

**“SUTURAR LA TIERRA:
UN BREVE RECORRIDO POR LA HISTORIA DE
LOS PUENTES Y SUS CONSTRUCTORES”**

Profesor Salvador Monleón Cremades

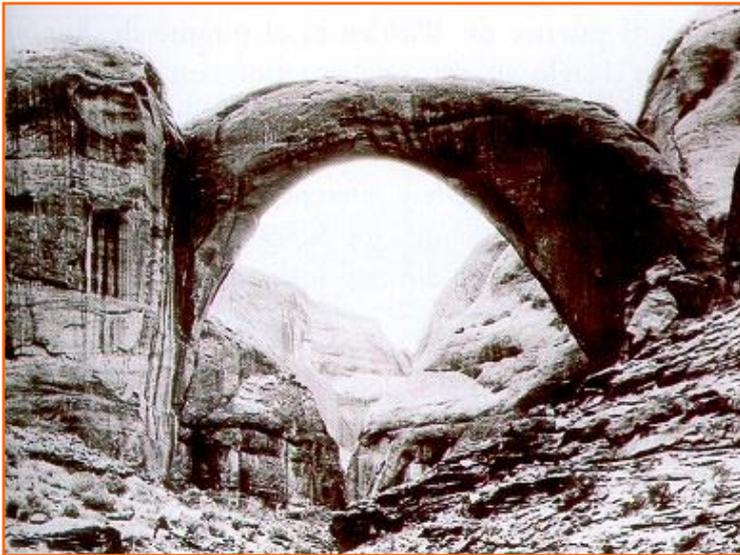
0. Los orígenes
1. Los puentes de piedra <los primeros puentes SFD>
2. Los puentes metálicos <fundición, hierro y acero, el gran salto>
3. Los “Cirujanos”
4. Algunos fracasos
5. El hormigón armado <moldear formas a voluntad>
6. El hormigón pretensado <la economía de medios>
7. La frontera
8. Puentes urbanos: la golosina visual

<Organización>



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

0. Los orígenes



<Puentes naturales: Arco en Utah y Cantilever en Bronte (Yorkshire)>



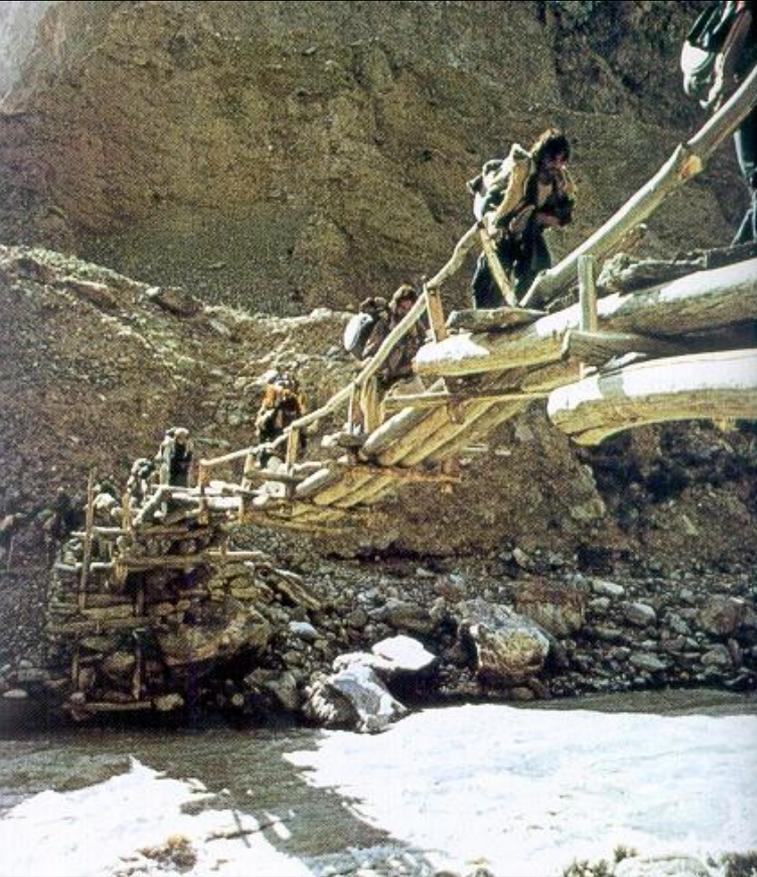
0. Los orígenes



<Puentes primitivos: Catenaria de lianas trenzadas (Himalaya)>



0. Los orígenes

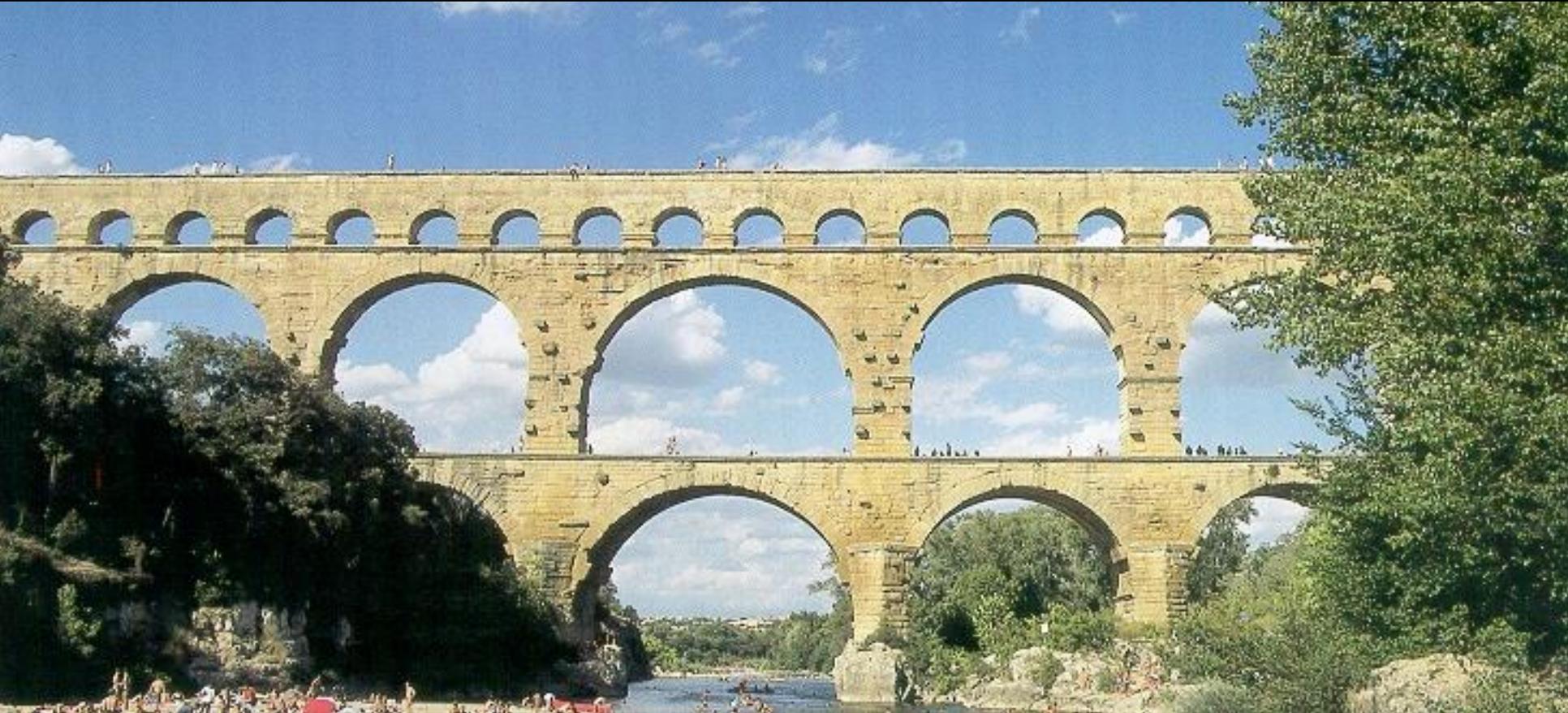


- más resistentes y duraderos que los puentes colgantes o las losas de piedra
- en algunos casos, se construyeron utilizando pilas intermedias
- captan las ventajas de algunas disposiciones estructurales (puntales inclinados, tramos iniciales en voladizo...)

<Puentes primitivos: puente de vigas de madera en Nepal (concepción longitudinal en **cantilever**)>



1. Los puentes de piedra (primeras obras SFD)



<Pont du Gard (siglo –I, acueducto que abastecía la ciudad de Nîmes)>



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

1. Los puentes de piedra (primeras obras SFD)



<Acueducto de Segovia (siglo I, longitud total 800 m)>



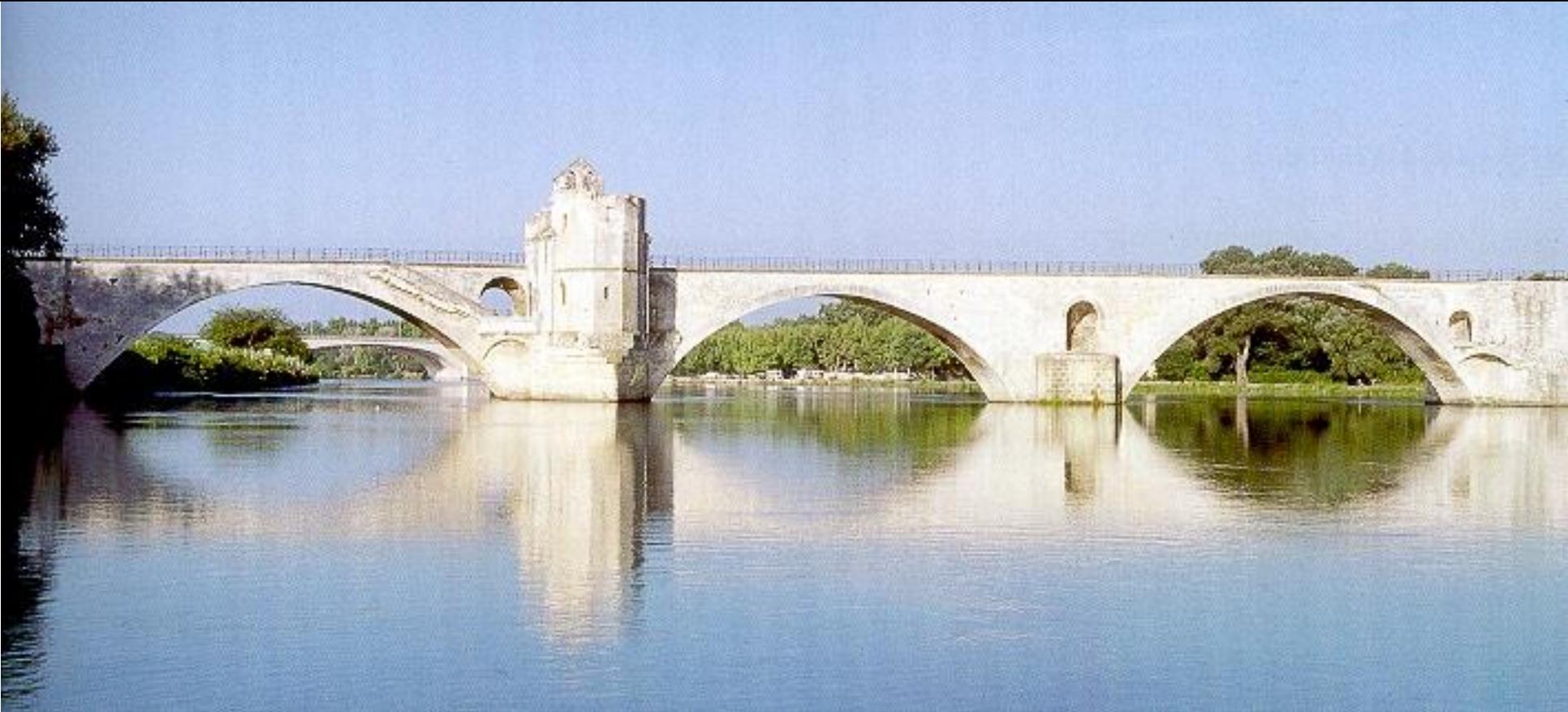
1. Los puentes de piedra (primeras obras SFD)



<Puente de Alcántara, sobre el Tajo (Julius Lacer, siglos I y II, vanos de 28 m para alturas de pila de hasta 47 m)>



1. Los puentes de piedra (primeras obras SFD)



<Pont d'Avignon, sobre el Ródano (Siglos XII a XIV, a causa de sus numerosas reconstrucciones, Saint Bénézet)>



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

1. Los puentes de piedra (primeras obras SFD)



<Ponte Vecchio, sobre el Arno (Florencia, siglo XIV, bóvedas escarzas de 30 m, Tadeo Gaddi)>



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

1. Los puentes de piedra (primeras obras SFD)



<Ponte de la Trinidad, sobre el Arno (Florencia, siglo XVI, arcos carpaneles de 29 m, Bartolomeo Ammanati)>



1. Los puentes de piedra (primeras obras SFD)



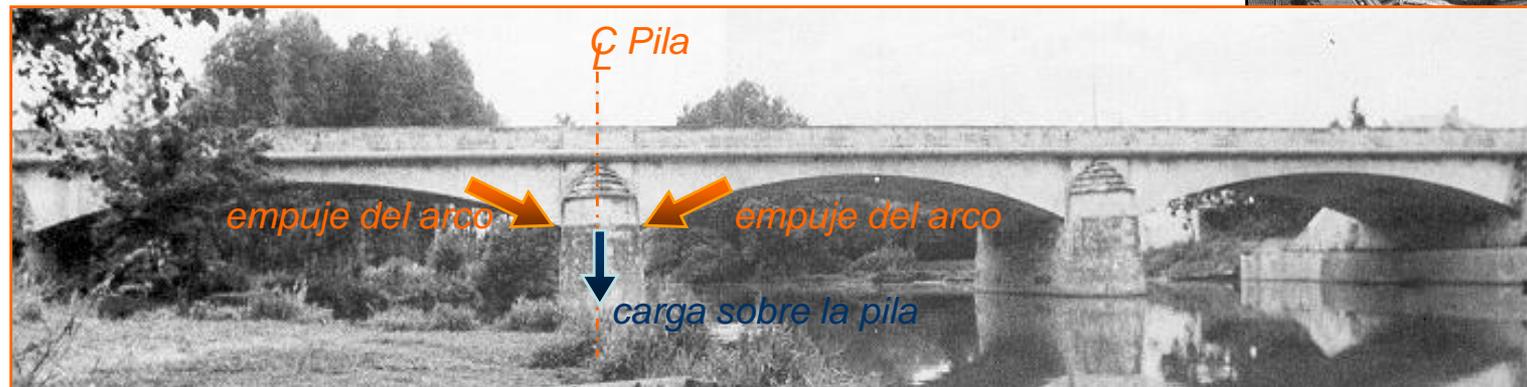
<Ponte del Rialto, sobre el gran canal (Venecia, siglo XVI, bóveda escarzana de 27.5 m, Antonio Da Ponte)>



1. Los puentes de piedra (primeras obras SFD)

□ Hasta mediados del siglo XVIII, la construcción de puentes sigue básicamente la tradición Romana, en formas y técnica. Desde l'ENPC, su primer director **J.R. Perronet** (1708-1794) promueve la **primera evolución de este arte**

□ Evolución del diseño: la **compensación de vanos**



<El siglo XVIII: **J.R. Perronet** y la compensación de vanos>



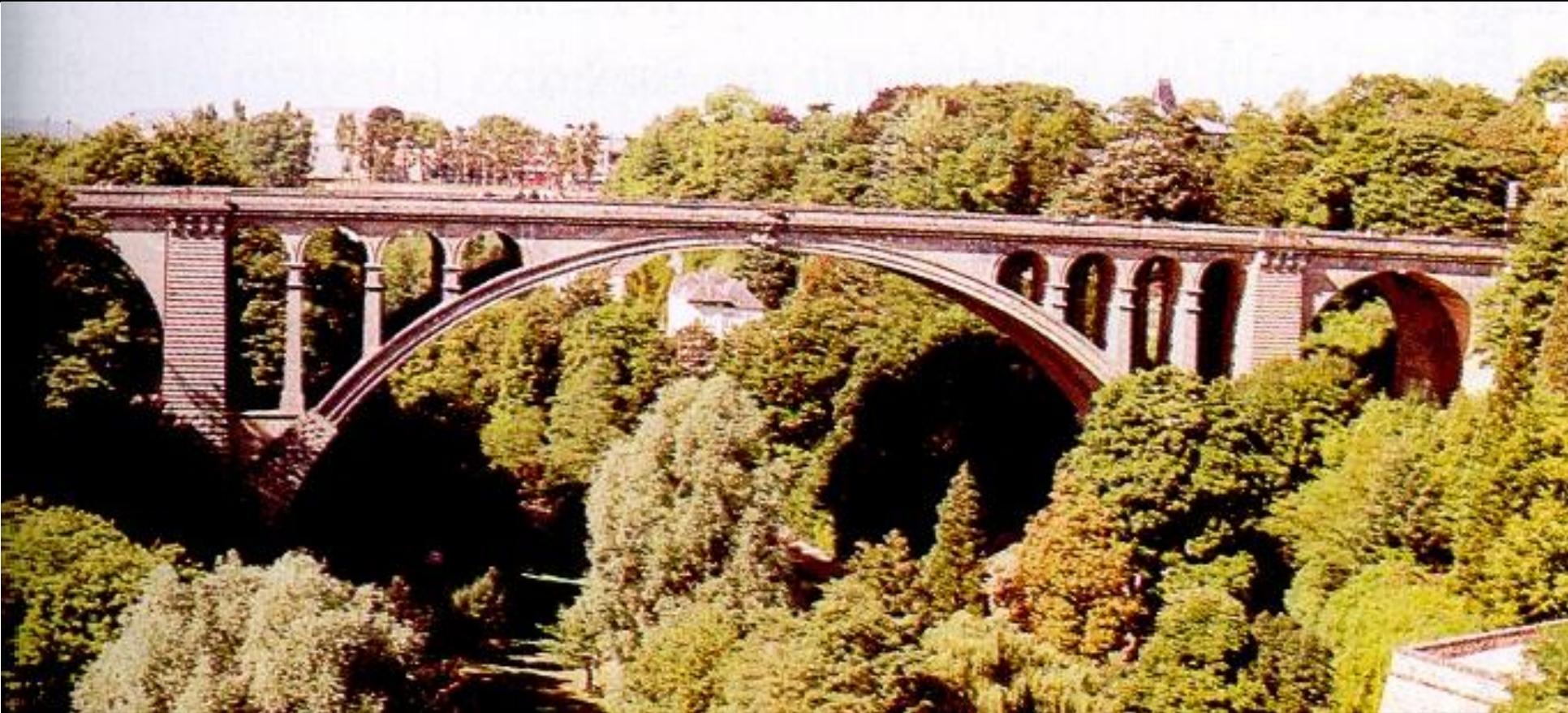
1. Los puentes de piedra (primeras obras SFD)



<Pont de la Concorde, sobre el Sena (París, 1791, bóvedas escarzas de 31 m, J.R. Perronet)>



1. Los puentes de piedra (primeras obras SFD)



<Puede Adolfo, sobre el Pétrusse (Gran ducado de Luxemburgo, 1903, 84.6 m, Paul Séjourné)>



2. Los puentes metálicos (el gran salto)



<**The Union Bridge**, sobre el Tweed (Berwick, 1820, 137 m, primer puente de cadenas planas de hierro, Samuel Brown)>



**UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA**

2. Los puentes metálicos (el gran salto)



<**The Iron Bridge**, sobre el Severn (Coalbrookdale, 1779, consta de 5 arcos de fundición de 30 m, Darby & Wilkinson)>



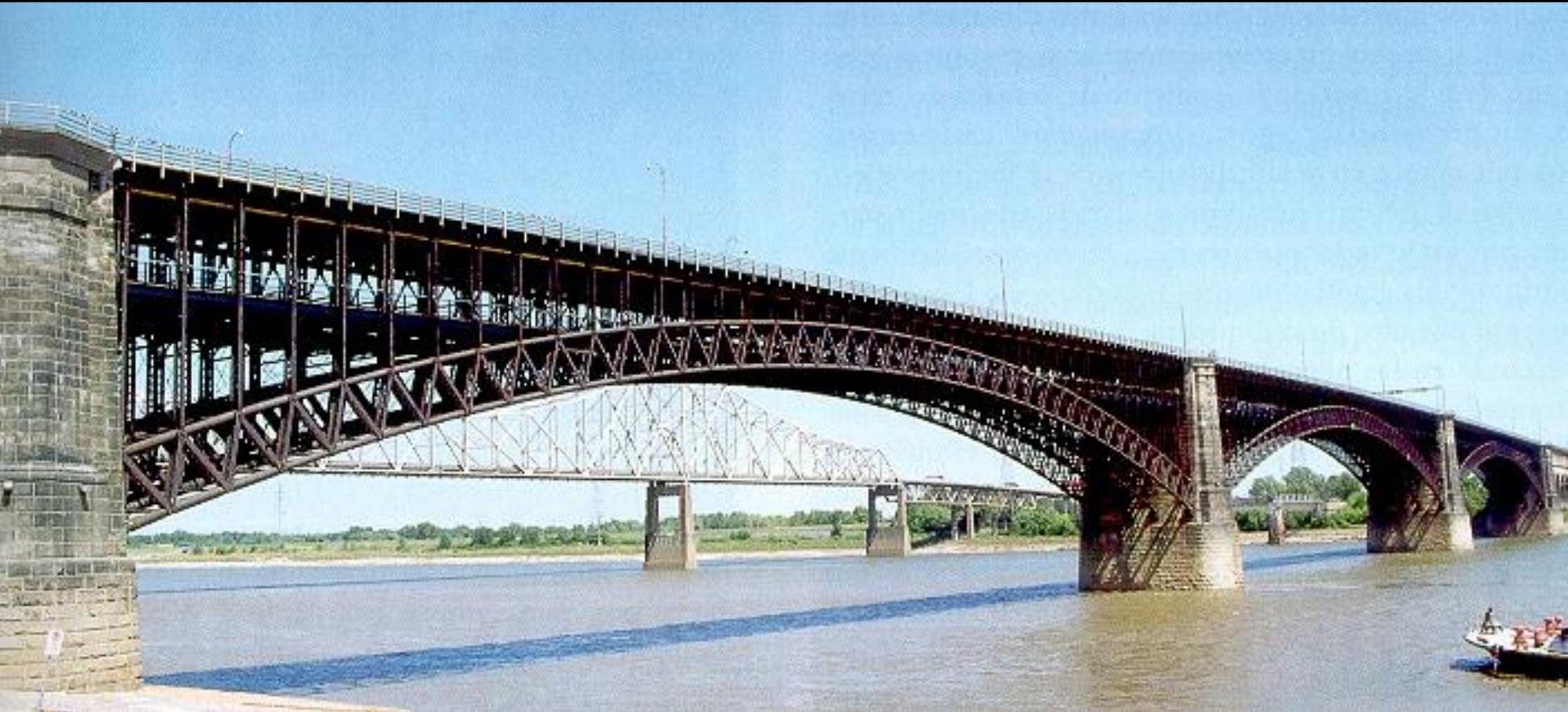
2. Los puentes metálicos (el gran salto)



<Puente de Clifton, sobre el Avon (Bristol, 1865, 214 m, Isambard Kingdom Brunel)>



2. Los puentes metálicos (el gran salto)



<Puente de San Luís, sobre el Mississippi (1874, primer puente de acero, James B. Eads, vanos de 153+159+153 m)>



**UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA**

2. Los puentes metálicos (el gran salto)

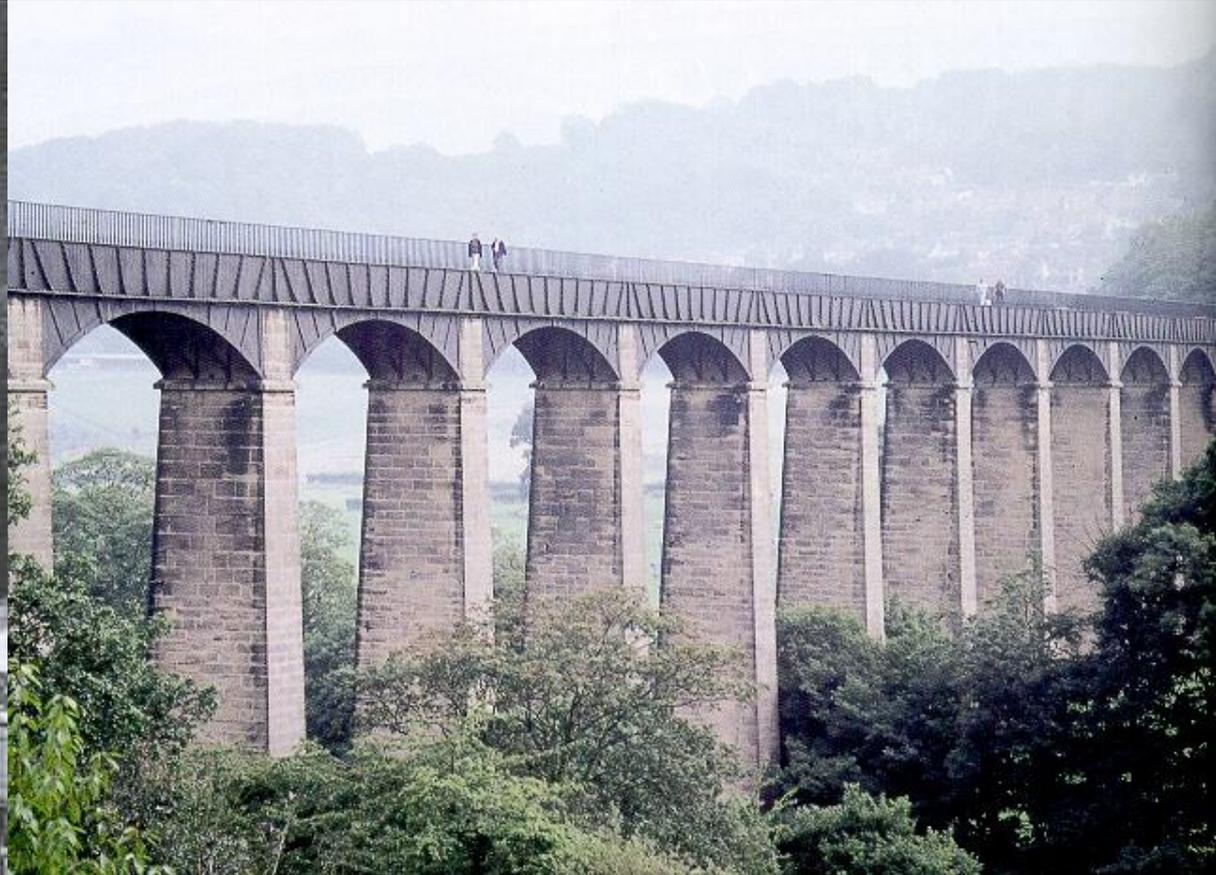


<**Puente Transbay** un día de niebla en la bahía (San Francisco-Oakland, 1936, vanos máximos de 704 m, Purcell, Modjeski & Moisseïff)>



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

3. Los “Cirujanos”



<Thomas Telford y el Acueducto de Pontcysyllte (Canal de Ellesmere, sobre el Dee, 1805, arcos de 13.7 m y pilas de 38 m)>



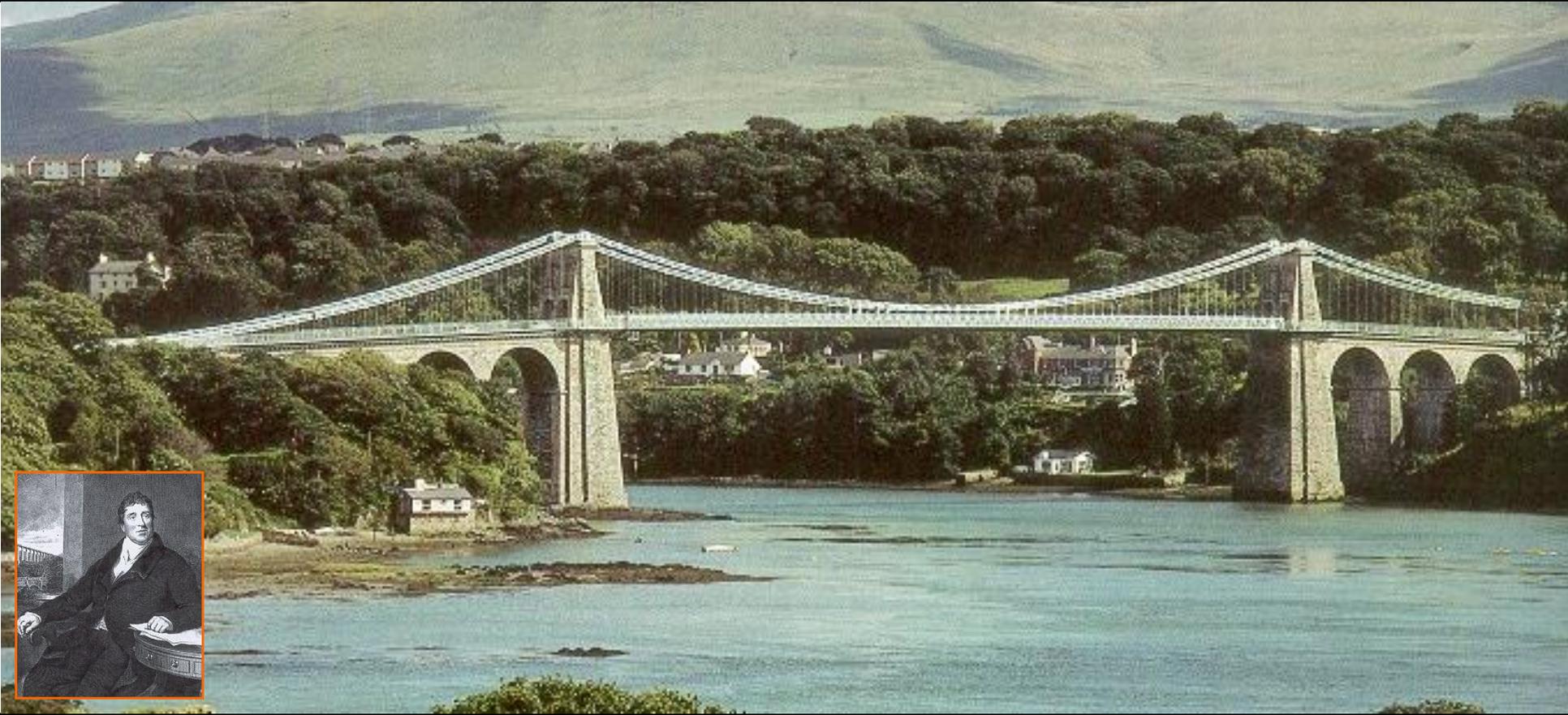
3. Los “Cirujanos”



<Puente Mythe, sobre el Severn (1826, Arcos de hierro de 52 m con tímpanos triangulados, T. Telford)>



3. Los “Cirujanos”



<Puente de Menai Straits (Norte de Gales, 1826, colgante de 177 m con cadenas planas de hierro, T. Telford)>



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

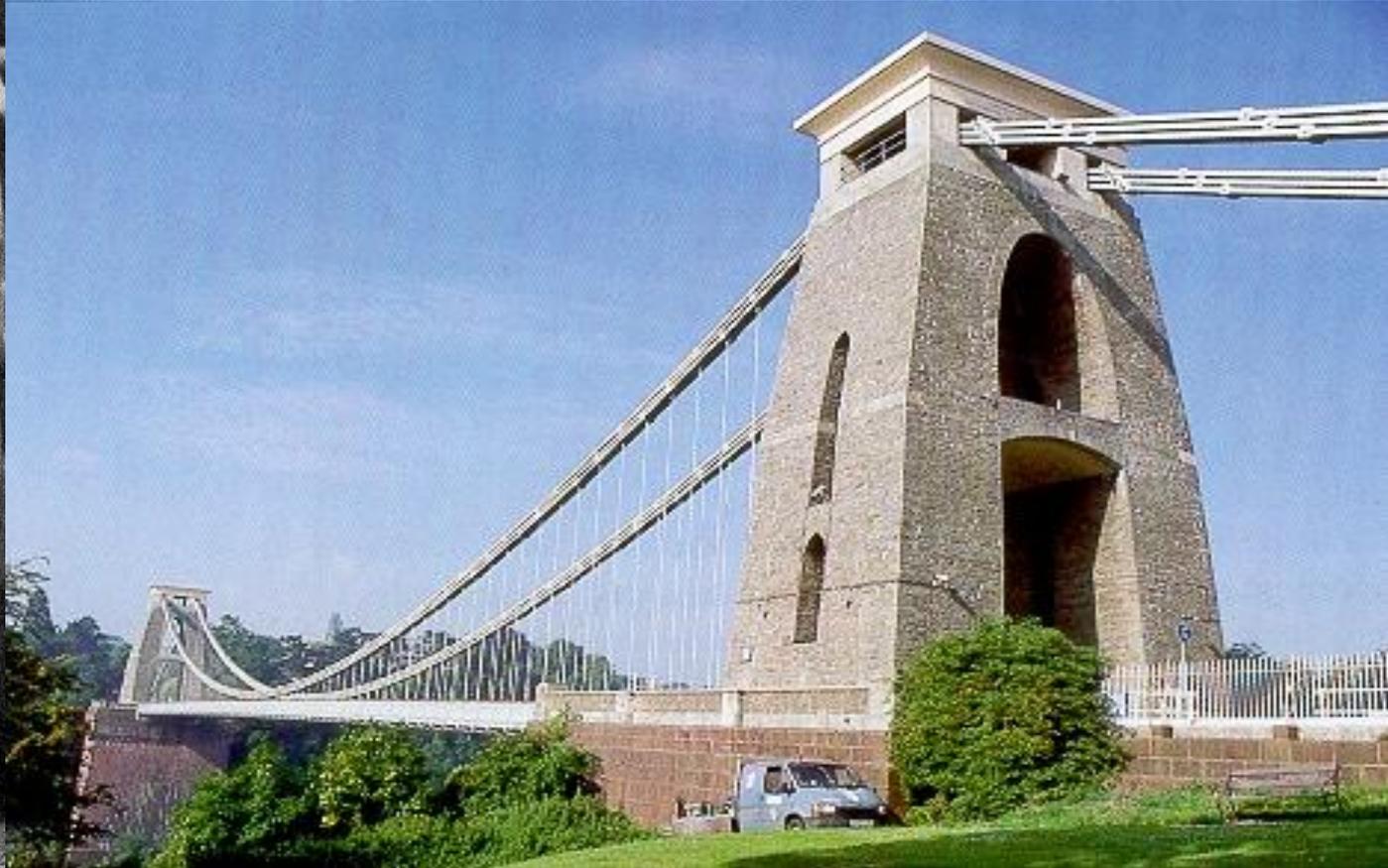
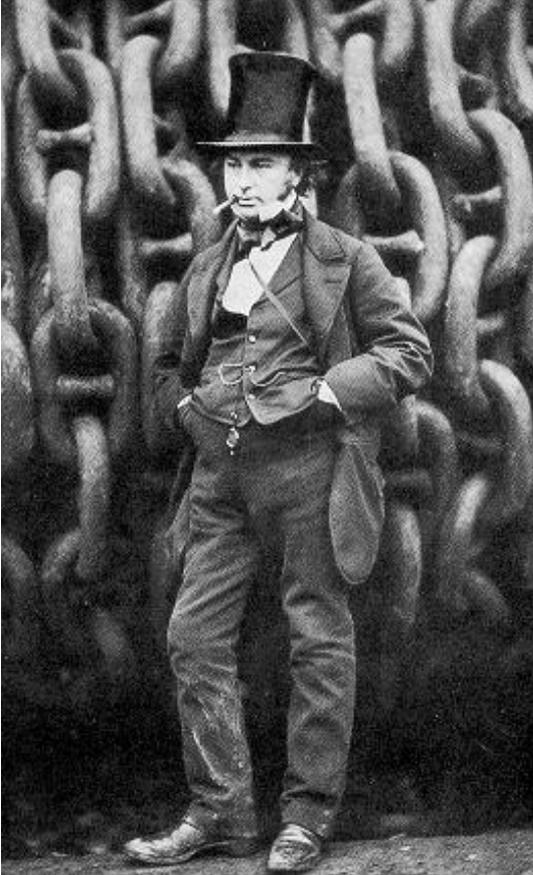
3. Los “Cirujanos”



<Puente Over, sobre el Severn (Gloucester, 1827, arco de piedra de 47.5 m con cuernos de vaca, T. Telford)>



3. Los “Cirujanos”



<Isambard Kingdom Brunel y el Puente de Clifton, sobre el Avon (Bristol, 1865, 214 m)>



3. Los “Cirujanos”



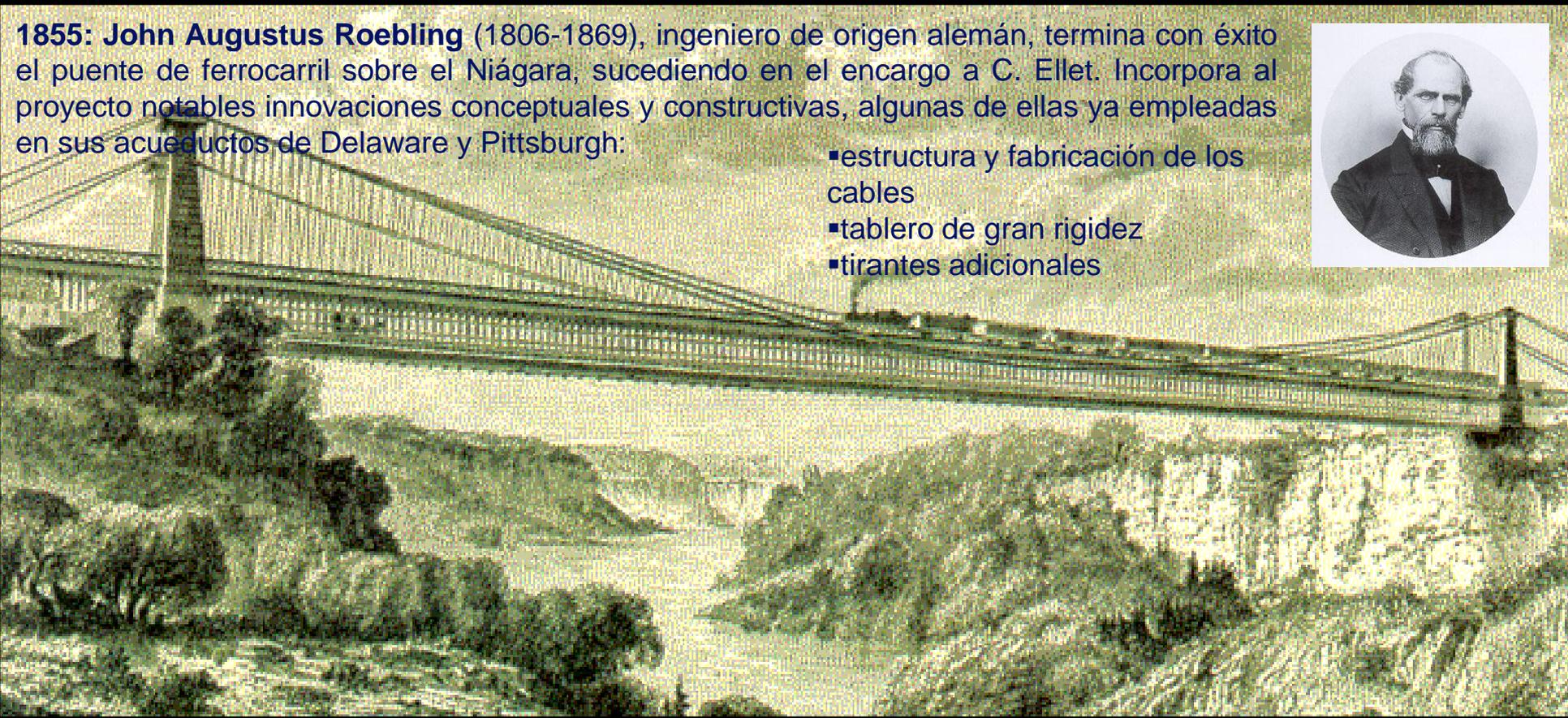
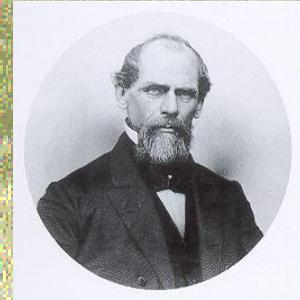
<Puede Royal Albert, en Saltash, sobre el Tamar (FC en el Sur de Gales, 1859, 2 vanos de 132 m, I.K. Brunel)>



3. Los “Cirujanos”

1855: John Augustus Roebling (1806-1869), ingeniero de origen alemán, termina con éxito el puente de ferrocarril sobre el Niágara, sucediendo en el encargo a C. Ellet. Incorpora al proyecto notables innovaciones conceptuales y constructivas, algunas de ellas ya empleadas en sus acueductos de Delaware y Pittsburgh:

- estructura y fabricación de los cables
- tablero de gran rigidez
- tirantes adicionales



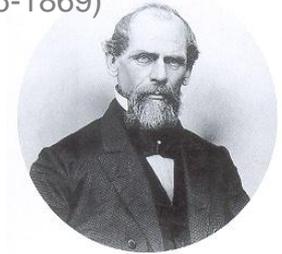
<J.A. Roebling y el Puente de ferrocarril sobre el Niágara (1855, 250 m)>



3. Los “Cirujanos”



▪ John A. Roebling (1806-1869)



▪ Washington A. Roebling (1837-1926)



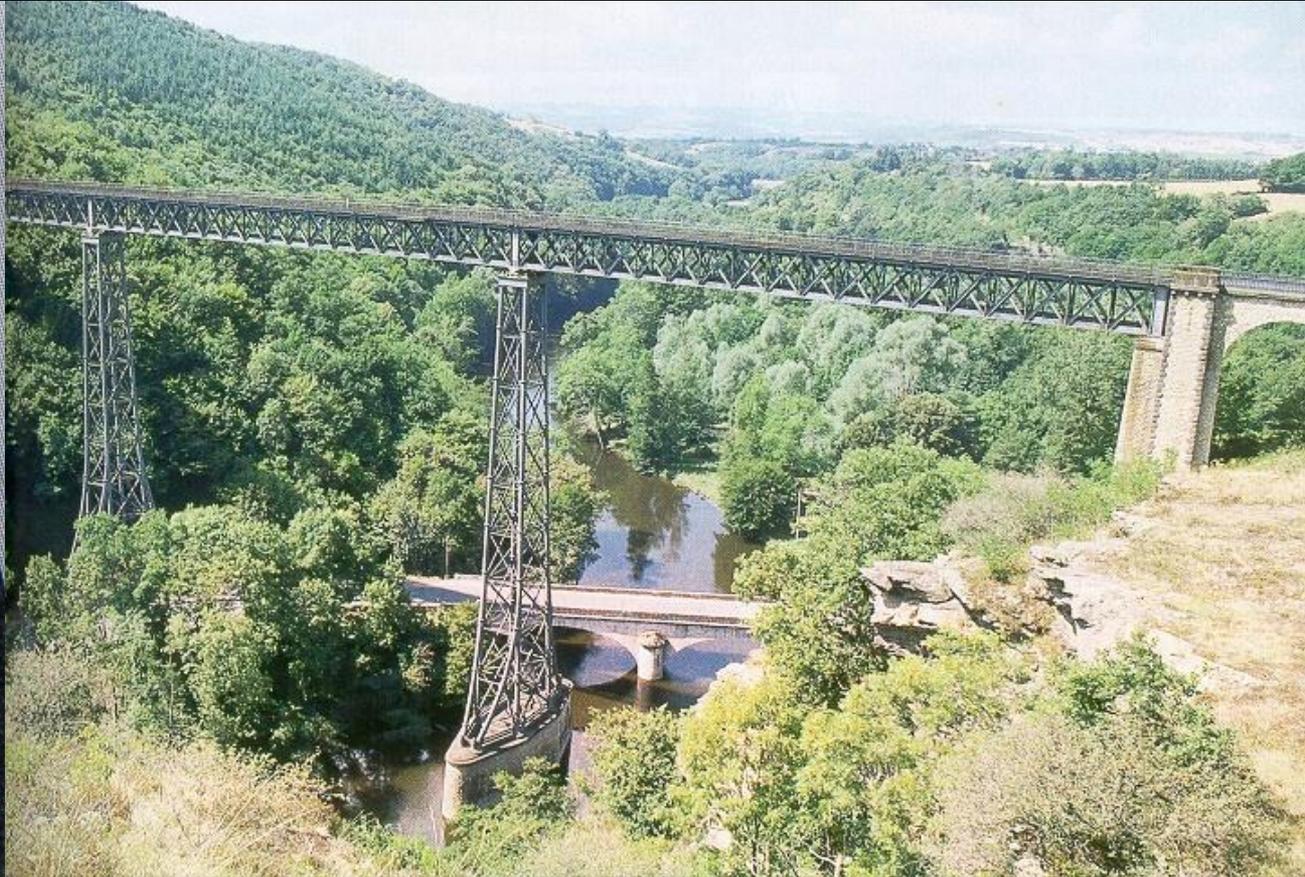
▪ Emily Warren Roebling (1843-1903)



<Puente de Brooklyn, sobre el East river (NYC, 1883, colgante de alambres de acero de 468 m, J.A. & W. Roebling)>



3. Los “Cirujanos”



<Gustav Eiffel y el Viaduc de Nieuval, sobre la Sioule (FC, vanos de 55+58+55 m en hierro, 1869)>



3. Los “Cirujanos”



<Ponte Maria Pia, sobre el Duero (Oporto, 1877, arco de hierro de 160 m, G. Eiffel)>



3. Los “Cirujanos”

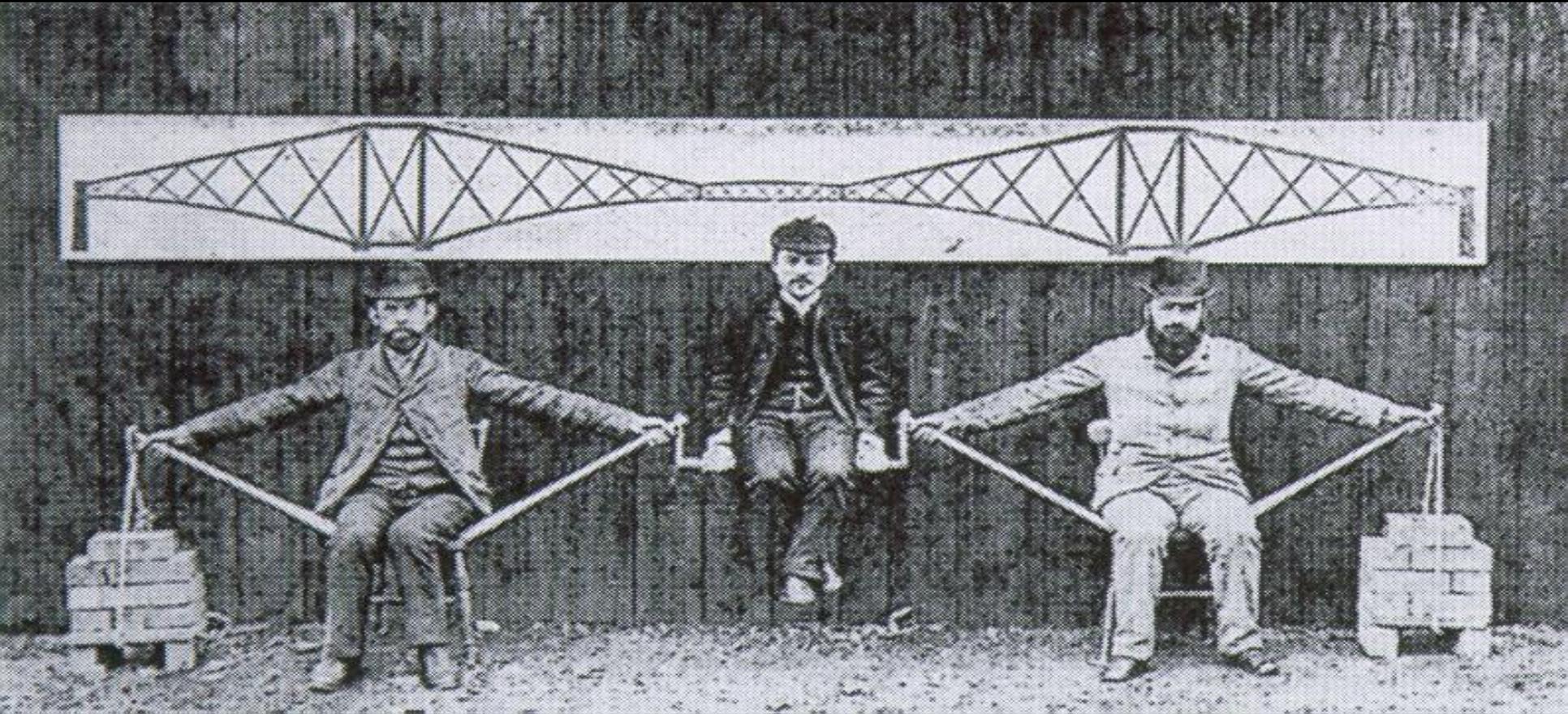


<Viaduc de Garabit, sobre el Truyère (FC, 1884, arco de hierro de 166 m, Eiffel-Koechlin-Boyer)>



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

3. Los “Cirujanos”

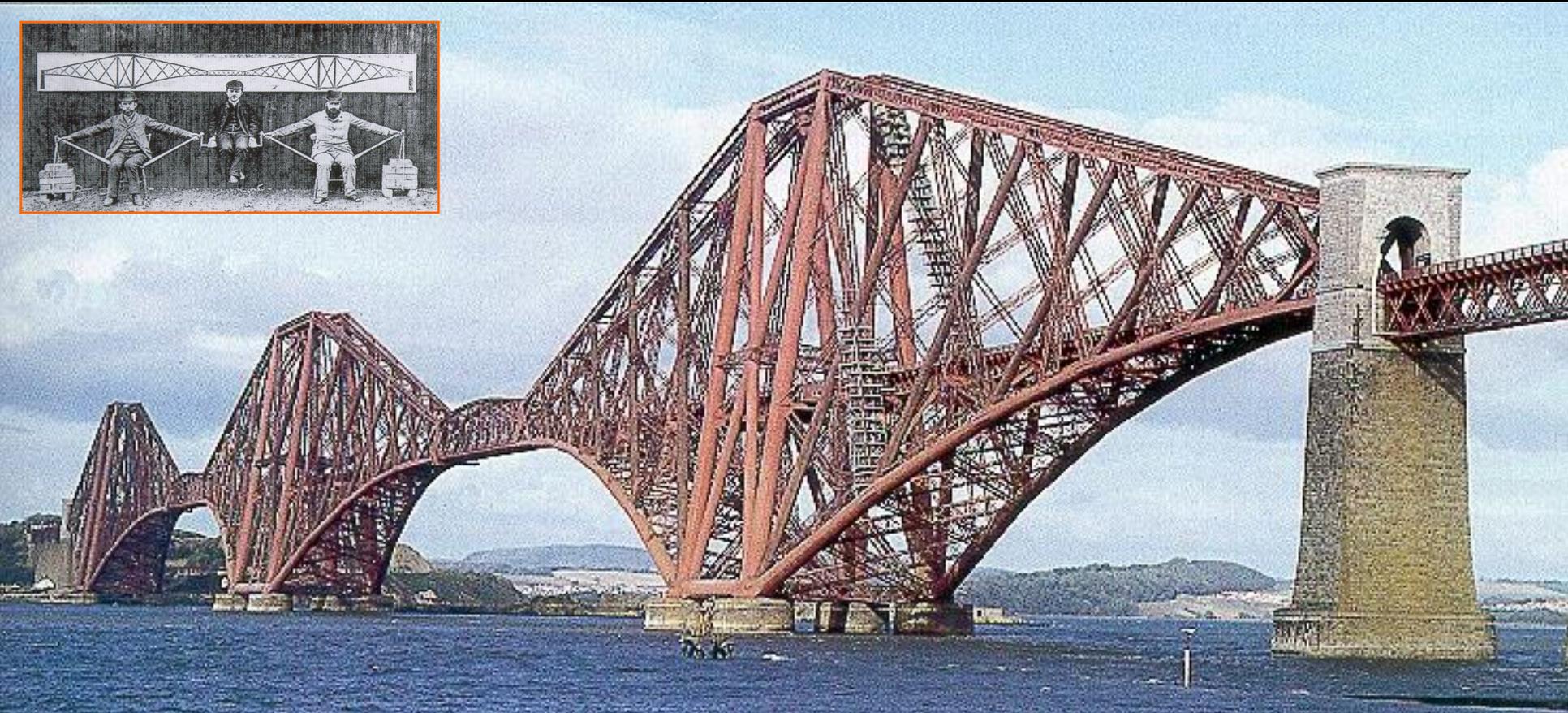
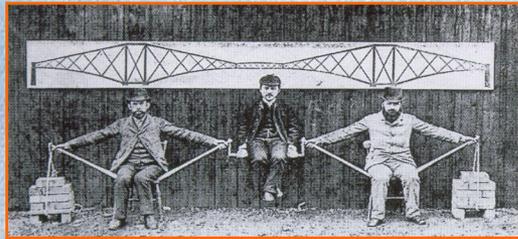


<Baker & Fowler ilustrando el esquema estático del puente del Firth of Forth>



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

3. Los “Cirujanos”



<Puede del Firth of Forth (FC en Escocia, 1890, cantilever de acero de 521 m, Baker & Fowler)>



3. Los “Cirujanos”



<Othmar H. Ammann y el Puente George Washington, sobre el Hudson (Manhattan Norte, 1931, vano principal de 1031 m)>



3. Los “Cirujanos”



<Puente George Washington, sobre el Hudson (vista lateral)>



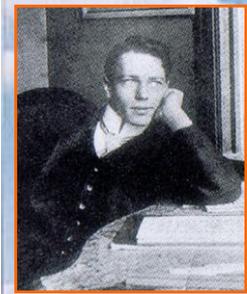
3. Los “Cirujanos”



<Puede de Bronx-Whitestone, sobre el East river (NYC, 1939, vano principal de 701 m, O.H. Ammann)>



3. Los “Cirujanos”



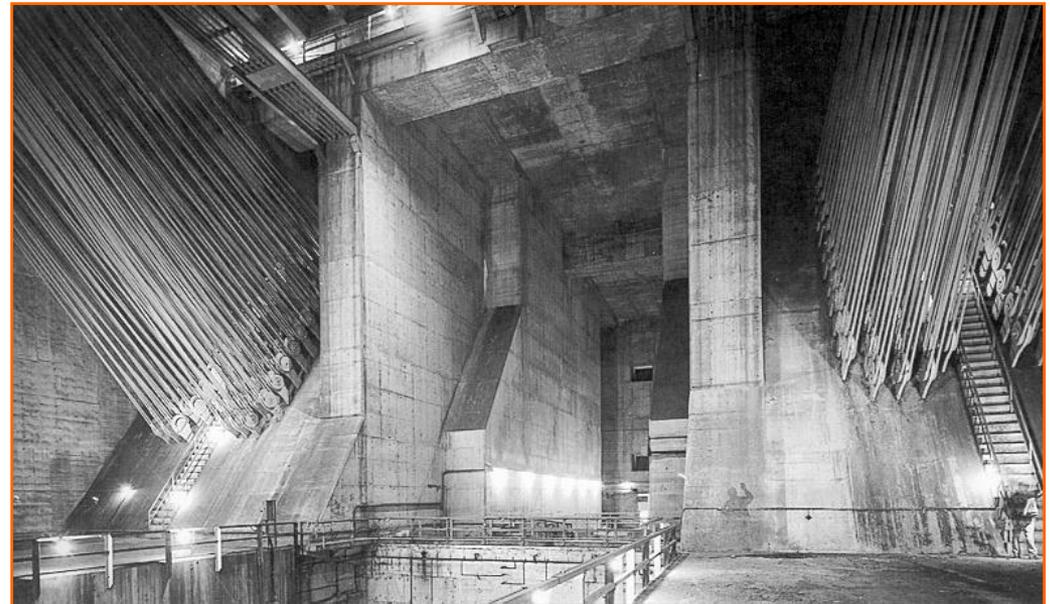
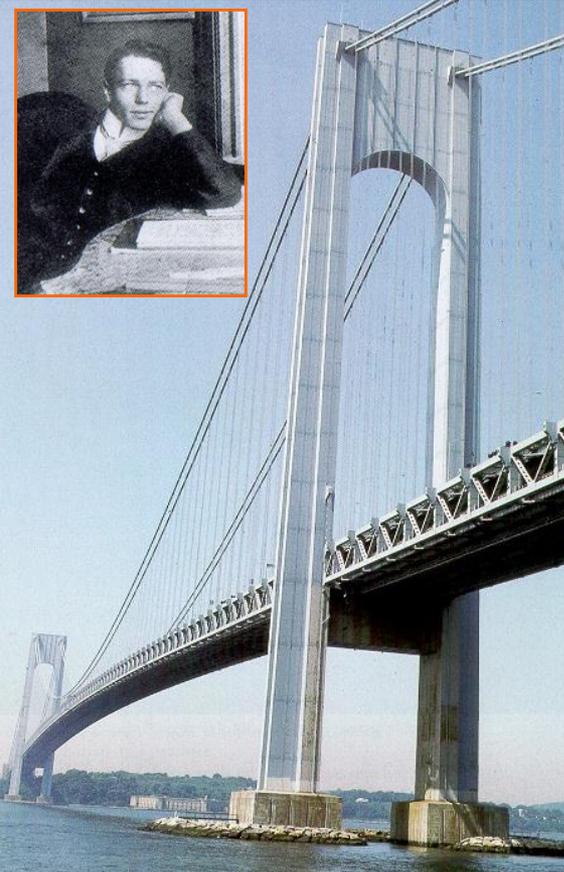
<Puente de Verrazano Narrows (entrada al puerto de NYC, 1964, vano principal de 1298 m, O.H. Ammann)>



**UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA**

3. Los “Cirujanos”

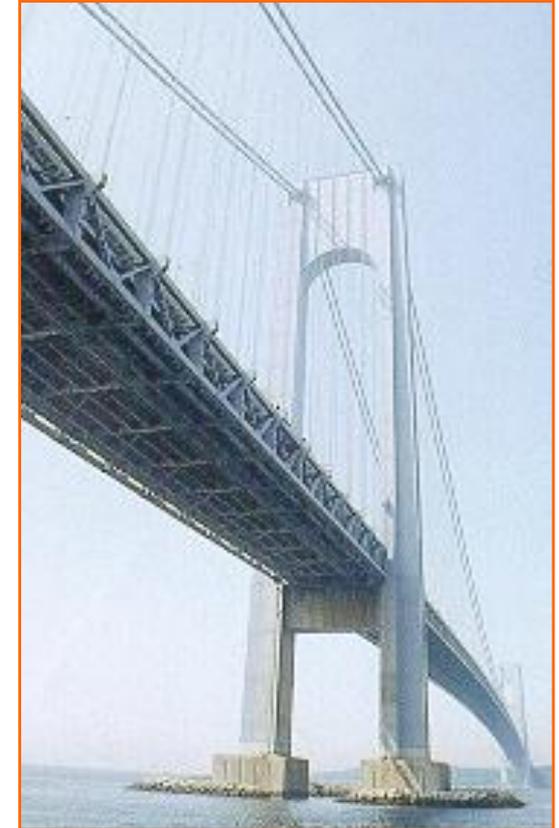
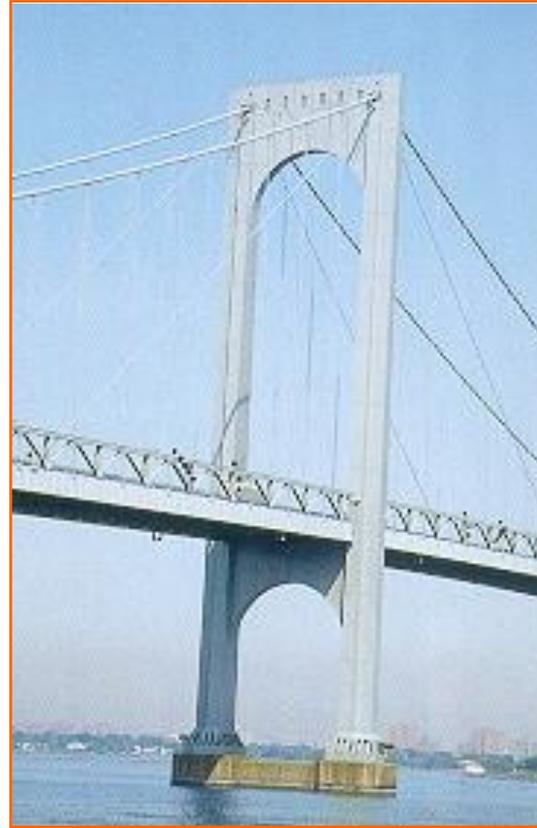
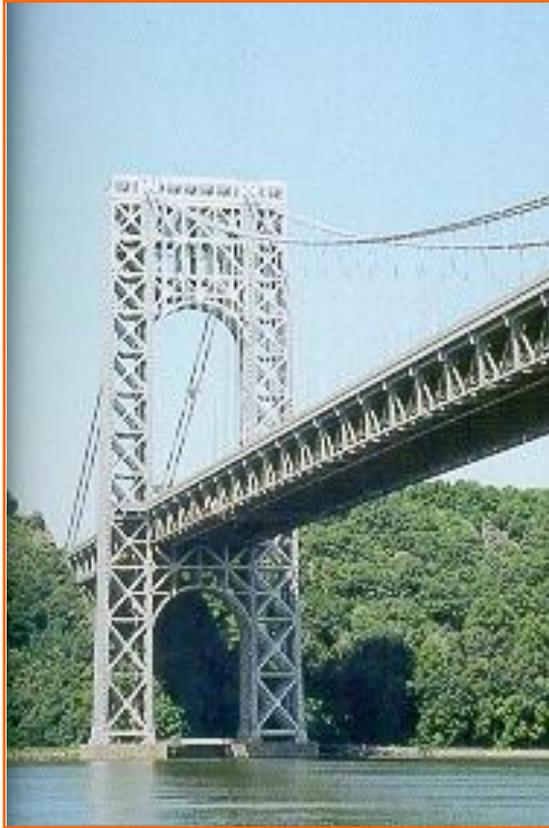
- Al entrar en la galería de anclaje, se abren los haces de los cuatro cables portantes, anclando individualmente mediante bielas de ojales cada uno de los alambres



<Puede de Verrazano Narrows (vista del pilono e interior del macizo de anclaje)>



3. Los “Cirujanos”



<Torres diseñadas por O.H. Ammann (George Washington, Bronx-Whitestone y Verrazano Narrows)>



3. Los “Cirujanos”



<Puente Bayonne, sobre el Kill van Kull (Staten Island-New Jersey, 1932, 504 m, O.H. Ammann)>



3. Los “Cirujanos”



<Puente Bayonne, sobre el Kill van Kull (Staten Island-
New Jersey, 1932, 504 m, O.H. Ammann)>



4. Algunos fracasos

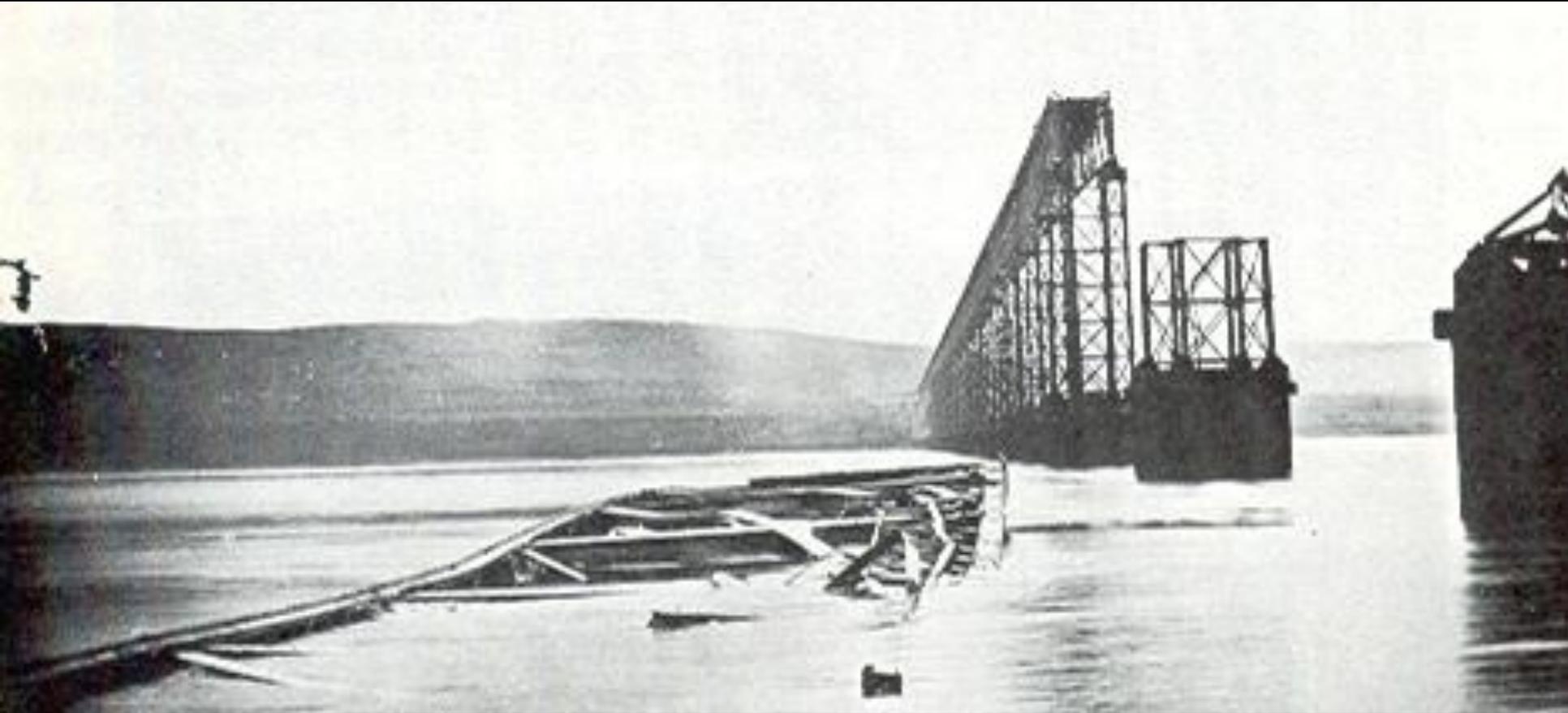


<Hundimiento del puente Wilson, sobre el Loira en Tours
(**socavación** por crecida en 1978, 15 arcos de 24 m de
1777)>



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

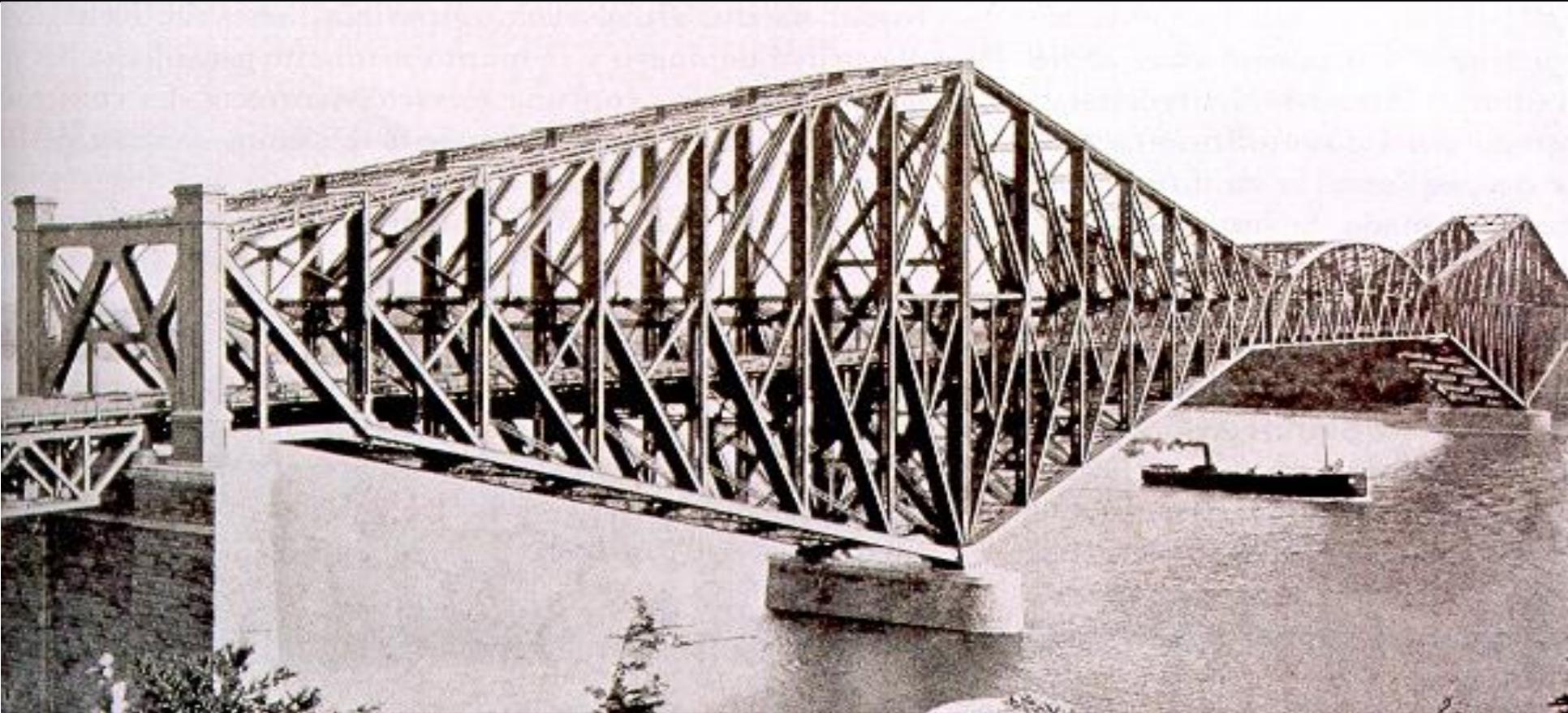
4. Algunos fracasos



<Hundimiento del puente del Firth of Tay (viaducto de FC de la línea Edimburgo-Dundee, 50 vanos de 64 m, la noche del 28/XII/1879 con **vientos** de 145 km/h, 75 víctimas)>



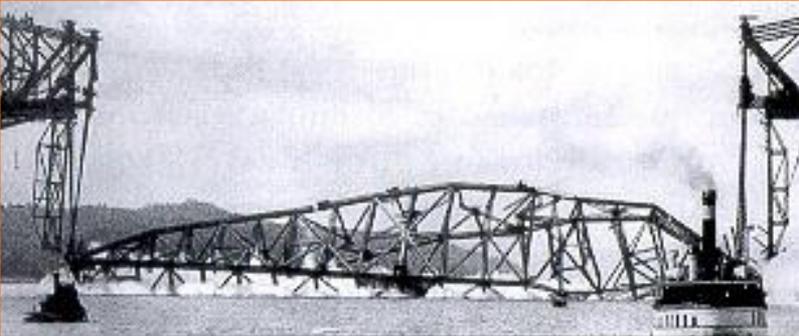
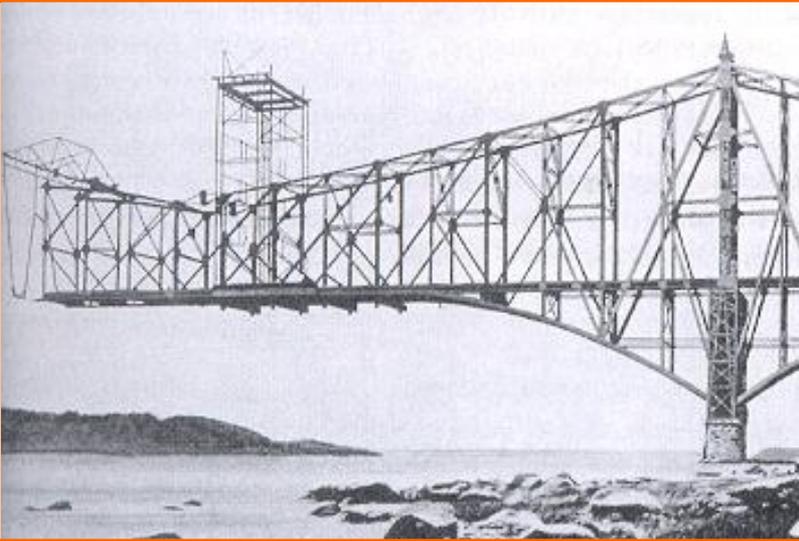
4. Algunos fracasos



<Puede de Quebec, sobre el San Lorenzo (cantilever finalizado en 1917, 548 m, Cooper & Modjesky)>



4. Algunos fracasos



- Sigue caído en el **caída del tramo central de la viga de corlón inferior del vano en voladizo**

4. Algunos fracasos

- ❑ Desde 1820 (Union Bridge) el viento provocó numerosos colapsos de puentes colgantes *modernos*, por sus efectos:

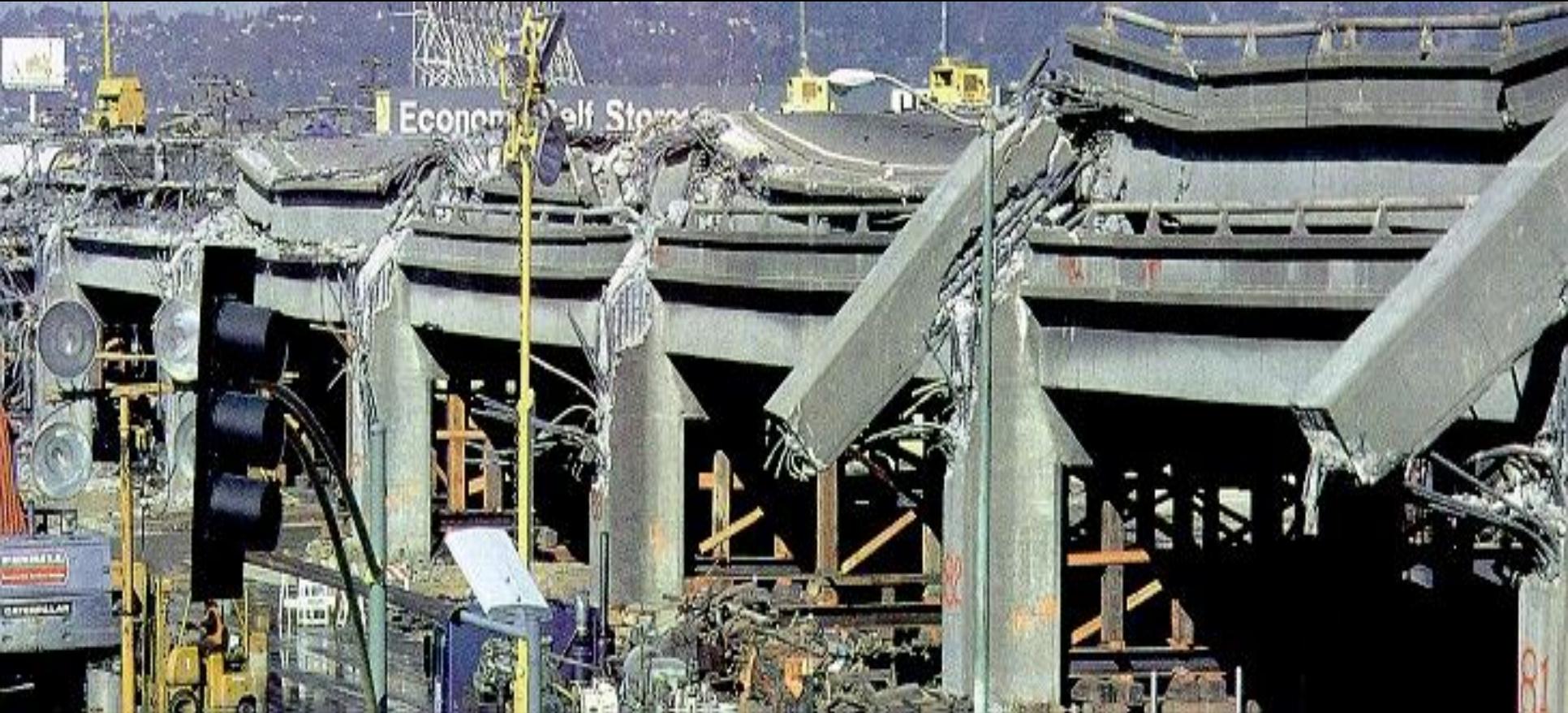
1. **Estáticos** (presión/arrastre)
2. **Dinámicos** (vibración/aleteo)



- Oscilaciones del **puente de Tacoma Narrows** antes de su hundimiento, a los 4 meses de su inauguración (Seattle, Washington, 01/07/1940 a 07/11/1940, 854 m. Movimientos asociados al modo de torsión)

$$p_d = 1.23 \text{ kN/m}^2, \text{ para } v = 45 \text{ m/s}, p_u = 0.20 \text{ kN/m}^2, \text{ para } v = 18 \text{ m/s} \blacksquare$$

4. Algunos fracasos



<Estado del **Cypress viaduct**, en San Francisco, tras el terremoto de Loma Prieta, en 1989>



5. El Hormigón Armado: formas a voluntad



<Robert Maillart y el Puente de Salginatobel, en la carretera de Schiers a Schuders>



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

5. El Hormigón Armado: formas a voluntad

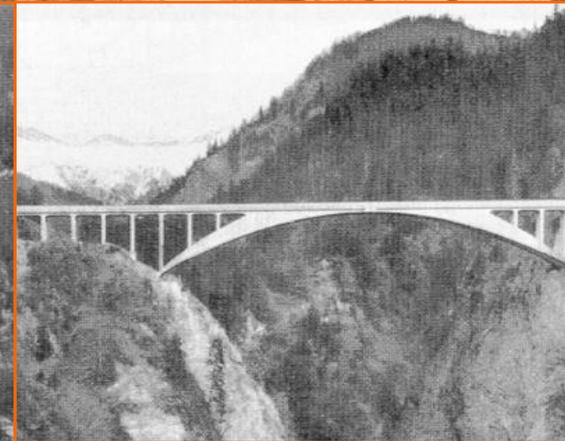
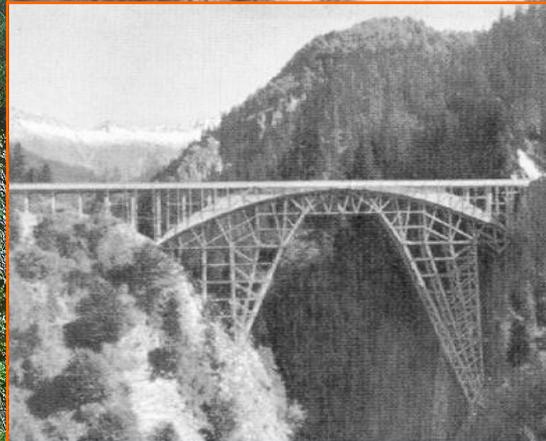


<Puente de Salginatobel (1930, arco de hormigón armado triarticulado de 90 m de luz, R. Maillart)>



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

5. El Hormigón Armado: formas a voluntad



<Puente de Salginatobel, vista longitudinal desde el arranque, fases de la cimbra de Richard Coray y descimbrado>



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALÈNCIA

5. El Hormigón Armado: formas a voluntad



<Puente de Felsegg, sobre el Thur, entre Henay y Uzwill (1933, arco de hormigón triarticulado de 72 m y accesos, R. Maillart)>



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

5. El Hormigón Armado: formas a voluntad



**<Puente de Felsegg, sobre el Thur, entre Henay y Uzwill
(detalles del tablero, rótulas y accesos, R. Maillart)>**



5. El Hormigón Armado: formas a voluntad



<Puente sobre el ferrocarril en Lachen (1940, dos arcos en cajón, apoyo del tablero con solo un tabique sobre arranques, R. Maillart)>



5. El Hormigón Armado: formas a voluntad



<Puede sobre el Sime, en Garstatt (1940, arco de hormigón triarticulado de 32 m, la última obra de Robert Maillart)>



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

5. El Hormigón Armado: formas a voluntad

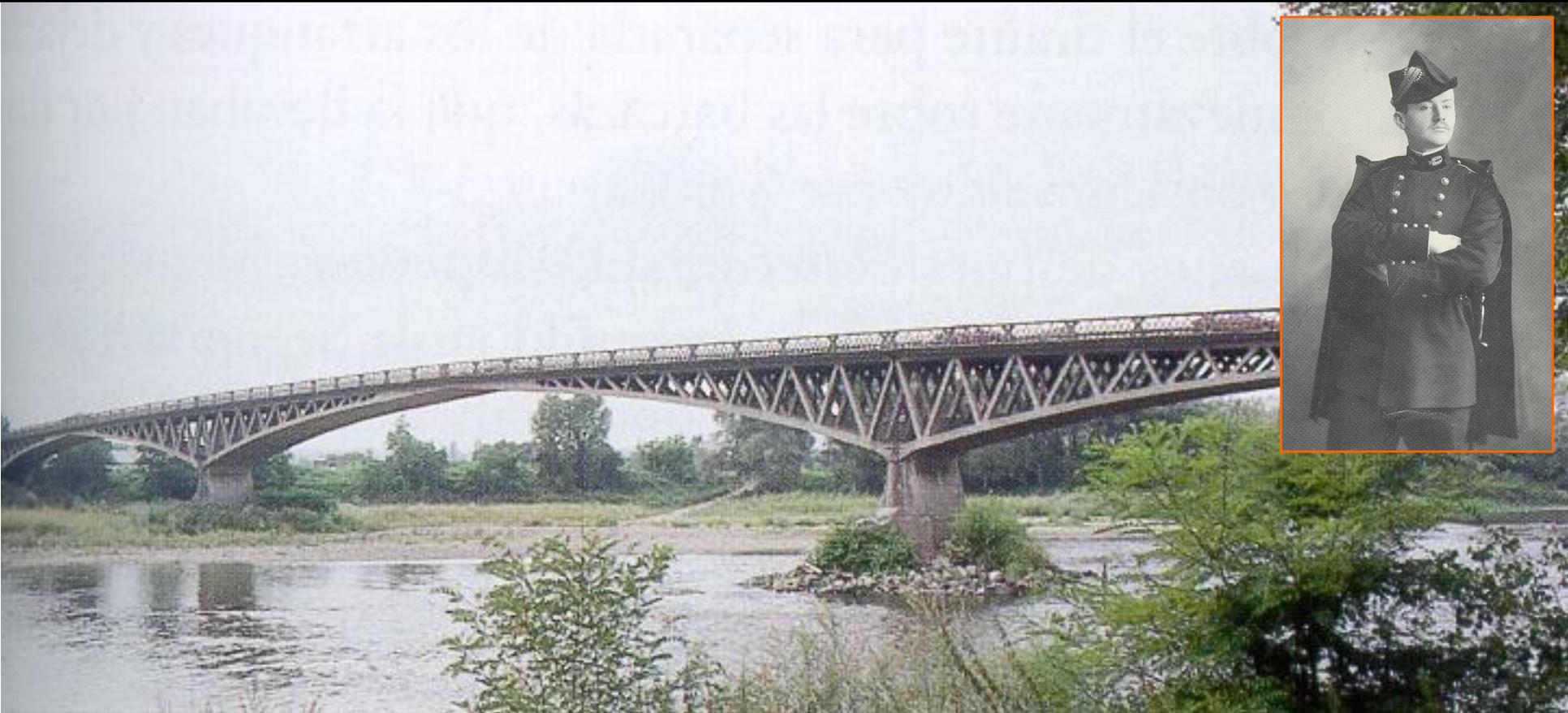


<Puente de Aversserrsheim (1960, un claro homenaje de Christian Menn a Robert Maillart)>



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

5. El Hormigón Armado: formas a voluntad



<Puente del Boutiron, sobre el Allier (1912, arcos triarticulados de 77 m con tímpanos triangulados, E. Freyssinet)>



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

5. El Hormigón Armado: formas a voluntad



<Puente del Boutiron, sobre el Allier, cerca de Vichy
(detalle de la balastrada y de la junta del tablero sobre pilas)>



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

5. El Hormigón Armado: formas a voluntad



<Puente de Villeneuve sur Lot, en el Lot et Garonne (1919, arco de hormigón en masa de 97 m, E. Freyssinet)>



**UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA**

5. El Hormigón Armado: formas a voluntad

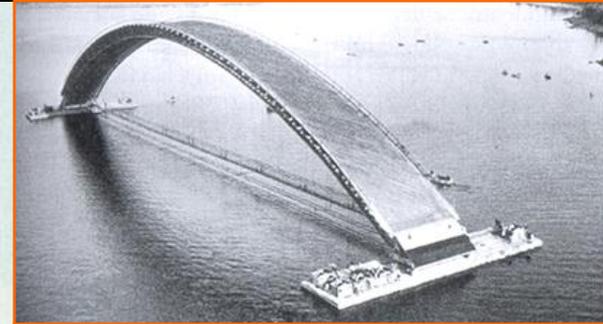


<Puente Albert Louppe, sobre el Elorn, en Plougastel (1930, FC y carretera, tres arcos biempotrados de 186 m, E. Freyssinet)>



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

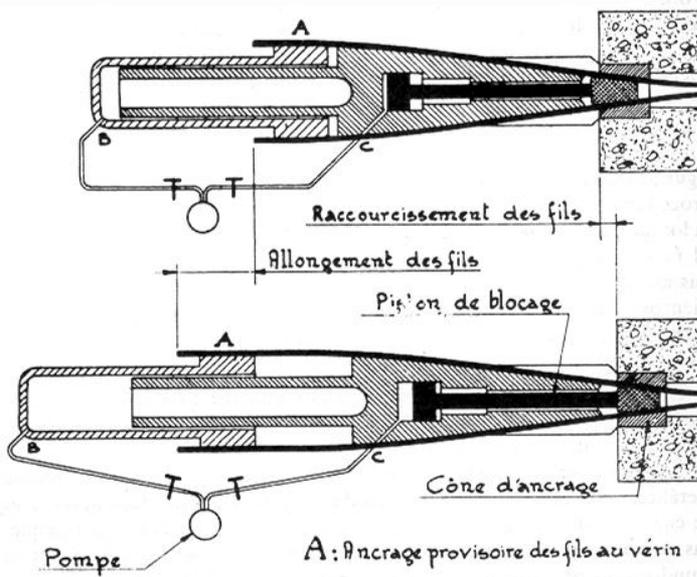
5. El Hormigón Armado: formas a voluntad



<Puente Albert Louppe (perspectiva desde el arranque del primer arco, cimbra flotante y distintas fases de la construcción de los arcos)>

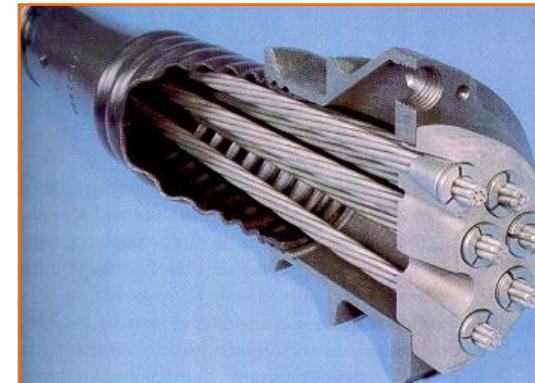


6. El Hormigón Pretensado: reconstruir europa a bajo precio



▪**1939:** Freyssinet inventa el gato y los conos de anclaje, poco voluminosos y económicos.

▪Le siguieron numerosos sistemas, con alambres, torones o barras y diferentes tipos de anclajes: **DYWIDAG**, **Polensky & Zöllner**, Baur-Leonhardt, Beton & Monierbau ...en Alemania, **BBRV**, **VSL**... en Suiza, **SGTM** en Francia, además del propio **Freyssinet**, Barredo en España, **CCL** y **Lee-Mc Call** en Inglaterra, **Morandi** y **Rinaldi** en Italia, **Magnel-Blaton** en Bélgica, **Roebing** y **PCC** en EEUU...



<Elementos del pretensado: anclaje de cuñas individuales, anclaje completo y gato de tesado (todos ellos fieles a la concepción original de Eugène Freyssinet)>

6. El Hormigón Pretensado: reconstruir europa a bajo precio



<Los Puentes de la serie del Marne (1951, 74 m, E. Freyssinet y J. Chaudesaigues. Campenon Bernard)>



6. El Hormigón Pretensado: la economía de medios



**<Puente de Oosterschelde, sobre el Escalda Oriental
(Holanda, 1965, longitud total 5 km, con vanos de 95 m)>**



**UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA**

6. El Hormigón Pretensado: la economía de medios



<Puente de Oosterschelde (detalle del vano típico y pila)>



6. El Hormigón Pretensado: la economía de medios



<Puede de Oosterschelde (construcción en voladizo con dovelas prefabricadas de 600 T y juntas húmedas)>



6. El Hormigón Pretensado: la economía de medios



<Puente de Gateway, en Brisbane (1985, vano máximo de 260 m)>



6. El Hormigón Pretensado: la economía de medios



<Puente sobre el Truyère (1993, pórtico de apoyos inclinados de 195.5 m de luz, construido mediante dovelas prefabricadas)>



6. El Hormigón Pretensado: la economía de medios



▪ Vista del acceso curvo con $R=200$ m

<Puede de Ganter (carretera de Simplón, 1982, vano máximo de 174 m, Christian Menn)>



6. El Hormigón Pretensado: la economía de medios



<Puente sobre el lago de Maracaibo (1962, vista general del viaducto, con vanos atirantados de 235 m, Ricardo Morandi)>



**UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA**

6. El Hormigón Pretensado: la economía de medios



<Viaducto de Polcevera (Génova, 1964, vanos de 210 m, R. Morandi)>



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

6. El Hormigón Pretensado: la economía de medios



<Puede sobre el Papalaopan (México, 1995, vano de 203 m, Carlos Fernández Casado S.L.)>



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

6. El Hormigón Pretensado: la economía de medios



<Puente Ingeniero Carlos Fernández Casado sobre el embalse de Barrios de Luna (1983, 440 m de luz, C.F.C.S.L.)>



**UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA**

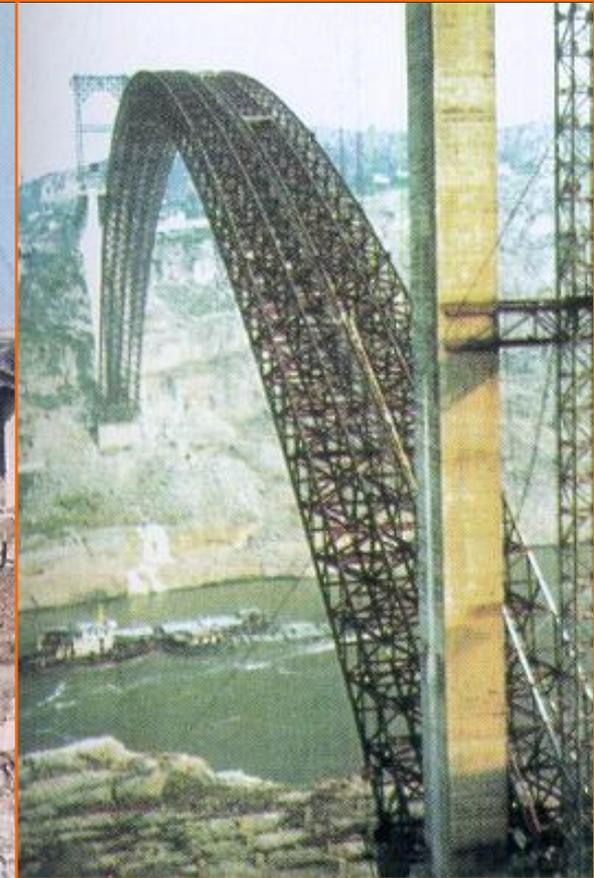
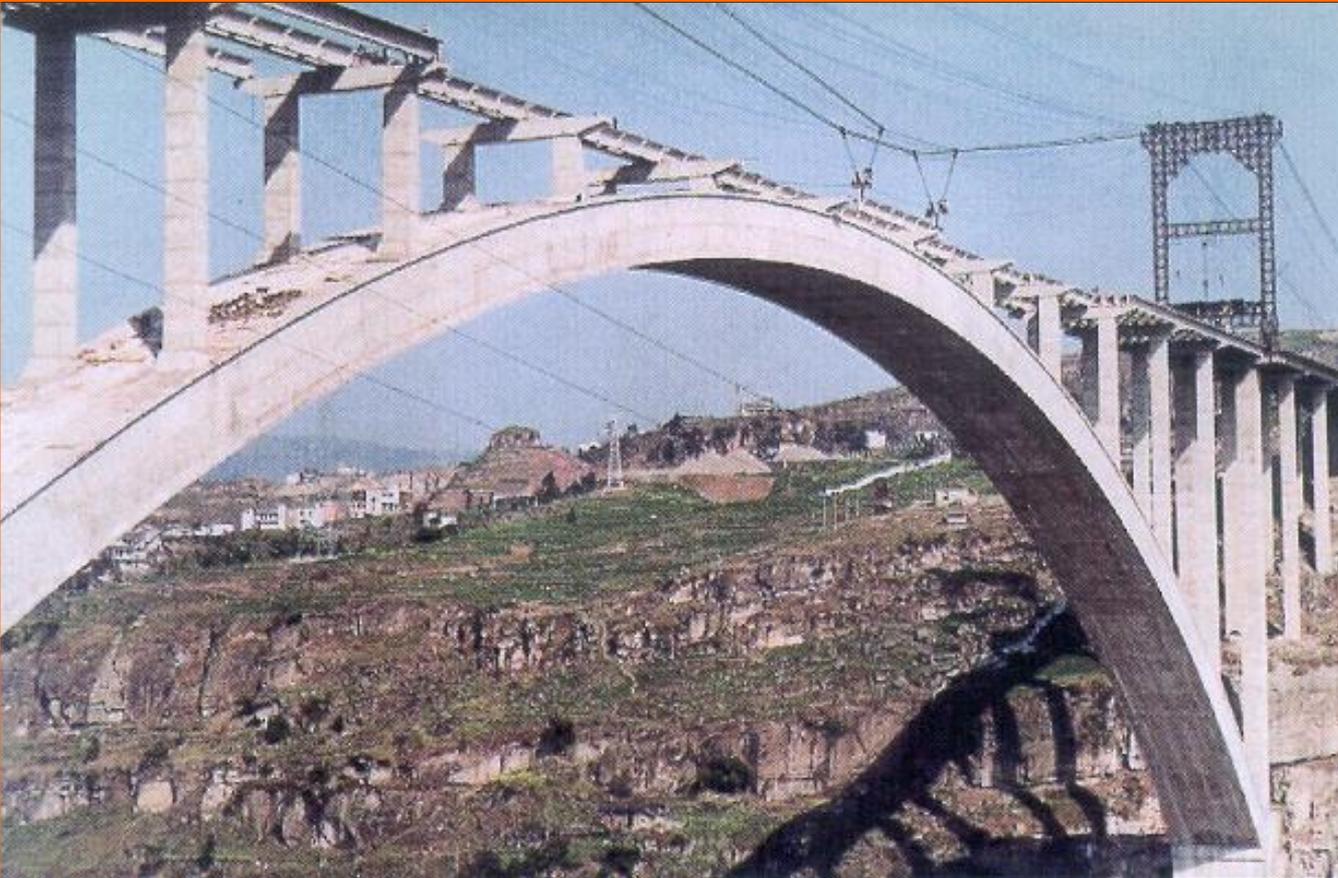
6. El Hormigón Pretensado: la economía de medios



<Puede de Skarnsundet (Noruega, 1991, vano principal de 530 m, construcción por voladizos sucesivos in situ)>



7. La frontera



<Ponte de Waxian sobre el Yangtze (república de China, 1997, arco de hormigón armado de 420 m, construido por el método Melán)>



7. La frontera



- 1) La obra en servicio
- 2) Construcción del arco mediante atirantamiento provisional
- 3) Ejecución del tablero



<Puede Lupu, sobre el río Huangpu (Shangai-China, 2003, vano central de 550 m)>



6. El Hormigón Pretensado: reconstruir europa a bajo precio



<Puede de Skarnsundet (Noruega, 1991, vano principal de 530 m, Hovland, Isaksen & Hansvold)>



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

7. La frontera



**<Puente de Sutong sobre el Yangtze
(25/05/2008, vano máximo de 1088 m)>**



7. La frontera



<Puede de Akashi-Kaikyo (Kobe, 1998, vano suspendido de 1990 m)>



8. Puentes urbanos: la golosina visual



<Pont Mirabeau, sobre el Sena (París, 1896, arcos compensados de acero de 93 m, Jean Résal)>



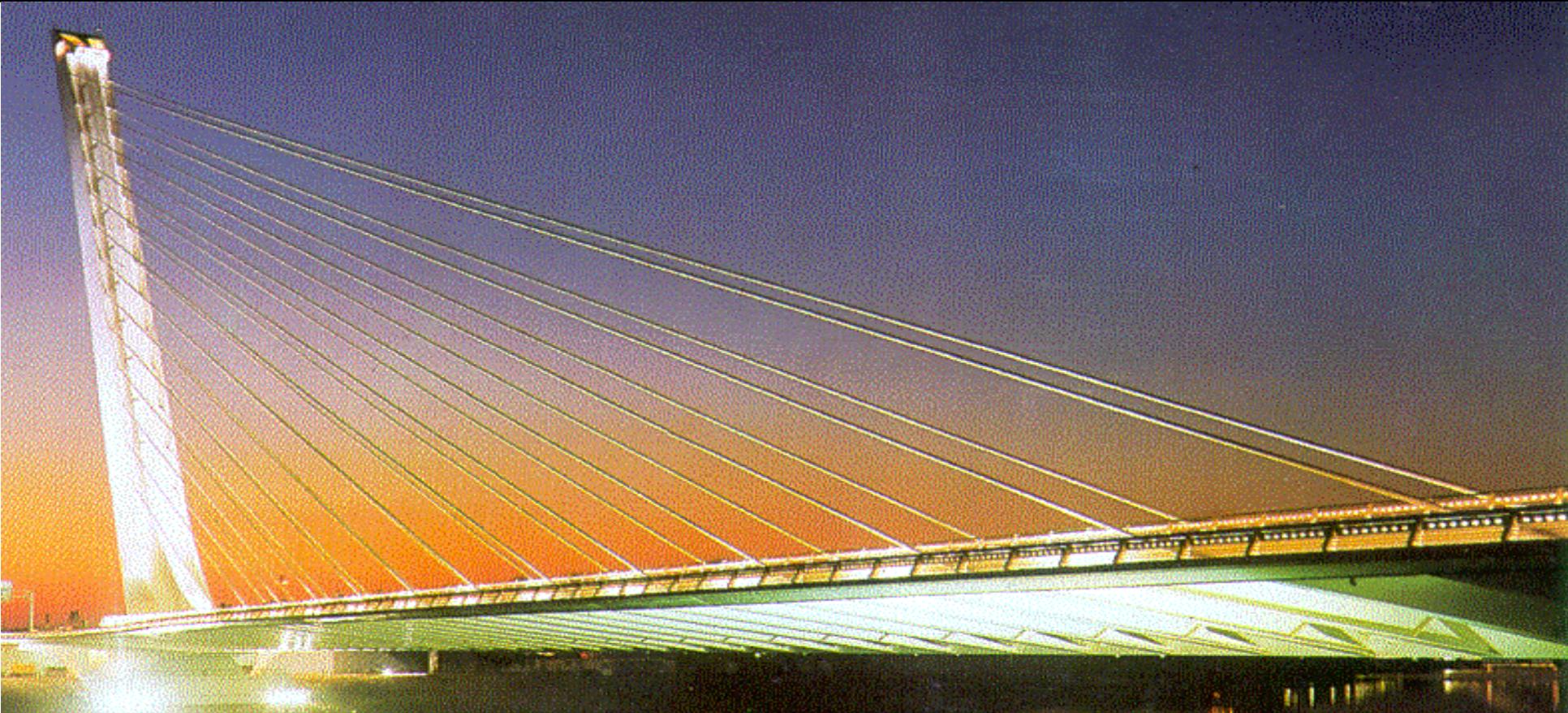
8. Puentes urbanos: la golosina visual



<Pont Alexandre III, sobre el Sena (París, 1900, 15 arcos triarticulados de acero de 107 m, Jean Résal)>



8. Puentes urbanos: la golosina visual



<Puentes del Alamillo, sobre el antiguo cauce del Guadalquivir
(1991, 5.000 €/m², un vano de 200 m, Santiago Calatrava)>



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

8. Puentes urbanos: la golosina visual



<Puede Erasmus, sobre el Maas (Rotterdam, 1996, 12.000 €/m², vano atirantado de acero de 284 m, Ben van Berkel)>



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA