techniques proposed evidently owe much to precedents such as Brunel's Saltash Viaduct of 1859 and Freyssinet's Plougastel Bridge of 1926 while the sequence of the erection procedure takes one back to the method employed in Eiffel's Pont Garabit of 1884. Finally one needs to note the typical ingenuity of providing the required clearances both above and below the main span, for planes landing at London Airport and for ships entering the Thames estuary.

Croquis zoomórficos de los puentes de Austerlitz (París, 1988) y Nueve de Octubre (Valencia, 1986-1988).

Zoomorphic sketches for Austerlitz Bridge (Paris, 1988) and Nueve de Octubre Bridge (Valencia, 1986-1988).



La audacia de la imaginación

Obsesionado con una estética natural en la que se refuerza la superficie estructural —una fijación que puede compararse con la inspiración que Paxton encontraba en las hojas de los nenúfares—, Calatrava es un arquitecto-ingeniero que invariablemente diseña en sección y que articula y contrapesa sus componentes estructurales. Al contrario que Pier Luigi Nervi o Jean Prouvé, Calatrava suele combinar distintos materiales estructurales, creando construcciones híbridas en las que se explotan las propiedades inherentes de cada material. En este enfoque híbrido existe siempre la tendencia latente de que un material ceda su puesto a otro o sea sustituido por él. Es esta actitud la que permite a Calatrava articular los ligamentos que componen sus estructuras y orientarse hacia una especie de forma nervada osteomórfica en donde lo que de otro modo se plasmaría sólo como una estructura estáticamente equilibrada se convierte en una especie de movimiento detenido que parece estar a punto de

entrar en acción. Es este enfoque lo que liga a Calatrava con la arquitectura estructuralmente racionalista, mediterránea y panteísta del Modernismo catalán, y lo que sin duda ha provocado la objeción generalizada de que esté demasiado preocupado por el efecto escultórico-estructural como para ser un buen técnico.

El ingeniero Mark Whitby ha reflexionado así sobre ello: «cuando la civilización de este final del siglo XX acepte el uso revolucionario de los materiales, es probable que pueda juzgar mejor la calidad de la construcción por sí misma. Como ya apreciamos los ingenieros, la buena arquitectura volverá a surgir de la tensión creativa de las dos disciplinas en equilibrio: arquitectura e ingeniería. Esta situación, sin embargo, necesita ser fomentada. El ingeniero como anarquista silencioso ha hecho muy poco por explicar su papel en la construcción de edificios. El público y los estudiantes de ingeniería y arquitectura se quedan perplejos cuando alguien que no es arquitecto hace alguna contribución a la arquitectura, y como

consecuencia cualquier ingeniero que lo hace se expone a ser etiquetado como ingeniero arquitectónico, diseñador o incluso escultor».

Los ingenieros innovadores son tan escasos como los arquitectos creativos, y los *constructeurs* imaginativos al estilo de Perret son todavía más raros, por no mencionar a los diseñadores sensibles a los temas de la forma urbana. Y aunque hay muchos ingenieros de destreza excepcional, pocos poseen un nivel comparable de audacia imaginativa, pues vivimos en una época dominada por la instrumentalidad económica. La previsión para el futuro es que, como ha dicho Calatrava, «el arquitecto individual, como el médico de pueblo, desaparecerá». Cuando llegue ese momento, las ocasiones de realizar una construcción poética habrán terminado y ni siquiera los más rigurosos tecnócratas podrán remediar la infinita banalidad que se producirá como resultado.

Kenneth Frampton, arquitecto y crítico británico, enseña actualmente en la Universidad de Columbia, Nueva York.

The Daring of Imagination

Obsessed with a natural aesthetic in which the structural surface braces itself—a fixation that may be compared to the inspiration Joseph Paxton received from the structure of the giant waterlily leaf—Calatrava is an architect-engineer who invariably designs in section and who articulates and counterbraces his structural components against each other. Unlike Pier Luigi Nervi and Jean Prouvé, Calatrava tends to combine different structural materials, creating hybrid structures in which each material is exploited for its inherent properties. In such a hybrid approach there is always the latent tendency for one material to give place to another or to be substituted by another. It is this attitude that permits Calatrava to articulate the ligaments from which his structures are composed and always to drive towards a kind of osteomorphic rib-like form in which what would otherwise only be rendered as a statically balanced structure becomes animated as a kind of arrested move-

ment that always seems on the verge of breaking into action. It is this approach that links Calatrava back to the structurally rationalist, Mediterranean pantheistic architecture of the Catalan 'Modernismo' and it is this that has surely led to the general objection that he is too concerned with sculptural-structural effect to be a good engineer.

This had been recently reflected upon by the engineer Mark Whitby: "as the civilization of the late 20th century finally comes to terms with the revolutionary use of materials, it is probable that it will be better able to judge the quality of building for itself. As we engineers are experiencing, good architecture will again be born out of the creative tension of the two balanced disciplines of architecture and engineering. This situation, however, needs nurturing. The engineer as silent anarchist has done little to explain his role in the making of buildings. The public and students of engineering and architecture are bewildered by anybody other than an architect making a contribution

to architecture, with the consequences that an engineer who does is liable to be labelled as an architectural engineer, designer or even sculptor."

Innovative engineers are as rare as creative architects, and imaginative constructeurs in the Perret sense are even rarer, not to mention designers who are equally susceptible to the issues of urban form. And while there are many engineers of exceptional competence, few are possessed of comparable levels of imaginative daring, for we live in an age dominated by economic instrumentality. The prognosis for the future is that, as Calatrava has put it, "the individual architect, just as the village doctor, will go away". When this moment comes the chances of realizing a poetic structure will have come to an end and not even the most rigorous technocrat will be able to redress the endless banality that will ensue as a result.

Kenneth Frampton, a British historian and critic, currently teaches at Columbia University, New York.