

# El puente Maximiliano del ferrocarril mexicano. Diseños preliminares para el puente de Metlac

Fecha de recepción: 31 de julio de 2018

Fecha de aceptación: 25 de septiembre de 2018

El diseño del puente de Metlac en el recorrido del ferrocarril mexicano —construido entre 1837 y 1873— era un reto para los ingenieros, pues había que cruzar una barranca que, al cruzarla en línea recta, tiene una latitud de 275 m y 115 m de profundidad, en un ambiente tropical y accidentado. La búsqueda de soluciones originó una discusión profesional sobre el mejor tipo de construcción, que involucró a ingenieros mexicanos, franceses, estadounidenses y británicos. La presentación de estructuras factibles se inició durante la Intervención francesa (1862-1863), continuó durante el Imperio de Maximiliano (1864-1867) y terminó una vez establecido el régimen republicano restaurado de Benito Juárez, quien por desgracia falleció poco antes de la inauguración de este puente: el último enlace que completaba el ferrocarril mexicano. Partiendo de una propuesta de 1866, aquí se presentan y discuten las ideas y propuestas de los ingenieros involucrados en el proyecto, todos ellos observados con curiosidad por expertos internacionales.

*Palabras clave:* puentes de hierro, ferrocarril, ingenieros, siglo XIX, México.

The design and construction of the Metlac Bridge on the Mexican Railway route (built between 1837 and 1873) was a challenge for the engineers involved, since it was necessary to cross a ravine with a latitude of 275 m and 115 m of depth in a straight line in the midst of rugged tropical terrain. The search for possible solutions to the problem led to an extensive professional discussion on the best structural design and type of construction. Mexican and French engineers, as well as those from the United States and Great Britain were involved. The presentation of feasible structures began at the time of the French intervention (1862–1863), continued during Maximilian's empire (1864–1867), and finally ended after the Restored Republic, established by Benito Juárez who died shortly before the inauguration of the Metlac Bridge as the last missing link on the Mexican Railway. Starting from the initial design first made in 1866 this essay presents and discusses the many ideas and proposals of the engineers involved in the project, all of them observed with curiosity by international experts.

*Keywords:* iron bridges, railway, engineers, 19th century, Mexico.

El trayecto más difícil e impresionante del ferrocarril mexicano —Ferrocarri-  
les Nacionales de México, construido entre 1837 y 1873— parte de la orilla del  
mar y llega, después de recorrer 203 km, al Altiplano, salvando 2433 m de al-  
tura. Se construyó principalmente entre 1858 y 1873, y requirió de 39 puen-  
tes y 16 túneles bajo condiciones que precisaban soluciones audaces en un  
paisaje difícil de dominar, pero a la vez —único consuelo para los constructores— de una  
belleza natural excepcional. La construcción de estos puentes y túneles representa el lega-  
do de los ingenieros que diseñaron el trayecto y demuestra la cooperación internacional, ya  
que discutieron sus ideas entre ellos, manifestándolas en cartas, diarios e informes. Ambas

\* Deutsches Museum, Múnich, Alemania.

---

características, la audacia de las construcciones y lo pintoresco del paisaje han inspirado asimismo a artistas y pintores a realizar obras destacadas.<sup>1</sup>

El puente más audaz y más comentado en el ámbito de los ingenieros civiles de la época se ubica en la barranca del río Metlac, entre los km 115.69 y 121.69, que era el obstáculo más complejo que había que atravesar en todo el trayecto: cruzándolo en línea recta, el valle tiene una latitud de 275 m y 115 m de profundidad; un verdadero reto para los ingenieros. La presentación de estructuras factibles se inició en la época de la Intervención francesa (1862-1863), siguió durante el Imperio de Maximiliano I (1864-1867) —que será el enfoque de este ensayo— y terminó una vez establecido el régimen republicano restaurado de Benito Juárez.

El puente de Metlac se encuentra hoy entre las estaciones de Balastlera y el Sumidero, un tramo de ferrocarril que desde 1982 está fuera de servicio. El camino nuevo se separa del antiguo poco antes de llegar al pueblo de Sumidero, donde, pasando una curva, se abre la barranca de Metlac, ahora atravesado por un puente recto y gigantesco. Antiguamente allí se iniciaba la parte más interesante y pintoresca de la ruta hasta llegar a Fortín (km 114.6), donde la vía histórica se vuelve a juntar con la moderna.

### **El ferrocarril mexicano en tiempos de la llegada de Maximiliano I**

La construcción del camino ferrocarrilero se forzó a partir de 1863, en especial debido a las exigencias militares<sup>2</sup> durante la invasión francesa que desembocó en la instalación del Imperio de Maximiliano I. De modo que el 15 de agosto de 1863 se pudo inaugurar el pri-

mer tramo del ferrocarril mexicano, que llegó hasta la estación de La Soledad, mientras que el puente de La Soledad se entregó al tráfico casi un año más tarde, el 3 de mayo de 1864, pocas semanas antes de la llegada de Maximiliano (1832-1867) a Veracruz, el 29 de mayo. En la inauguración del puente de La Soledad estaban presentes tanto los ingenieros estadounidenses como los franceses, pues ambos estaban encargados de la construcción.<sup>3</sup> El 16 de octubre de 1864 se pusieron oficialmente en servicio los 62 km de ferrocarril entre el puerto de Veracruz y Camarón.<sup>4</sup>

Cuando aún residía en Miramar, el futuro emperador Maximiliano ya le daba gran importancia al proyecto del ferrocarril mexicano, que naturalmente se llamaría “Ferrocarril Imperial” durante su regencia, de manera que a finales de 1863 se puso en contacto con los empresarios mexicanos Escandón, quienes estaban en Londres, para apoyar su búsqueda de un contratista británico. En una de sus cartas, Maximiliano opina que “sin ferrocarril de México a Veracruz la ciudad de México no será una verdadera capital”.<sup>5</sup>

Durante el Imperio de Maximiliano I la concesión para la construcción del ferrocarril pasó a manos de la Compañía Limitada de Ferrocarril Imperial Mexicano, que en junio de 1867 terminó de construir el tramo de 76 km que partía del puerto de Veracruz hasta Paso del Macho, así como el tramo de la Villa de Guadalupe, que se podía prolongar hasta Apizaco, llegando a 139 km totales. Además se habían adelantado los trabajos en terraplenes por ambos extremos, preparando la construcción de las vías restantes.

### **Los ingenieros ante la globalización emergente**

La fase decisiva de la construcción del ferrocarril mexicano se inició unos años antes de la Interven-

<sup>1</sup> Dirk Bühler, “La construcción del ferrocarril mexicano (1837-1873), arte e ingeniería”, *Boletín de Monumentos Históricos*, 3ª época, núm. 18, enero-abril de 2010, pp. 78-95.

<sup>2</sup> John Gresham Chapman, *La construcción del ferrocarril mexicano*, México, SEP (SepSetentas, 209), 1975, pp. 88-92.

<sup>3</sup> D. Bühler, *op. cit.*, p. 82.

<sup>4</sup> J. G. Chapman, *op. cit.*, pp. 96.

<sup>5</sup> *Ibidem*, pp. 86-87.

ción francesa, cuando, en diciembre de 1857, el empresario Antonio Escandón contrató al estadounidense Andrew Talcott (1797-1890) para ejecutar un levantamiento topográfico de la posible ruta sur que pasaría por Orizaba, mientras que la ruta del norte, pasando por Jalapa, había sido estudiada con antelación por el ingeniero mexicano don Pascual Almazón.

Talcott había estudiado entre 1815 y 1818 en la academia militar de West Point, en Nueva York, donde se graduó como ingeniero militar. En 1824 participó en la construcción de Fort Adams, Rhode Island. Se convirtió en un hombre prestigioso cuando refinó el método para determinar la latitud del astrónomo danés Peder Horrebow (1679-1764). Trabajó como ingeniero supervisor en la construcción de los Hampton Roads, en Fort Calhoun y Fort Monroe. Hizo el levantamiento topográfico de la frontera entre Ohio y Michigan en 1835 y del estuario del Misisipi en 1839. Era supervisor del Richmond and Danville Railroad en 1849 e ingeniero del Ohio and Mississippi Railroad antes de viajar a México.

Talcott arribó a Veracruz el 4 de enero de 1858. Trabajó con tres asistentes personales<sup>6</sup> y además tenía una brigada de trabajo bajo la dirección de M. Evory Lions y otra bajo la de Robert B. Gorsuch. Al cumplir su contrato con los Escandón, en 1859 estaba de regreso en Estados Unidos. Volvió a México en 1862, donde trabajó hasta 1867 junto con tres de sus hijos.

Durante la invasión francesa y el Imperio de Maximiliano trabajaron también ingenieros franceses como Charles de Sansac<sup>7</sup> en la construcción del ferrocarril. Sin embargo, en la nómina de los Escandón también se encontró a un alemán, nacionalizado estadounidense en 1852: Sebastian Wimmer, autor del puente que lleva su nombre. Maximiliano lo en-

contró en Maltrata el 29 de abril 1865 durante una de las visitas que hizo a la obra y lo comprometió como guía y traductor para su esposa Carlota durante su viaje.<sup>8</sup> Desafortunadamente aún no sabemos mucho sobre la vida de estos ingenieros; de Sebastian Wimmer sólo tenemos algunos datos biográficos,<sup>9</sup> y sabemos que escribió un diario, citado por Low<sup>10</sup>, si bien aún no se ha encontrado el original completo.

Con William Lloyd (1822-1905), autor del plano para el puente Maximiliano, en 1864 se sumó un ingeniero británico al equipo multinacional para la construcción del ferrocarril. En 1838, a los 16 años edad, Lloyd entró a trabajar en la empresa del ingeniero y escritor Joseph Gibbs (1798-1864), en Londres, con un contrato de cuatro años como aprendiz de ingeniería. Trabajó en obras de ferrocarril en Francia de 1842 a 1843, y en la oficina de Robert Stevenson entre 1843 y 1848. Los hermanos Stephenson, Thomas Baring y otros miembros de la poderosa Institution of Civil Engineers (ICE) en Londres lo propusieron en 1863 como *chief engineer* en el gobierno de Chile. En 1864 recibió la medalla de oro del ICE y la medalla Telford por su trabajo para el ferrocarril chileno. En el mismo año se trasladó a México, esta vez sin su familia, que aún lo acompañaba en su viaje a Chile, y se reunió con Talcott en Córdoba, Veracruz. Describió la barranca de Metlac y dijo que el viaducto tenía que ser casi tan alto como la catedral de St. Paul de Londres.<sup>11</sup> En noviembre de 1864 se reunió por primera vez con el emperador Maximiliano I, quien había llegado apenas cinco meses atrás. No obstante, en la descripción de sus memorias no hizo referencia al

<sup>8</sup> Emile Low, "A Review of the Report of Andrew Talcott...", en *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, paper 1371, núm. LXXX, diciembre de 1916, p. 1605.

<sup>9</sup> D. Bühler, *op. cit.*, p. 88.

<sup>10</sup> E. Low, *op. cit.*, pp. 1605-1607.

<sup>11</sup> William Lloyd, *A Railway Pioneer: Notes by a Civil Engineer in Europe and America from 1838 to 1888*, Londres, Baines & Scarsbrook, 1900, p. 97.

<sup>6</sup> Francisco Garma Franco, *Railroads in Mexico —An Illustrated History—*, vol. I, Denver, Sundance Books, 1985, p. 27.

<sup>7</sup> D. Bühler, *op. cit.*, p. 82.

puente que proyectó, sino que tan sólo se refirió a la puesta de la piedra fundamental<sup>12</sup> del puente tubular propuesto por Fairbairn, que finalmente no se construyó a causa del temblor. Al haber cumplido su misión en México, trabajó de nuevo en Chile, Argentina y California antes de volver en definitiva a Gran Bretaña en 1888.

Hay que considerar que en el mismo año de la llegada de Andrew Talcott a México también lo hizo un italiano, Francisco Javier Cavallari (1809-1896), para ocupar en 1857 el puesto como director de Arquitectura de la Academia de San Carlos. Allí instaló la nueva carrera de ingeniero civil, al lado de la ya existente de arquitectura, y reorganizó los planes de estudio de ambas profesiones.<sup>13</sup> La carrera de ingeniero civil duraba seis años y contemplaba clases de construcción de “camino comunes y de fierro”.<sup>14</sup> Cavallari había traído material de estudio de Italia, pero siguió comprando libros de ingeniería como los de Belidor (*Arquitectura hidráulica*), Viollet le Duc (*Diccionario razonado de arquitectura*), Rondelet (*El arte de construir*) y el famoso libro de Perronet (...*sobre el puente de Neuilly*), que encargó en París, los cuales llegaron en febrero de 1859.<sup>15</sup> Para crear material didáctico adicional, también consiguió un plano del ferrocarril “de Veracruz” que encargó copiar minuciosamente a cuatro de sus alumnos como ejercicio.<sup>16</sup> El primer examen profesional con un “proyecto de una línea de fierro” lo solicitó Ramón de Ibarrola el 13 de febrero de 1862.<sup>17</sup> Siguió muchos exámenes más que se enfocaron en el tema ferrocarrilero, el cual era muy

solicitado. Aún no se ha podido estudiar de manera suficiente quiénes de los egresados de la carrera de ingeniería civil se incorporaron al equipo ferrocarrilero republicano e imperial.

Estas corrientes nuevas tanto en la educación de los ingenieros civiles<sup>18</sup> como en la contratación de equipos integrados por especialistas de diferentes países para el diseño y la construcción del ferrocarril, fueron tan sólo un preludeo que marcó el inicio de la primera época de globalización: estos ingenieros no sólo formaron sus propias redes de intercambio profesional e información técnica en un mundo siempre mejor comunicado, sino que fueron precursores, mejor dicho pioneros, de una “época que se caracterizó por la revolución de los medios de transporte y de comunicación”, la cual se extendió como la primera globalización en la economía mundial a partir de 1870, hasta la Gran Depresión iniciada en 1929.<sup>19</sup> De modo que no eran sólo los comerciantes, banqueros y empresarios quienes formaban parte de este movimiento, sino, sobre todo, los ingenieros, que con sus obras en esta fase inicial abrieron el camino hacia un nuevo sistema económico mundial.<sup>20</sup>

### **El puente Maximiliano: la propuesta del ingeniero Lloyd**

Un diseño espectacular y sin precedentes en la construcción del puente de Metlac surgió en 1865, promovido por el ingeniero William Lloyd, quien se encargó de la construcción del ferrocarril mexicano en 1864, en plena época del Segundo Imperio de Maximiliano I en México. Aunque este diseño nunca llegó a realizarse, vale la pena enfocar tanto al inventor como al diseño innovador de la propuesta.

<sup>12</sup> *Ibidem*, p. 114.

<sup>13</sup> Leopoldo Rodríguez Morales, *El campo del constructor en el siglo XIX*, México, INAH, 2012, p. 219.

<sup>14</sup> Manuel Francisco Álvarez, *El Dr. Cavallari y la carrera de ingeniería civil en México*, México, A. Carranza y Comp. Impresores, 1906, p. 11.

<sup>15</sup> Eduardo Báez Macías, *Guía del Archivo de la Antigua Academia de San Carlos*, México, IIE-UNAM, 1976, pp. 189-190.

<sup>16</sup> M. F. Álvarez, *op. cit.*, p. 26.

<sup>17</sup> E. Báez Macías, *op. cit.*, p. 169.

<sup>18</sup> L. Rodríguez Morales, *op. cit.*

<sup>19</sup> Sandra Kuntz-Ficker y Reinhard Liehr (eds.), *Estudios sobre la historia económica de México*, México, El Colegio de México, 2014, pp. 7-8.

<sup>20</sup> *Ibidem*, p. 17.

Hasta la fecha tenemos tres referencias del diseño de William Lloyd para el puente de Metlac: la primera y más importante es un plano acotado de 62 × 90 cm de extensión, dibujado a una escala de 40 pies por 1 pulgada (correspondiente a 1:480 m), la cual se guarda en el archivo del ferrocarril en Puebla.<sup>21</sup> En la esquina inferior derecha el plano muestra una firma escrita a mano por “William Lloyd Civil Engineer”, y está fechado: “London September 1865”. No obstante, la leyenda en la esquina superior derecha de la hoja lo denomina: “Drawing N° 1”, fechado así en letras de plantilla: “August 1866”. Parece que esta fecha se agregó posteriormente a la firma a mano de Lloyd, cuando se le añadió —probablemente al autorizarse el plano por el emperador— la siguiente leyenda, también escrita con letras de planilla de diferentes estilos gráficos: “Imperial Mexican Railway” y “Puente Maximiliano over the ravine de Metlac”.

La escala gráfica en el margen inferior de la hoja está dibujada con regla y lleva la explicación “Scale 40 feet to an Inch”, escrita a mano por el propio Lloyd, cuya letra aparece en el mismo dibujo donde se corrige la línea que corta el suelo, indicando: “the red line is the proper position of the section of the ground” (la línea roja es la posición correcta de la sección del terreno). Este plano es acotado y presenta un puente en planta y alzado con un total de tres vanos iguales: dos laterales y uno central, cada uno de 96 m de envergadura, apoyados en dos pilares monumentales en medio, construidos sobre una base ancha que se adelgaza hasta arriba, una estructura de barras de hierro tubulares que en la parte alta forman un *cantilever* o una ménsula. En los espacios abiertos entre las ménsulas del *cantilever* se ponen vigas que se suspenden de un arco, arrios-

<sup>21</sup> Plano y fotografía del Museo Nacional de los Ferrocarriles Mexicanos-Centro Nacional para la Preservación del Patrimonio Cultural Ferrocarrilero-Planoteca del Centro de Documentación e Investigación Ferroviarias (CEDIF).

trado por un entramado. Se trata de un puente sumamente estético, con la apariencia de tres arcos conectados entre sí por una línea ondulada y suspendidos en el aire (figura 1).

### La propuesta de Lloyd comentada en una carta entre ingenieros

El segundo documento es tal vez el más revelador: se trata de la segunda parte de la carta<sup>22</sup> que escribió Charles Gratiot Talcott (1834-1867), uno de los tres hijos que acompañaron a Andrew Talcott en su regreso a México en 1862, que legó su correspondencia con su amigo Alfred Landon Rives (1830-1903), un ilustre ingeniero estadounidense de raíces francesas graduado en 1854 en la famosa Ecole des Ponts et Chaussées de París. Era íntimo amigo de la familia Talcott, pero había rechazado la oferta de los Escandón de unirse al equipo de Talcott y decidió seguir una carrera muy exitosa en Estados Unidos.

En esta carta del 17 de mayo de 1866 hay una descripción y evaluación detalladas del proyecto que comparte con su amigo. Ilustra su correspondencia con un dibujo técnico, delineado a mano, sin regla (figura 2):

El puente de Metlac tiene que ser único. Lloyd encargó un plano en Inglaterra, pero dice que después de que dejó atrás al dibujante que había empleado para llevar a cabo su diseño, el dibujante reclamó el mérito de haberlo originado y lo patentó. Por lo tanto, Lloyd encargó otro diseño distinto al anterior. Entre nosotros: yo no creo que pueda idear un plan por sí mismo. Voy a describir el diseño definitivo y te comento

<sup>22</sup> Carta de Charles G. Talcott a Alfred L. Rives, fechada el 17 de mayo de 1866, Durham, Alfred Landon Rives Papers, David M. Rubenstein Rare Book & Manuscript Library/Duke University. En la carta, agradece el apoyo y la ayuda de Dario Gasparini de la Case Western Reserve University, Cleveland, Ohio.

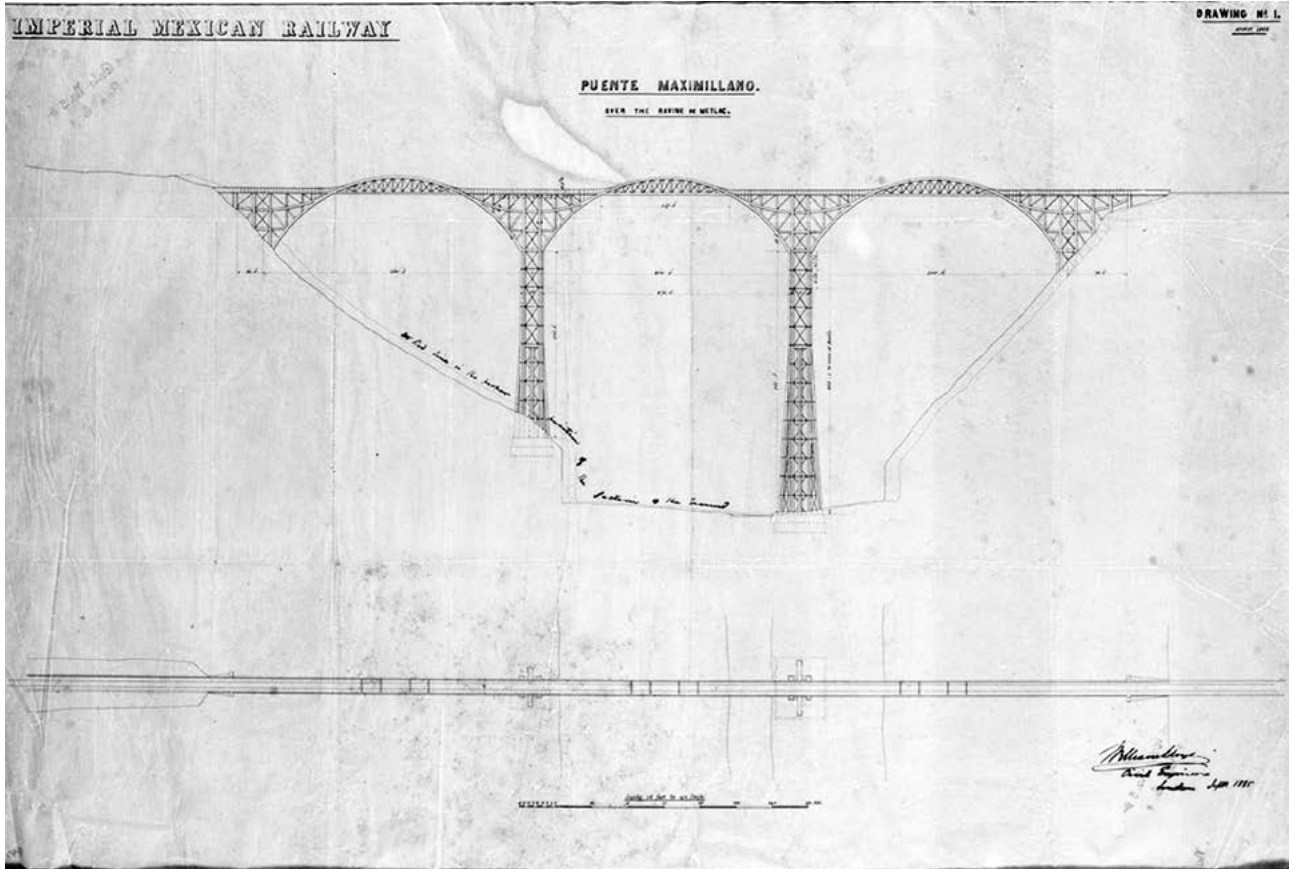


Figura 1. Plano del ingeniero Lloyd del puente de Metlac. Fuente: Planoteca del CEDIF del Museo Nacional de los Ferrocarriles Mexicanos, Puebla.

su idea sobre el segundo. La apertura es de 950 pies, la altura de 400 pies y el problema más difícil de resolver son los costos de las cimbras “comunes y corrientes” que cuestan tanto como todo el puente. Esto se ha evitado en Inglaterra por ensamblar el entramado en el suelo y elevarlo a su lugar definitivo como en el caso del puente de Britannia [en uso desde 1850] y el de Saltash [en uso desde 1859] y otros puentes. La disposición del valle aquí hace que este método no pueda ser empleado, a menos tal vez por la luz central al hacer los tramos cortos, digamos de 60 pies.<sup>23</sup>

Después de una descripción detallada de las posibilidades de construcción, prosigue:

El plan que tenía [Lloyd] para el Metlac era construir dos pilares de hierro forjado en medio de la barranca con 30 pies en la base y apoyar el puente a ambos lados en las rocas. En ambos lados de cada pilar y en los apoyos laterales se construirían enormes voladizos sobre ménsulas de unos 80 o 100 pies. Para cerrar la abertura —ahora reducida— entre las ménsulas se pueden ensamblar las vigas en el suelo y levantarlas en su lugar con cabrestantes o balancearse en su lugar desde arriba con grúas.<sup>24</sup>

La segunda idea de Lloyd para construir el puente considera una manera un poco diferente a la primera, al intentar colocar la viga principal con grúas

<sup>23</sup> *Ibidem*, f. 8 (transcripción y traducción de Dirk Bühler).

<sup>24</sup> *Idem*.

8

This last plan has succeeded perfectly, where one span was over 250 feet & the total length of bridging over 500 feet, but I am afraid that a deep cut in a curve at one end of the Mellac would make this method unsuitable in this case -

Plan No 1 for the Mellac was to build two pieces of wrought iron, 80 feet by 30 feet at base & abutments of stone perched on the rocks on either side - to build out from each abutment & from each side of both pieces enormous cantilevers or brackets projecting about 80 or 100 feet & then to bridge the reduced opening with a girder run into place as described in method 3, or swung across the opening with cranes - when finished the bridge would be this -

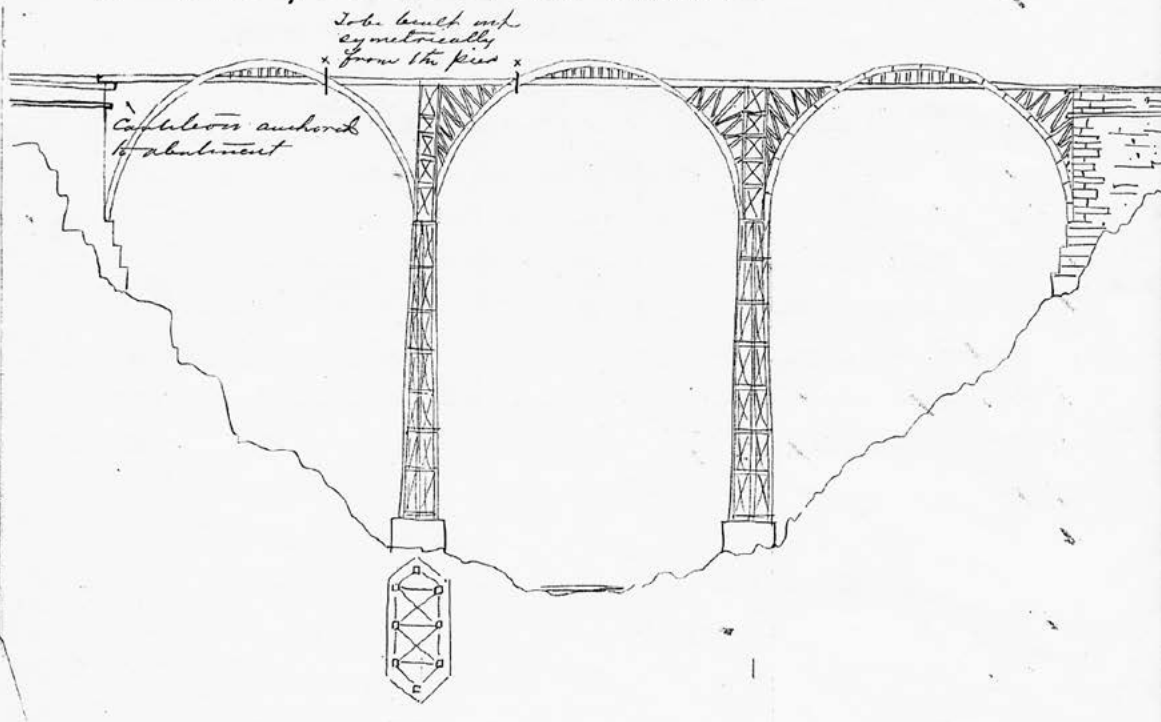


Figura 2. Página 8 de la carta de Charles G. Talcott a Alfred L. Rives, fechada el 17 de mayo de 1866. Fuente: Durham, Alfred Landon Rives Papers, David M. Rubenstein Rare Book & Manuscript Library/Duke University.

---

sólo desde el nivel superior del puente. Charles Talcott anota:

Este plan es casi idéntico al otro, pero el puente presentará un aspecto ligeramente diferente y se supone que [Lloyd] espera estar en condiciones de presentar el sistema de construcción en alguna forma que se evite la patente [de su dibujante]. Estoy dispuesto a pensar que hay alguna posibilidad de superar este obstáculo mejor que cualquiera de las dos propuestas y si todo el asunto no estaba en manos de los contratistas representaría un problema interesante, pero como están las cosas tomo muy poco interés en el asunto.<sup>25</sup>

Con este diseño Lloyd trazó un puente de máxima elegancia que habría sido único en el mundo, pero con grandes problemas de construcción, como se ve en la carta de Charles Talcott. Si los planos definitivos que se usaron para el primer intento de construcción eran los de Lloyd o del puente tubular de Andrew Talcott, aún no se ha podido comprobar.

### **El puente Maximiliano: una obra de arte**

El tercer documento de esta propuesta se conserva en el Museo de Arte del Estado de Veracruz, en la ciudad de Orizaba.<sup>26</sup> Tal vez por su aspecto altamente estético se representó el diseño de este puente también en un grabado anónimo en metal acuarelado que mide 16.3 × 18.5 cm, con el título *Puente de la barranca de Metlac en el ferrocarril de Veracruz a Méjico*. Este grabado representa el puente idealizado en un paisaje salvaje: enfatiza en la gran altura de los pilares y en los tres arcos de hierro que se generan armónicamente y sin quebrantamiento desde la base de los pilares hasta las cimas de los

arcos. La viga principal es un entramado rectilíneo que descansa entre los arcos. Como representación artística, capta muy bien el ánimo del diseño y demuestra la popularidad del proyecto. Tanto el tamaño y la forma de producción como el grabado en metal sugieren que tal vez se trate de una tarjeta que se reprodujo para que fuera admirada por un público mayor (figura 3).

### **El puente Maximiliano: un diseño estructural fuera de serie**

El diseño de Lloyd para el puente Maximiliano incluye dos métodos de construcción que entonces aún se hallaban en pleno desarrollo para las estructuras de hierro. Por lo tanto, no es solamente el aspecto estético excepcional, sino también el diseño estructural novedoso lo que hace de este plano un proyecto atrevido y audaz.

Apoyado en la descripción de Charles Talcott, el plano detalla un método constructivo conocido, pero todavía no desarrollado del todo para las construcciones de hierro: la construcción a voladizos sucesivos, un método en el que se prescinde de la cimbra tradicional y que, por ende, ahorra tiempo y dinero. Talcott lo describe cuando habla de montar, en primer lugar, los pilares, y seguir construyendo las ménsulas —en este caso en forma de arco— manteniendo el equilibrio al armar las ménsulas en ambos lados de los pilares a la vez. Las ménsulas en los apoyos, que tienen sólo un lado con voladizo, se anclan directamente en las rocas de los apoyos. Estas ménsulas tienen voladizos de casi 20 m de cada lado, medidas aún módicas respecto a los puentes que se construirían con voladizos de hasta 75 m y, tan sólo dos décadas más tarde, en arcos como en el viaducto de Garabit (Francia, 1884) o el puente de ferrocarril de Müngsten (Alemania, 1897), o bien en construcciones *cantilever* con casi 200 m en el puente del Firth of Forth (Escocia, 1890), como veremos.

<sup>25</sup> *Idem*.

<sup>26</sup> Fomento Cultural Banamex (ed.), *Museo de Arte del Estado de Veracruz*, México, Banamex/Gobierno del Estado de Veracruz, 2001, p. 246.



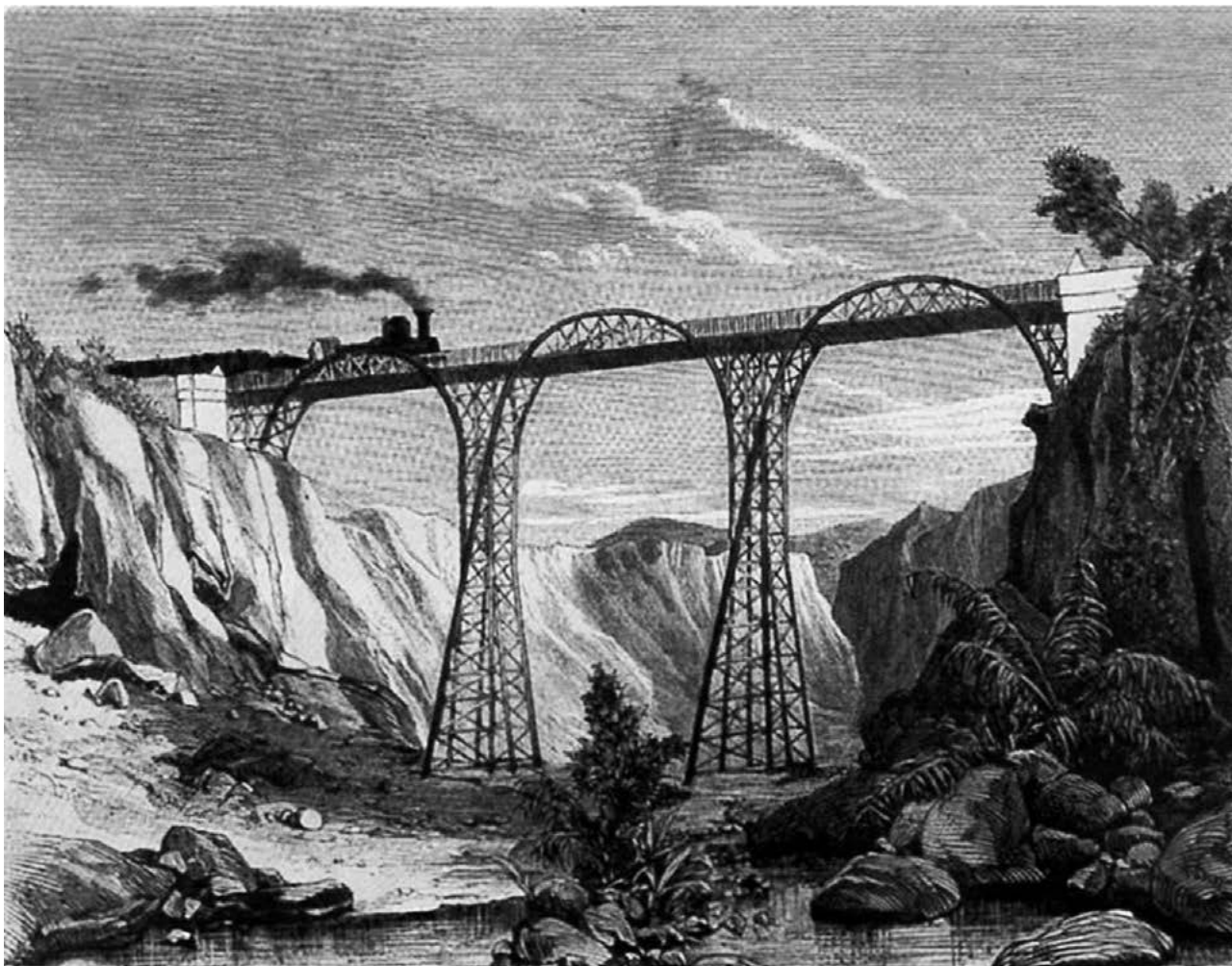


Figura 3. Anónimo, Méjico. Puente de la barranca de Metlac, en el ferrocarril de Veracruz a Méjico, grabado en metal acuarelado, 16 x 18.5 cm. Fuente: Museo de Arte del Estado de Veracruz.

El método de elevar los entramados faltantes entre los voladizos por poleas, como lo describe Talcott, era un método bien establecido desde la construcción del puente de Britannia (1850). Sin embargo, el terreno escarpado de la barranca impedía su empleo.

A la vez, el diseño anticipaba un tipo de estructura que sólo algunos años más tarde se realizaría con un fundamento científico y que más tarde generaría los puentes de hierro más grandes: el sistema *cantilever* desarrollado por el ingeniero alemán Heinrich Gerber (1832-1912). Él instaló, en vez del

cálculo estructural de una viga continua que requiere del cálculo con una ecuación indeterminada, articulaciones en la viga que facilitan tanto el cálculo estructural como la construcción de una viga en la obra. El primer puente construido por Gerber con este método fue sobre el río Meno, en Hassfurth, Alemania, en 1867 (128 m de luz). Estas estructuras, llamadas más tarde el “método *cantilever*” porque se emplean a menudo en la construcción a voladizos, tuvieron mucho éxito y se utilizaron en la construcción del famoso puente de Firth of Forth, Escocia, en 1890 (521 m de luz) y en el de Quebec, Canadá, en

---

1919 (549 m de luz). Naturalmente, este tipo de cálculo estructural de una “viga Gerber” o “viga articulada” aún se usa hoy en muchas estructuras, en su mayoría no tan espectaculares como los ejemplos mencionados.

Con el plano de Lloyd y la descripción de Talcott el diseño del puente Maximiliano quedó muy cerca de la solución de Gerber de vigas articuladas: en su dibujo a mano de la carta, Talcott marcó con una cruz la posición correcta que debían tener las articulaciones, sin incluirlas aún en su cálculo y diseño estructural.

El plano de Lloyd para el puente Maximiliano sobre la barranca del Metlac es, por sus muchas connotaciones estructurales e históricas, un documento invaluable para la historia de la construcción, que nos demuestra el esfuerzo común de los ingenieros en la búsqueda de soluciones técnicas innovadoras a través de sus redes de saber científico y técnico que se integran en este diseño. Finalmente este puente no llegó a construirse en México ni en ningún otro sitio del mundo, aunque su diseño parece tan grato y familiar que aquel que lo mira piensa haberlo visto en algún lado.

### **Otras propuestas no realizadas para el puente de Metlac: ¿un puente colgante?**

Talcott menciona en su informe<sup>27</sup> de 1858 que en un principio pensó en la posibilidad de construir un puente colgante en un sitio donde el valle tiene 304 m de ancho y 106 m de elevación. Consideraba esta solución como la más económica, aunque estaba consciente de los problemas dinámicos y de flexión conocidos que ofrecen estas estructuras para el ferrocarril. Desde 1855 se había construido un puente con dimensiones similares para comunicar Estados Unidos con Canadá atravesando las catara-

<sup>27</sup> E. Low, *op. cit.*, p. 1558.

tas del Niágara, con 260 m de luz sobre una barranca de 70 m de profundidad. John August Roebling (1806-1869), uno de los pioneros de la construcción de puentes colgantes de gran envergadura y propietario de una fábrica de cables en Trenton, Nueva Jersey, tenía experiencia en este sistema de construcción cuando, en 1851, se hizo cargo del proyecto anterior de Charles Ellet, Jr. (1810-1862), quien había fracasado.

Roebling, quien más tarde construiría el famoso puente de Brooklyn, en Nueva York, proyectó aquí un puente colgante de dos pisos: el inferior serviría para el tránsito de peatones y carruajes y el superior tendría una vía de ferrocarril, considerando los cuatro diferentes anchos de carriles de las compañías que la usarían. Consciente de las flexiones que provocaban los trenes al atravesar el puente, sobre la viga principal diseñó una viga tipo Howe de madera muy rígida. Además de los cables de suspenso, adicionalmente introdujo cables diagonales y limitó la velocidad de los trenes en el transcurso del puente a 5 km/h. A fin de cuentas el puente resultó ser más estable de lo esperado y no mostró ningún daño en una investigación realizada cinco años más tarde. El costo del proyecto también era mucho menor que el de un puente de acero comparable.

De seguro fueron las dificultades de diseño estructural y de cimentación, la poca disponibilidad de materiales de construcción y de mano de obra especializada, además de un resultado incierto, las que llevaron a Talcott a descartar pronto esta posibilidad.

### **¿Un puente tubular?**

Como alternativa, Talcott propuso enseguida un puente tubular de hierro, de dos o tres claros sobre pilares compuestos de barras tubulares de hierro fundido. Consideraba que estos pilares de hierro eran más económicos que los de mampostería, que

in 1910 and still continues, has deferred its construction indefinitely, due to the fact that, after long deliberation, it was considered that a bridge of such magnitude would be very easily destroyed, with, of course, disastrous consequences. Fortunately, the present Metlac Bridge and practically all others have escaped serious damage, but the danger has been ever present for several years past, and very great anxiety has been felt by all concerned; how much more so would this have been the case had the bridge been nearly 350 ft. high? Mr. Ingra

Some day, of course, the bridge will be built, as the development in and out of the *barranca* is perhaps the most dangerous part of the railway, and mile for mile the most expensive to operate. When this day arrives, it is to be hoped that the Mexican people will have developed into a peaceful and law-abiding nation.

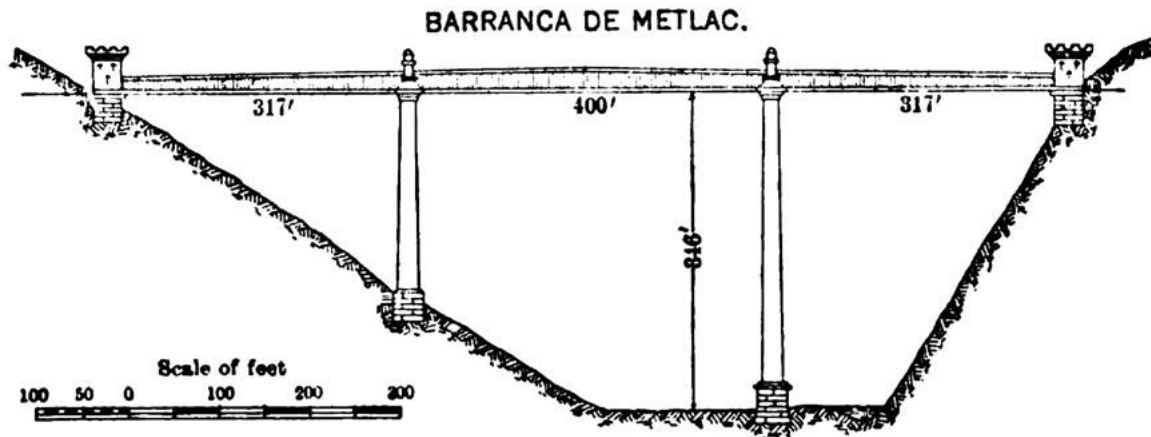


FIG. 11.

Figura 4. El diseño del puente tubular en un comentario al informe de Emile Low (p. 1611).

se construirían años más tarde. A la vez, dejó abierta la posibilidad de que más adelante se realizara el puente río arriba, donde el valle es más estrecho y menos profundo, a pesar de tener que desviar el trayecto por las orillas del valle de ida y vuelta. Talcott consultó la opinión de *sir* William Fairbairn, con quien estableció una correspondencia a través de los años,<sup>28</sup> ya que Fairbairn calculaba —comunicado

en una carta fechada en Manchester el 26 de noviembre de 1858— una propuesta para la construcción de un puente tubular sobre dos pilares (figura 4).

Los contactos de Talcott con el ingeniero británico Fairbairn (1789-1874) y las cartas de su hijo Charles Talcott confirman, junto con las evidencias físicas, que los ingenieros del siglo XIX usaban más bien libros de Inglaterra para prepararse en su gran tarea. El contacto entre Andrew Talcott y *sir* William Fairbairn aclara los vínculos que había entre los téc-

<sup>28</sup> *Ibidem*, pp. 1564-1565.

---

nicos. Fairbairn, el famoso ingeniero escocés, no sólo había escrito libros básicos sobre diseño estructural en hierro, sino que también era el ingeniero responsable de la construcción de los puentes tubulares de Britannia (1846-1850) y de Conway-Castle (1849), en Gales, junto con el más conocido Robert Stephenson.

El contacto de Talcott con Fairbairn de seguro no se limitó a la consulta, sino que se extendió sobre sus libros, que en 1850 eran famosos —y traducidos— en todo el mundo. Fairbairn había publicado primero sus experiencias con los puentes tubulares que construyó y más tarde se dedicó a la promoción de elementos de hierro fundido y forjado para todo tipo de construcciones.<sup>29</sup> Para los apoyos de los puentes —y de edificios— propuso construcciones a base de tubos de hierro fundido, que servían muy bien para elementos sujetos únicamente por compresión. Aparte estudió de manera especial el uso del hierro forjado en la construcción de vigas. En uno de sus libros, publicado en una traducción al alemán y en otra al castellano en 1859, comparó la utilidad y la economía del hierro forjado con respecto al fundido y le dio preferencia al primero para la construcción de vigas. Además, propuso métodos de cálculo estructural para el tipo de vigas que más tarde se usarían en los puentes del ferrocarril mexicano.

En otro libro sobre puentes y vigas de hierro fundido y de hierro forjado de William Humber, profusamente ilustrado y publicado en Londres en 1857, aparece —y es sólo uno de muchos ejemplos— el diseño de un puente ferrocarrilero sobre el río Stour,<sup>30</sup> donde se emplean las mismas vigas

en cuestión, pero también un puente ejemplar con una viga ensamblada con el sistema Warren.

Estas superestructuras de vigas descansan sobre contrafuertes, en ambos costados del valle, hechos de mampostería y pilares en medio para limitar la envergadura de la vigería. Por lo general todavía no se usaban cojinetes especiales en los lugares donde descansaban las vigas sobre los apoyos, sino que sencillamente se ponían láminas de hierro en los intermedios para permitir los movimientos causados por el ferrocarril y los cambios de temperatura. Durante la renovación de la red ferroviaria en la década de 1980 se introdujeron cojinetes de elastómeros entre la superestructura y los apoyos.

Talcott destacaba en su informe<sup>31</sup> la abundancia de cantería caliza en la región y su alta calidad. Esta piedra se aprovechaba para la construcción de cimentaciones, contrafuertes, las bóvedas de las alcantarillas y el revestimiento de túneles, así como para la construcción de los edificios para el ferrocarril. Para construir los pilares intermedios de los puentes no recomendaba la mampostería porque resultaba más económico importar y ensamblar pilares de hierro en vez de transportar y ocupar un sinnúmero de albañiles y carpinteros en la construcción con piedra, la cual requería de andamios y grúas más complicadas que el hierro.

Al contabilizar los tipos de pilares, se observan algunos ensamblados con base en vigas de madera en los primeros años del ferrocarril mexicano, mientras que la mitad de los pilares en terrenos accesibles de la costa y del Altiplano está hecha completamente de mampostería. La otra mitad, ubicada sobre todo en las regiones montañosas, está hecha de hierro. Tan sólo a partir de 1912 en adelante se reforzaron y sustituyeron los pilares originales de hierro por nuevos de mampostería, y muchos fueron suplidos por muros de contención, sin dejar huella de los puentes an-

<sup>29</sup> Traducciones al alemán y español de su obra sobre los elementos de hierro se publicaron en 1859: William Fairbairn, *Die eiserne Träger und ihre Anwendung beim Hochbau und Brückenbau*, D. Brauns (trad. al alemán), Braunschweig, Verlag der Schulbuchhandlungen, 1859; William Fairbairn, *Aplicación del hierro a las construcciones: suplemento*, Madrid, Imprenta de D. José C. la Peña, 1859.

<sup>30</sup> William Humber, *Practical Treatise on Cast and Wrought Iron Bridges and Girders*, Londres, Spon, 1857, tabla 20.

<sup>31</sup> E. Low, *op. cit.*, p. 1558.

teriores. Los pilares de mampostería se construyeron con sillares de piedra caliza, presentando su paramento con un almohadillado rústico. Las estructuras de hierro son un poco más complejas —como demuestra el caso del puente de Metlac—; se trata de caballetes de hierro con entramados, la mayoría hechos a base de perfiles angulares remachados, y sólo en algunos casos se ensamblaron con tirantes en forma de tubo.

Con este tipo de estructuras para los puentes, los constructores del ferrocarril mexicano escogieron un sistema constructivo fácil de transportar y ensamblar, que a la vez era económico y estaba a la altura de la tecnología de construcción.

En la primera parte de la carta de Charles Talcott,<sup>32</sup> el autor se dedica a discutir las construcciones que estaban en uso en ese tiempo:

Deduzco de ingenieros ingleses y libros de Inglaterra que después de la elaboración de las vigas con hojalata de caldera, han comenzado a volver a utilizar en hierro forjado diversas formas de vigas entramadas que prevalecían cuando la madera era el único material utilizado para tramos largos con el fin de economizar el material y mejorar la apariencia. Parecen haber dejado a un lado el hierro fundido que se usó tan sólo para ornamentaciones, para las barras tubulares de hierro y para partes menores que no aparecen muy a menudo. La viga de hojalata se usa todavía para vanos pequeños, pero para los grandes vanos se utilizan vigas entramadas, mientras que para las más largas se emplean las vigas de celosía sencillas o dobles con barras de hierro forjado.<sup>33</sup>

Continúa el escrito de Charles Talcott con una discusión sobre el cálculo estructural de estas vigas,

<sup>32</sup> Carta de Charles G. Talcott a Alfred L. Rives, fechada el 17 de mayo de 1866, Durham, Alfred Landon Rives Papers, David M. Rubenstein Rare Book & Manuscript Library/Duke University.

<sup>33</sup> "Charles G. Talcott to Alfred L. Rives...", *op. cit.*, f. 6 (transcripción y traducción de D. Bühler).

considerando las cualidades del material, los diferentes perfiles I y H disponibles, las juntas y los variados casos de fuerzas estáticas que actúan sobre la viga. Prosigue así:

Tenemos la idea de emplear vigas de hojalata para vanos hasta de 45 pies (15 m) con el siguiente formulario que se utiliza hasta cierto punto. A veces la viga transversal debe ser suspendida de las vigas principales que se colocan sobre ménsulas para formar las pasarelas [véase, en la figura 5, el dibujo de arriba a la derecha]. Los largos tramos son vigas de celosía hechas un poco como se muestra en el dibujo [véase, en la figura 5, el dibujo de en medio, a la izquierda]. La viga tipo Warren [véase en la misma figura el dibujo de abajo, a la izquierda] tiene una gran ventaja que es su bajo precio, pero no es previsto para ser utilizado en su línea [el ferrocarril mexicano]. El uso de hierro forjado o más bien hojalata prevalece en todas partes, para los pilares se utilizan barras tubulares de hierro siempre y cuando convenga.<sup>34</sup>

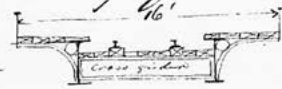
Con estas líneas, Charles Talcott expresó tanto la actualidad de sus conocimientos de constructor como las dudas que compartieron los ingenieros civiles de su época. Las vigas de celosía, que eran motivo de muchas controversias entre los ingenieros europeos, ya habían pasado a la historia para la década de 1870 debido a sus problemas de deformación en los pilares y su poca durabilidad. Viaductos con vigas entramadas tipo Warren sobre pilares formados de hierro fundido tubular eran apreciados desde la construcción del viaducto de Crumlin sobre el río Ebbw, en el sur de Gales, en 1857. Esta construcción, publicada por primera vez en el libro de William Humber,<sup>35</sup> se hizo ejemplar a través de muchas reseñas y publicaciones didácticas con detalles constructivos. En algunos

<sup>34</sup> *Ibidem*, f. 6.

<sup>35</sup> W. Humber, *op. cit.*, tablas 7-38.

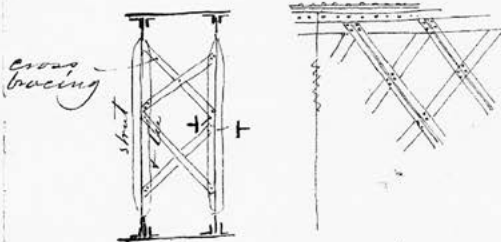
sections of the flanges or chords vary in very short lengths + the struts + ties in almost every pair.

Carrying out these ideas our short spans up to 45 feet are made with solid plate girders the following form being used to some extent



Sometimes the cross girder is to be suspended from the main girders which are placed further apart + sometimes it will rest upon them + project to form the walk way.

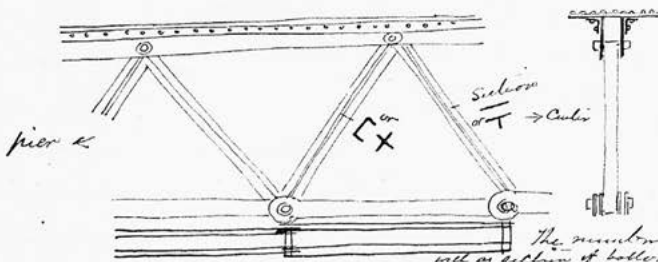
The long spans are of lattice girders made some what as shown in sketch -



Struts + ties of T iron or of T form made with a plate + 2 angle irons ~~or~~ (Ties sometimes of flat bars + struts of H or channel iron -) they are riveted at their intersections

+ are also riveted at top + bottom to the chords or flanges - when lattice is double as in the sketch, the tie + struts of each set are connected by intermediate cross bracing -

The Warren girder is in great favor on account of its cheapness, but is not to be used in this line - it is made thus -



Wrought or rather boiler iron is used altogether new for piers - Cast iron cylinders being in favor -

Figura 5. Página 6 de la carta de Charles G. Talcott a Alfred L. Rives, fechada el 17 de mayo de 1866. Fuente: Durham, Alfred Landon Rives Papers, David M. Rubenstein Rare Book & Manuscript Library/Duke University.

aspectos el diseño final de los pilares del puente de Metlac se parece mucho al ejemplo a seguir del viaducto de Crumlin (figura 6).

La propuesta del padre Andrew Talcott se refleja también en los periódicos contemporáneos como el *Scientific American* de 1866,<sup>36</sup> en el que se anuncia como una estructura que rebasa los límites de la ingeniería del presente, la cual sería una razón más para visitar México.

### **El puente de Metlac realizado: una solución acreditada**

De 1866 son los planos definitivos; la supervisión del proyecto quedó a cargo del general H. T. Douglas. El 26 de abril de 1866 se colocó la primera piedra para el puente;<sup>37</sup> sin embargo, cuando ocurrió un terremoto dos semanas más tarde, Douglas le propuso a William Cross Buchanan —entonces sucesor de Andrew Talcott— una solución menos peligrosa. Buchanan diseñó una alternativa, aprobada por el Ministerio de Fomento el 28 de junio de 1871.<sup>38</sup> Era una construcción más sencilla, mas no menos impresionante, en un lugar más seguro y en su forma actual. La prueba de carga se efectuó en julio de 1872 y estuvo a cargo del ingeniero Buchanan. En esta construcción intervinieron, bajo la dirección de Buchanan, el ingeniero George Foot (trabajos de campo), Thomas Branniff (obras de albañilería) y, como ingenieros constructores, Donald, Murray, Hill y González Cosío.<sup>39</sup>

<sup>36</sup> "A Great Railway Enterprise", *Scientific American*, 7 de julio de 1866, p. 18.

<sup>37</sup> E. Low, *op. cit.*, pp. 1564-1565.

<sup>38</sup> Gustavo Baz y Eduardo Gallo, *Historia del ferrocarril mexicano: Riqueza de México en la zona del Golfo a la Mesa Central, bajo su aspecto geológico, agrícola, manufacturero y comercial/estudios científicos, históricos y estadísticos por Gustavo Baz*, 3ª ed., México, Planeta, 1977 (facsimilar de la ed., de 1874), p. 148.

<sup>39</sup> *Ibidem*, pp. 147-148.

En un testimonio de 1916,<sup>40</sup> el ingeniero W. T. Ingram, uno de los ingenieros veteranos del ferrocarril mexicano sobre el puente de Metlac, puso énfasis en el hecho de que durante la Revolución, para entonces aún no concluida, se destruyó un sinnúmero de puentes de ferrocarril en otras rutas, pero no entre Veracruz y México, y que el puente, planeado originalmente por Fairbairn, habría estado mucho más sujeto a acciones de vandalismo que el actual. En la misma carta presenta un dibujo de la propuesta de un puente tubular (figura 4)

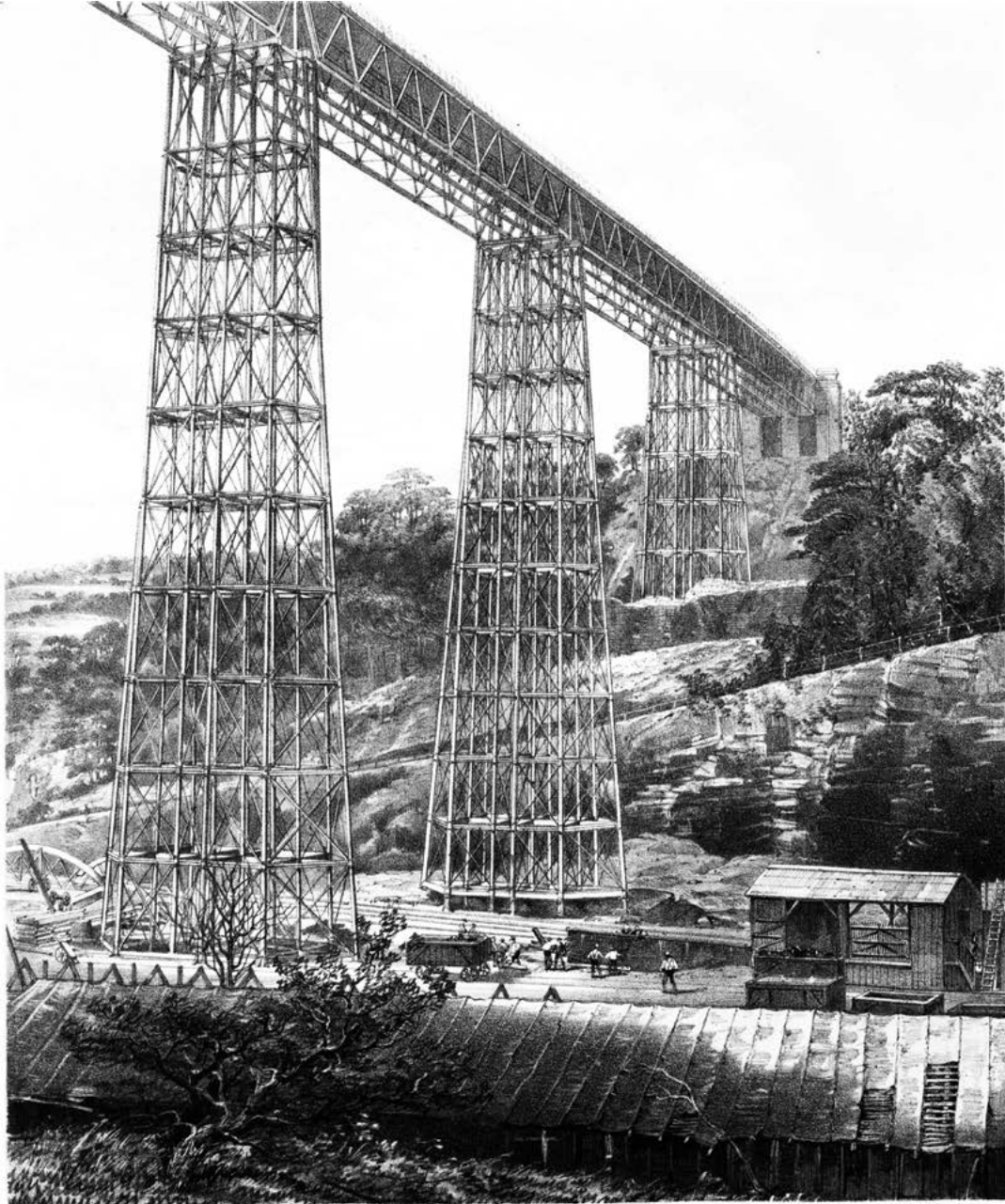
### **Descripción técnica y proceso de construcción**

Las vigas empleadas originalmente en los puentes del ferrocarril mexicano que se podían examinar tienen una sección en forma de H y se componen de diferentes traversas de hierro forjado, planos y angulares, encerrando y arriostrando una hojalata o lámina de caldera. Todos estos elementos se unieron a través de remaches de acuerdo con el cálculo estructural de los ingenieros. Dos vigas de este tipo se conectan a través de un entramado que arriostraba la construcción. A diferencia de las vigas originales, que se cambiaban por otras entre 1903 y 1910, las posteriores tienen perfiles de traversas más complejos y más fáciles de ensamblar. El puente más largo de todo el trayecto es el de Metlac, con sus 165.65 m de longitud total.

El puente de Metlac finalmente construido tiene 164.65 m de longitud total, salvados por una viga corrida con nueve claros de 15.29 m de luz, colocadas a unos 28 m sobre el fondo de la barranca. Las vigas se fabricaron en los famosos talleres de Crumlie Shops, en Gran Bretaña.<sup>41</sup> Cada uno de los ocho pilares intermedios de hierro fundido consistía de ocho columnas; los cuatro pilares interiores se yerguen verticalmente, mientras que los cuatro

<sup>40</sup> E. Low, *op. cit.*, p. 1610.

<sup>41</sup> G. Baz y E. Gallo, *op. cit.*, p. 149.



# CRUMLIN VIADUCT.

TAFF VALE EXTENSION.

NEWPORT ABERCAVENNY & HEREFORD RAILWAY.

DESIGNED BY W. HUBNER.

Figura 6. El viaducto de Crumlin en la lámina xxxvii del libro de William Humber: *Practical Treatise on Cast and Wrought Iron Bridges and Girders*, Londres, Spon, 1857.



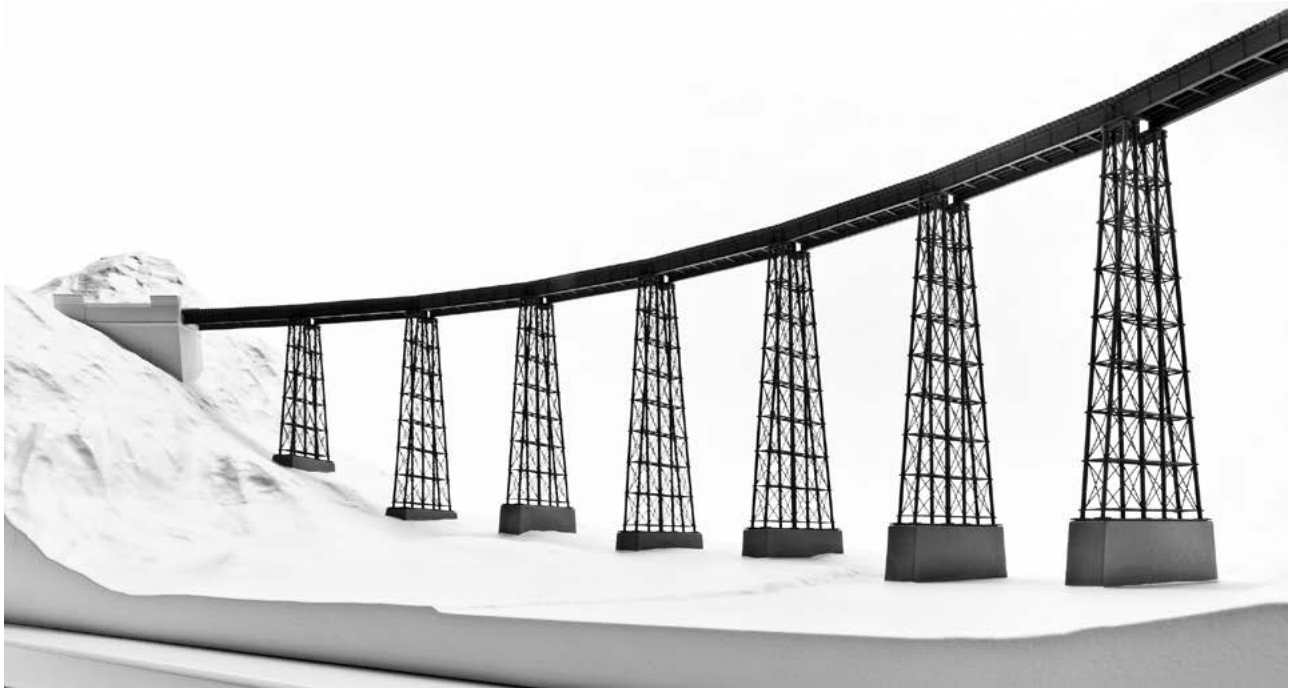


Figura 7. Maqueta del puente de Metlac en el Deutsches Museum. Fuente: Deutsches Museum, Múnich.

140 |

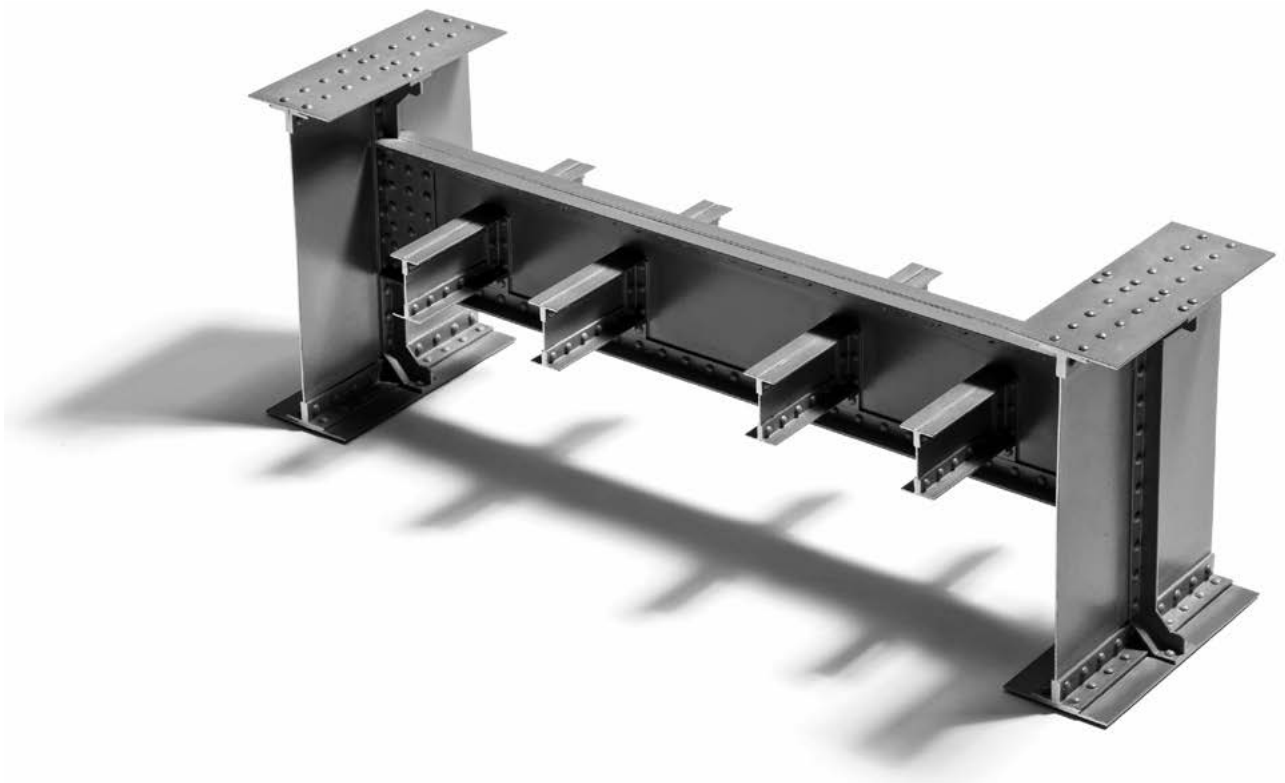


Figura 8. Maqueta de la viga principal original del puente de Metlac. Fuente: Deutsches Museum, Múnich.



Figura 9. El puente de Metlac en 1883. Fuente: colección privada, Puebla.

exteriores tienen una inclinación de entre 1° y 8° hacia dentro, respectivamente. Las vigas de lámina reforzada que soportan los rieles tienen una altura de 1.22 m.<sup>42</sup> Toda la estructura vertical y horizontal se encuentra estabilizada por medio de entramados. A los dos rieles se les agregó un tercero —llamado guardarriel— para que no se descarrillara el tren en la curva y sobre el puente. Las fotos presentadas en el libro de Aguayo<sup>43</sup> representan tanto un estado durante el proceso de construcción del puente de

Metlac como el puente de Atoyac de la misma línea, construido de la misma manera originalmente (figuras 7-10). El puente ejecutado no sólo fascinó a los ingenieros, sino también a artistas como Casimiro Castro<sup>44</sup> y a fotógrafos como Guillermo Kahlo.<sup>45</sup>

### El puente de Metlac en la actualidad

A partir de 1970 el puente presentó serios problemas de estabilidad, por lo que se buscaron solucio-

<sup>42</sup> F. Garma Franco, *op. cit.*, p. 53.

<sup>43</sup> Fernando Aguayo, *Estampas ferroviarias. Fotografía y grabado, 1860-1890*, México, Instituto Mora, 2003, pp. 109, 119-121.

<sup>44</sup> Antonio García Cubas y Casimiro Castro, *Álbum del ferrocarril mexicano*, México, Debray, 1877, láms. XII y XIII.

<sup>45</sup> Gaby Franger y Rainer Huhle, *Fridas Vater. Der Fotograf Guillermo Kahlo*, Múnich, Schirmer/Mosel, 2005, pp.184-185.



Figura 10. El puente de Metlac en 1909. La fotografía fue tomada en enero de ese año, cuando se efectuó el primer cambio de vigas. Se nota que dos de los apoyos originales ya se habían reforzado por mampostería. Fuente: Fondo Ferrocarril Mexicano. Secretaría de Cultura/CNIPPCF/CEDIF.

nes alternativas. En 1983 se inició la construcción del nuevo puente de Metlac —al lado del puente de la autopista Orizaba-Córdoba de la década de 1960—, inaugurado el 17 de octubre de 1985, cargando dos carriles de ferrocarril en el lugar donde Talcott, 110 años atrás, quería cruzar la barranca con el puente Maximiliano o un puente colgante o tubular. El puente ahora construido es uno de los más modernos: tiene 430 m de longitud y cuenta con cinco pilares de 120 m de altura máxima.

La construcción de la superestructura, de concreto presforzado por el método de dobles voladizos, con dovelas de 5 m de largo y alcanzando claros hasta de 90 m, constituyó un récord mundial para puentes de doble vía férrea donde se emplearon sistemas de izaje hidráulico, carros de colado auto-

matizados y un sistema innovador de postensado multitorón (figura 11).

### **Conclusión: el puente de Metlac, un monumento digno de conservación**

Esta investigación logró interpretar el diseño de un puente novedoso, audaz y espectacular como estructura que integraba muchas de las ideas científicas, técnicas y métodos constructivos a la altura de su tiempo. Además, emplea estos medios para un diseño extremadamente estético que llama la atención sobre los valores artísticos de la obra de ingeniería. De haberse construido, el puente Maximiliano pudo representar una obra universalmente novedosa y ejemplar.



Figura 11. Los nuevos puentes de Metlac: de concreto para el ferrocarril (izq.) y de acero para la autopista (der.). Fotografía de Dirk Bühler.

Además, se hace un esbozo de la manera en que los ingenieros involucrados en la planificación del puente de Metlac repasaron entre ellos todas las posibilidades de construcción de su época para construir un puente técnicamente a la altura de su tiempo, que en el mejor de los casos pudo haber resultado en un puente aún más excepcional e impactante del que al final se construiría. Fue posible presentar, además, las biografías de algunos de los ingenieros y de las redes de comunicación que mantenían. Queda por investigar mucho más con respecto a otras biografías, en especial de los mexicanos egresados de la Academia del Arte y de la Escuela Nacional de Minería.

Queda también por destacar el valor monumental de este puente para México y para la comunidad

internacional, tanto como construcción particular así como por ser parte de una de las primeras líneas ferrocarrileras de Latinoamérica que superan alturas extraordinarias.<sup>46</sup> La historia de su construcción y su tecnología, a la altura de su tiempo, además de la integración del puente al paisaje, le otorgan un valor patrimonial excepcional. El ferrocarril mexicano, el puente de Metlac y los otros puentes y túneles de esta línea son verdaderamente dignos de conservación, también para un turismo ecológico y sustentable.<sup>47</sup>

<sup>46</sup> Véanse el *dossier* y las tablas recuperados de: <<http://whc.unesco.org/uploads/nominations/1276.pdf>>, pp. 362-461, en especial la página 399, consultada el 27 de julio de 2018.

<sup>47</sup> Agradezco mucho la revisión del manuscrito por parte de Elid Rafael Brindis Gómez, Lima, Perú.