

Puentes de Concreto de conjunto rígido

Traducción y dibujos: Ingo. GUSTAVO MESA A.

(Ponte en béton armé à assemblages rigides). La Technique des Travaux Revue mensuelle des procédés de construction modernes.—París.

Simplex veri sigillum. Divisa del médico
Tronchin, alumno de Boerhaave, siglo
XVIII.

Caracteriza a las formas elaboradas por la naturaleza la belleza, perfecta adaptación a su función dentro de la mayor simplicidad de medios, y una juiciosa economía de substancia.

Los ingenieros, imitadores de la naturaleza y utilizadores de sus leyes, construyen un poco al modo de ella. Se nota que sus obras, depurándose y adaptándose, progresivamente, terminan por alcanzar la irreductible perfección mecánica.

Entonces, y aun antes, tales obras propocionan un placer estético que en suma no es debido a otra cosa que a la perfecta adaptación de la cosa creada a su razón de ser. Conocedor de esta realidad, sir Walter Armstrong, director de la National Gallery de Dublín, para definir la belleza nos ha dado una fórmula lacónica y excelente: "Beauty is fitness expressed", lo cual literalmente significa "La belleza es la expresión de la aptitud" (La beauté est la convenance exprimée). Tal aptitud o idoneidad debe ser llamada adaptación perfecta. No se refiere únicamente a la justa medida del conjunto de fuerzas que se ha de equilibrar, sino a un profundo sentido de espontaneidad, distinción y gracia llamado a menudo sentido del constructor. Diciéndolo de otro modo, la idoneidad de que hablamos es resultante de la técnica y del sentido de las proporciones.

En construcción de puentes como en todas las ramas del arte de construir, se requiere de una larga iniciación para gustar del grado de perfección de una obra.

Construir un puente y sobre todo un puente de gran envergadura, es un trabajo serio. Es edificar por encima del vacío un camino de piedras, acero o concreto, rígido, durable, robusto. Es transformar en números dinámicos los pesados convoyes que la voluntad ensambla en el espacio; es dirigir tales números impetuosos en

una armadura de materia, la de mayor sencillez, ni muy fuerte, ni muy débil, económica, plástica, orgánica, vectorial. Es ordenar tales números, dar una razón de ser a los miembros de la armadura, y, sin saltos, sin olvidos, poco a poco, desviar y conducir a la invencible gravedad hasta tierra firme, hasta el reposo. Queda por fin la labor de ahogar en sí mismo los miedos inexplicables, ridículos, que no alcanzan siempre a calmarse con sabios cálculos científicos.

Pero, un puente es una obra de ciencia, de valor y de claridad: una obra que toda ella muestra la desnudez de la verdad, y la belleza que le conviene es la más sutil de todas las bellezas: la inmaterial belleza de las proporciones.

Siempre existe alguna expresión de belleza pues la inteligencia creadora, consciente o inconscientemente, se revela fatalmente en sus obras. Esta verdad se conoce desde ha mucho tiempo. Leonardo de Vinci la reveló en su tratado de pintura. Puede que haya sido conocida anteriormente. Es cuestión de gusto que por su complejidad poco puede razonarse acerca de ella, pero que el espíritu comprende sin uso de palabras por un proceso que poco tiene de científico. Mucho podría decirse sobre este asunto pero su ampliación únicamente podría llamarse disertación atractiva. Tengo en preparación una obra consagrada a la arquitectura y técnica de los puentes modernos.

Únicamente trataré aquí de las aplicaciones de la viga *Vierendeel* a la construcción de puentes de concreto reforzado, labor difícil si no se comprende, al mismo tiempo el aspecto de conjunto de construcción de puentes.

Desde hace tiempo considero la viga *Vierendeel* como el tipo de armadura más adecuado al uso de materiales monolíticos, vaciados, ribeteados o soldados, en la técnica de grandes armaduras. Hay que anotar la desconcertante simplicidad de su esqueleto estructural. Su cálculo es homogéneo, continuo, exacto. Sus nervaduras están sometidas a esfuerzos idénticos, salvo por supuesto en intensidad. La homogeneidad de los diversos elementos trae como resultante la cualidad plástica, cualidad de gran importancia. Se ha convenido en llamar o calificar de plástico a un material elaborado, cuando éste, tratado según sus cualidades propias, da la impresión de armoniosa continuidad despertando espontáneamente la idea de unidad.

Se dice por ejemplo, que el cuerpo humano es plástico. Todo lo que es esencial retiene su distintivo particular; y sin embargo todo se une sin solución de continuidad, con gracia llena de lógica.

Para hacer resaltar mejor lo plástico diremos que se aplica a aquello que no está compuesto, reunido, descosido. A las formas no plásticas corresponde la idea de esparcido, sin correlación entre sí. La belleza no puede nacer en una obra inadecuada.

De todos los puentes Vierendeel cuyos cálculos y planos me han sido confiados desde el fin de la guerra, el más apreciado por colegas autorizados es el puente de Bléharies sobre el Escalda, cerca de la frontera franco-belga. Fue construido en 1923, por la Société Générale d' Entreprises de Constructions, a la cual estaba vinculado en tal época.

Daré una breve descripción de él, no la marcha completa de los cálculos, cosa que conviene más a una obra especial. Se ha de consultar además el curso del profesor Vierendeel para encontrar expuesta en toda su extensión, la teoría de sus vigas. El puente de Bléharies es un puente de doble vía que mide 41.10 mts. entre extremos de costillaje. Estos están separados entre ejes 6 mts. La calzada está constituida por baldosines de 15 cms. de espesor, dispuestos sobre 15 cms. de arena. Entre bordillos hay 5.15 mts. Las aceras son voladizas, miden 1.325 m. del eje de la barandilla al eje del costillaje. Cada tablero está compuesto por una baldosa de 10 cms. y tres viguetas longitudinales. Hay vigas transversales correspondientes a los montantes cada 4.35 mts.

Los costillajes son del tipo Vierendeel en cuerda de arco (*Bowstring*). El arco es una parábola de 2º grado de 5.76 mts. de flecha y 37.60 mts. de cuerda. Las bridas, superior e inferior, tienen una sección de 45×55 cms. y los montantes 45×40 cms. Las fatigas máximas de compresión alcanzan a 55 kgs./cm.² en las bridas superiores. Las fatigas máximas de tracción alcanzan a 1.185 kgs./cm.² en los montantes y a 1.125 kgs./cm.² en las bridas inferiores.

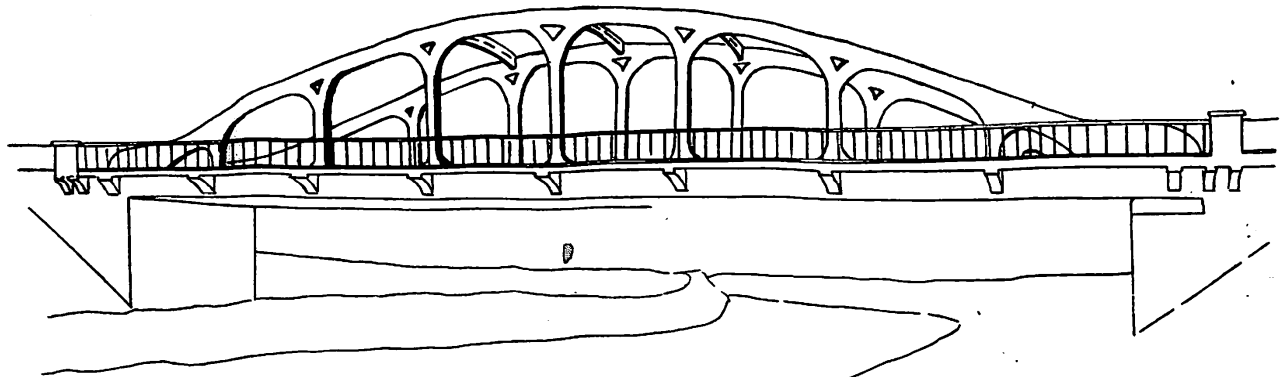
El concreto fue dosificado a razón de 400 kgs./m³ de cemento Portland ordinario y las cargas de prueba corresponden a una sobrecarga uniforme sobre las aceras y a camiones de 18 toneladas en doble fila sobre las calzadas.

Enumero tales cifras para que se pueda obtener una idea exacta de las proporciones de la obra.

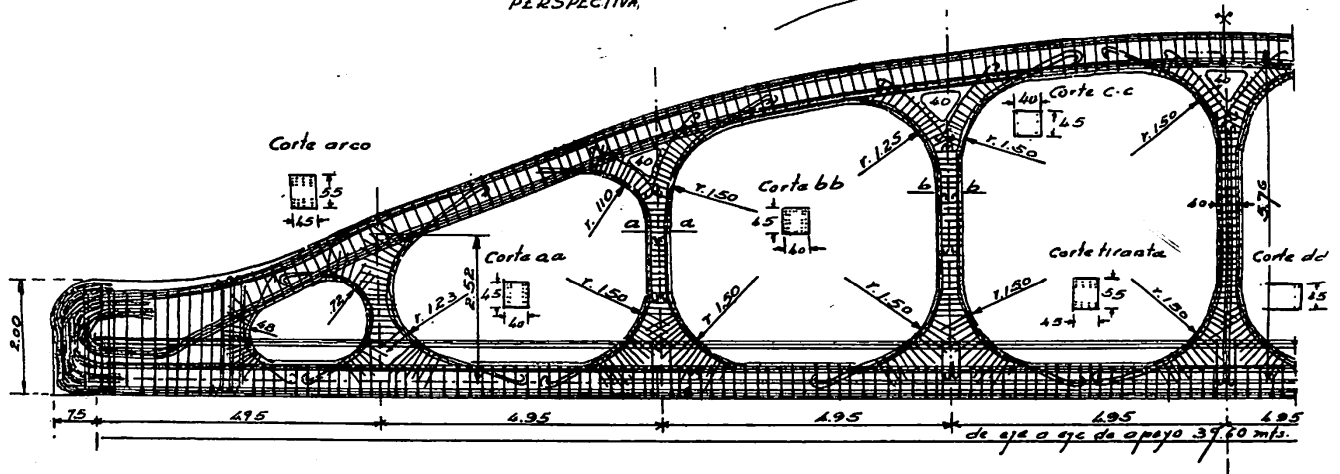
Los dibujos anexos muestran hasta dónde han sido aplicadas las consideraciones precedentes. Mejor que con palabras, ellos detallan el puente.

El secreto de la ligereza del puente de Bléharies reside principalmente en la feliz relación entre flecha y luz. Tal relación es de 1 a 6.87, y a ella se debe la esbeltez de los montantes, causa del aspecto aéreo del conjunto.

PUENTE DE BLEHARIES SOBRE EL ESCALDA

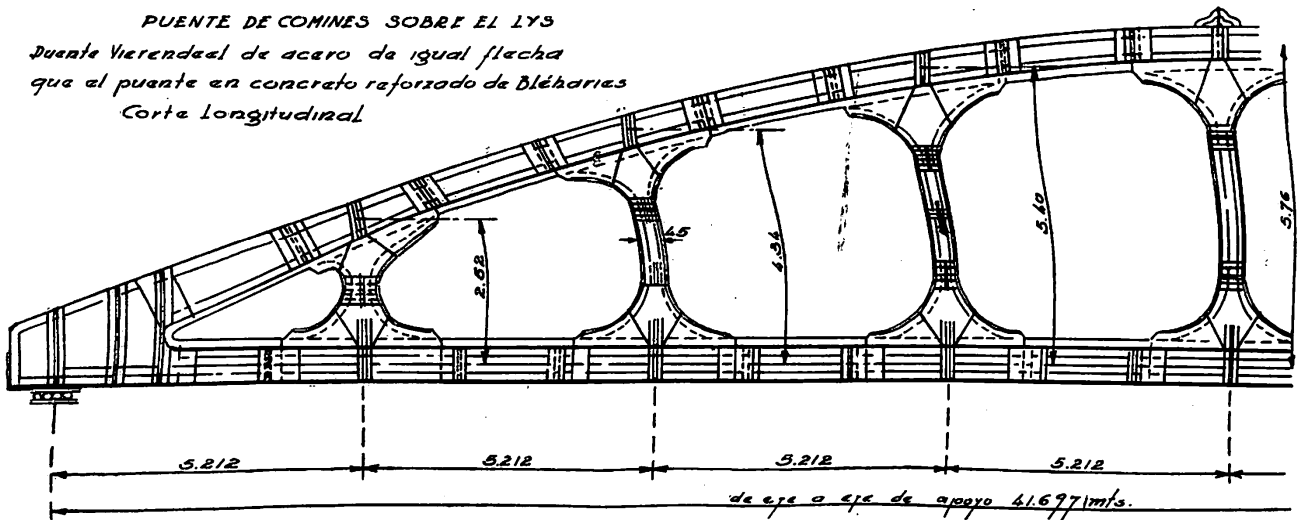


PERSPECTIVA



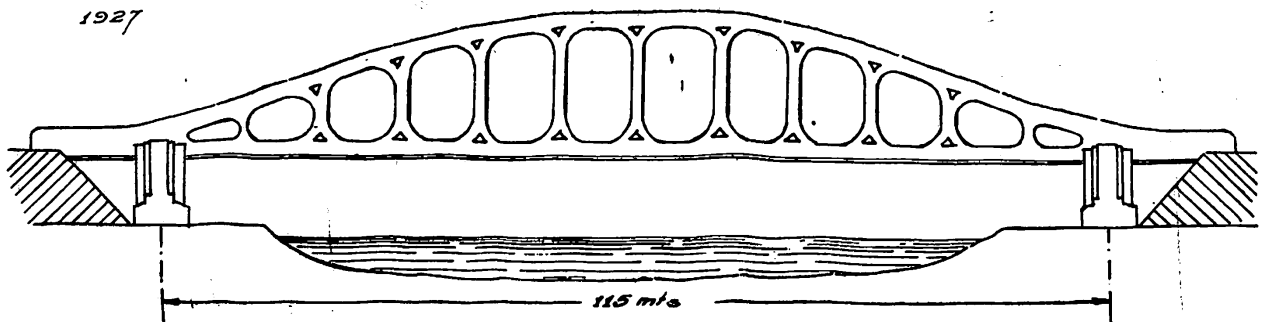
CORTE LONGITUDINAL

PUENTE DE COMINES SOBRE EL LYS
 Puente Viaducto de acero de igual flecha
 que el puente en concreto reforzado de Bleharies
 Corte longitudinal



Dib. G. Hesa A

PUENTE DE FERROCARRIL
 1927



Si se realza el arco, el costillaje muestra debilidad. Si se lo baja, muestra pesantez viéndose rechonchos los montantes a pesar de conservarse las secciones. La relación 1 : 6.87 no es una relación económica obtenida con la ayuda de una fórmula empírica. Es simplemente una relación sentimental.

Parece que tal proporción pueda aplicarse a numerosos puentes: pero no debemos olvidar que son las condiciones peculiares del problema las que consagran las formas de una obra y que el gusto es quien decide en última instancia y no una cifra.

Otros factores deben tomarse en cuenta para obtener un puente elegante. Por ejemplo, el concreto reforzado exige formas que le sean convenientes, ligeras de aspecto; porque ello está en su naturaleza estructural. Por otra parte, la barandilla debe jugar un papel muy discreto, de segundo plano.

En el puente de Bléharies, la barandilla es tan ligera que podría llamarse filigrana, lo cual da visibilidad y realza la plasticidad del costillaje.

El mero hecho de asegurar la barandilla en columnitas de concreto bastaría a dar pesantez al conjunto de la obra y a romper su ritmo. Ya he pasado por tan deplorable experiencia. Nada podría mejorar más el conjunto sino la barandilla que, como parte accesoria, se retire, se esfume delante de lo esencial que es el puente. Ante todo, se trata de construir un puente y luego de ponerle barandilla a las aceras.

Otra concepción constructiva que también he experimentado y que perjudica el aspecto de un puente consiste en dejar sobresalir los estribos escondiendo las extremidades de los costillajes. Tal arreglo hace el efecto de un par de tijeras, se rompe la esbeltez de la armadura. El puente se achica. Los estribos del puente de Bléharies existían y soportaban antes de la guerra un puente metálico. Fueron adaptados a bajo costo al nuevo puente y no tienen ningún valor estético.

El principio generador del procedimiento Vierendeel se materializa en un elemento constructor nuevo, el montante ampliado en sus extremos. Tal montante es el elemento orgánico por excelencia. Por establecer la solidaridad entre las bridas, da a los costillajes la originalidad de ser vaciados de una pieza y de ser concebidos de una vez.

La forma del montante está determinada por los esfuerzos que lo solicitan. Actualmente, todo el mundo sabe que la teoría de los costillajes Vierendeel indica que sobre cada montante existe un

punto de inflexión de momentos situado aproximadamente en su centro.

Mentalmente, podemos descomponer el costillaje en dos tramos que, en virtud de la semejanza de efectos, se equilibran. De modo que, en el punto de inflexión de cada montante obran simultáneamente una fuerza horizontal y una vertical y nada más. Esta provoca una tensión simple en el eje de la pieza, aquélla un esfuerzo cortante y un momento flexor cuyo máximo se produce en el punto de empotramiento de las bridas.

Bajo la acción de sobrecargas parciales se producen esfuerzos cortantes máximos sobre los montantes; al menos en los proyectados en cuerda de arco. En este tipo, el peso muerto y la sobrecarga uniforme completa, no desarrollan sino esfuerzos directos en los diversos elementos. Esta es la razón de ser del éxito de este tipo de obra.

Desde el punto de vista puramente técnico, la forma más racional de empatar los montantes Vierendeel es la de darlas contorno redondeado. Bajo el efecto del momento flexor provocado por el esfuerzo transversal, un lado del nudo queda sometido a tensión y el otro a compresión. Se proveen y calculan estribos para reunir las armaduras tensionadas en la curva y darles mejor adhesión. Tales cálculos se encuentran en el tomo IV del curso de estabilidad de M. Vierendeel.

Los empates pueden ser llenos o ahuecados. En el puente de Bléharies, se les ha ahuecado para ponerlos a tono con la ligereza de los demás miembros de la armadura, pues para que la gracia reine en tales nudos ahuecados, conviene darle al trazado de los dos brazos del montante la amplitud requerida para que la apariencia de los huecos no sea mezquina. Los tales brazos deben conservar las dimensiones del montante mismo pues de otro modo parecerá éste hendido y debilitado en vez de parecer reforzado.

Nuevas perspectivas.—El puente de Bléharies fue construido con cemento Portland ordinario. Tiene 40 mts. de luz. La esbeltez es la característica esencial de un puente. A este respecto, el metal presenta ventajas en relación al concreto reforzado. Sin embargo, no se puede decir que el puente de Bléharies sea de aspecto más pesado que el de un puente de acero de igual luz.

Comparemos, en efecto, la figura 2 con la figura 3. Esta representa el corte longitudinal del costillaje de un puente construido en Comines, sobre el Lys por M. Vierendeel mismo. La luz, sobrecargas y anchura de las dos obras son sensiblemente comparables. Además los costillajes tienen la misma altura (5.76 mts.).

Esbeltez, masa y ligereza de aspecto constituyen el ideal en construcción de puentes. Ideal realizable con el concreto reforzado para grandes luces, gracias al descubrimiento de cementos de alta resistencia.

En 1927, en colaboración con el profesor Vierendeel, hice por cuenta de la Société Internationale des Piaux Franki, el estudio y diseño de un puente de ferrocarril de una vía, de 115 mts. de luz entre ejes, de apoyo. El costillaje del tipo de cuerda de arco, de una longitud total de 145 mts. La figura 3 representa el perfil del puente que es tan puro y elegante como el de Bléharies. Tiene cualidades de unidad, el sentido de unidad de conjunto, como dicen los artistas de nuestro tiempo.

Comparado al puente de Bléharies, tiene 12 paneles en vez de 8 y una flecha de 1 en vez de 1 de la luz.

7.35

6.87

Sus bridas superiores miden 1.70×0.70 ; sus bridas inferiores 1.50×0.70 y sus montantes 1.05×0.70 mts. La sobrecarga de cálculo fue de 3.650 kgs. por metro de vía. Transversalmente, los costillajes distan 6.60 mts. libres. Entre cordones hay 4 mts. Prescindiendo de los estribos, el espesor medio del concreto reforzado es de 0.965 mts. sobre la superficie vista en plano del puente. En el de Bléharies, tal espesor no es sino 0.36 mts. La resistencia prevista debería ser a los 28 días 450 kgs./cm.². A pesar de que las proporciones del puente sean diferentes de las del de Bléharies, el aspecto no es menos satisfactorio.

No deja de ser interesante agregar que, según cálculos, he hallado que las proporciones de los costillajes de Bléharies pueden aplicarse, mediando el empleo de cemento de alta resistencia, a un puente de carretera de 100 mts. de luz. La calzada tendría igual sobrecarga, igual ancho entre cordones, pero el pavimento de adoquines se reemplazaría por un macadam asfáltico de impregnación de 14 cms. En ambos puentes, las aceras serían iguales.

Simplicidad, claridad, medida, plástica del puente Vierendeel, perfecta adaptación de la obra al problema propuesto, posibilidad de grandes luces, son las características que he tratado de hacer resaltar en este estudio. Además, la técnica Vierendeel es bastante elocuente para apasionar el alma de los constructores.

EMILE BALIS

Ingeniero Consultor

“Tout ce qui n'est pas essentiel est étranger à l'art”. Aug. Rodin