

# Puentes en Arco Atirantado

SUBTITULO

Octubre 2023

Matías A. Valenzuela.

# Referencias



© 2020

## Proceedings of ARCH 2019

9th International Conference on Arch Bridges

Editors: **Arêde**, António, **Costa**, Cristina (Eds.)

# Referencias

## Information on the Network Arch

by Per Tveit

Home

The Network Arch

Systematic Thesis

Masters Thesis

My Publications

Supplementary Information

Map of Bridges

### Welcome to my homepage

The network arch bridge is an arch bridge with inclined hangers. Some of the hangers cross each other at least twice.

If you are not familiar with network arches and have 4 minutes, you can read the first page of [The Network Arch](#).

If you want more information you might start reading Preliminary Design of Network Arch Road Bridges with two examples spanning 93 m and 120 m. You can find it [here](#).

If you would like to have a good general updated knowledge on network arches, read "[On Network Arches for Architects and Planners](#)".

There is a lot of information in the 18 pages in "About The Network Arch". It can be found [here](#).

A lot of information on network arches can be found [here](#). These 15 pages were presented at NSBA World Steel Symposium in San Antonio, USA, November 2009.

If you are looking for information on a specific piece of information, it might be best to look at the index on page 2 of "[Systematic Thesis](#)"

The most extensive information on network arches can be found in Stephan Teichs dissertation which can be found here [http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/8604/Dissertation\\_Teich.pdf](http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/8604/Dissertation_Teich.pdf). It is in German.

Home

The Network Arch

Systematic Thesis

Masters Thesis

My Publications

Supplementary Informat

Map of Bridges



<https://home.uia.no/pert/index.php/Home>

# Puente en Arco Historia

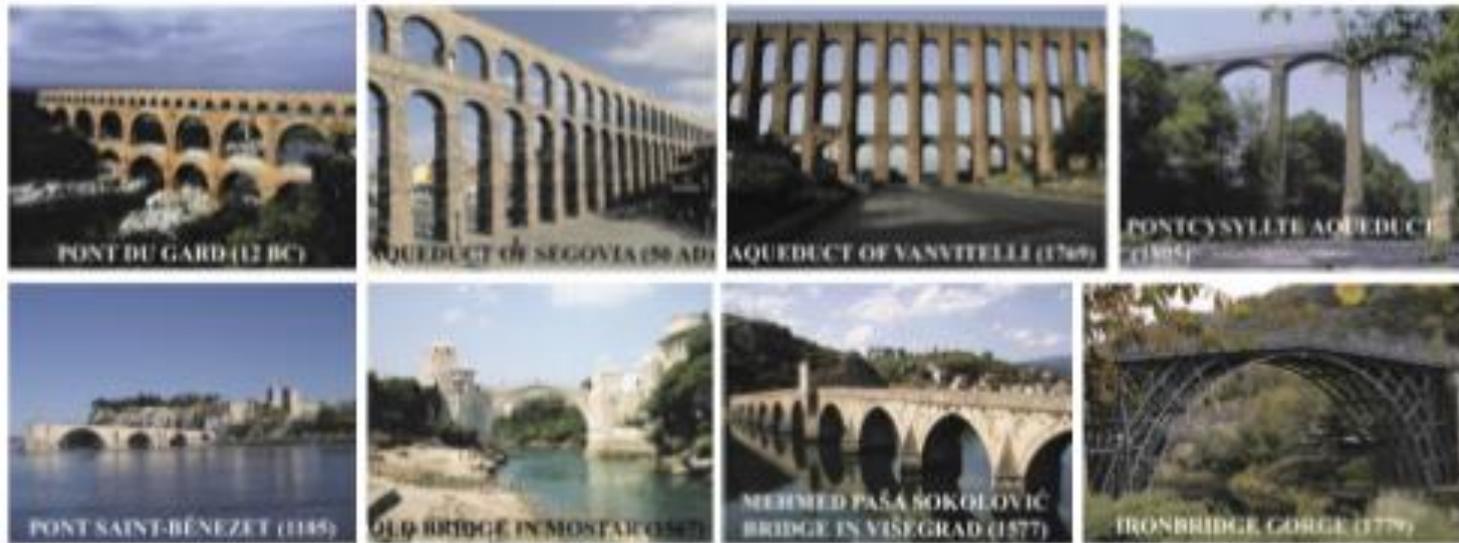


Figure 2: Arch bridges specifically listed as UNESCO World Heritage sites

# Puente en Arco Historia

Bridge	Name	Location	Construction Time
	Ponte Vecchio	Florence, Italy	996 reconstructed in 1345
	Mostar Old Bridge	Mostar, Bosnia and Herzegovina	1566 reconstructed in 2004
	Khaju Bridge	Isfahan, Iran	1650
	Sydney Harbour Bridge	Sydney, Australia	1923-1932
	Gateshead Millennium Bridge	Gateshead, England	2000-2001

# Puente en Arco

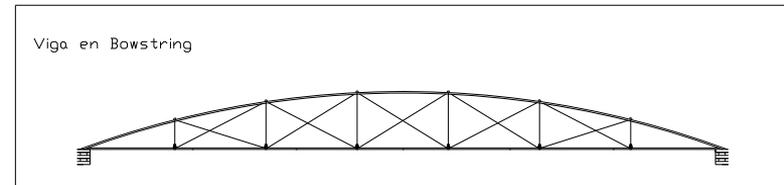
## Historia

Bridge	Name	Location	Construction Time	Designer
	Camille de Hogues Bridge across Vienne River	Châtelleraut, France	1899 - 1900	François Hennebique
	Salginatobel Bridge	Schiers, Switzerland,	1929 - 1930	Robert Maillart
	Plougastel Bridge	Plougastel-Daoulas, France	1926 - 1930	Eugène Freyssinet

Table 2: Concrete arch bridges designed by some of the world's most prominent engineers

# Referencias Estructural

- Puente Viga Triangular
  - A mediados del siglo XX los puentes metálicos con vigas de alma llena se restringieron a pequeñas luces.
  - Reemplazo por las vigas trianguladas metálicas a puentes de gran envergadura.
- a) Vigas Bowstring:
  - La primera en aparecer.
  - Patente realizada por Squire Whipple
  - Tipo de viga semejante a arcos superiores.
  - Consiste en barras montantes verticales espaciadas regularmente y barras diagonales dispuestas entre ellas.



# Generalidades

- El arco resiste por su forma las cargas o acciones que actúan, siendo el mecanismo resistente frente a esfuerzos axiales de compresión.
- Materiales que trabajan bien frente a este tipo de esfuerzo:  
Mampostería, hormigón, entre otros.
- Estructura en dos dimensiones y lineal.

## Problema:

- En vialidad no es posible dejar esta forma y por ello ha de agregarse un segundo elemento, el tablero.
- La excepción: pasarelas peatonales de arco rebajado o arcos peatonales con accesos escalonados, tal como en Venecia.



# Generalidades

## Tablero:

- Tímpanos rellenos.
- Tímpanos aligerados: reduce costos en puentes de mayores luces
  - Losas con diafragmas discretos de hormigón o celosías.
  - Soporte tablero metálico.



# Generalidades

## Problema:

- Sobrecarga variable → No antifunicularidad (acción directa)
- Pérdida de forma:
  - Acortamiento axial (acciones indirectas)
  - Retracción
  - Fluencia
- Cimentación:
  - Cargas horizontales
  - Asientos horizontales → Pérdida de forma

## Campo de aplicación:

L > 100 metros mediante voladizo sucesivo.

L > 200 metros mediante atirantamiento.

# Generalidades

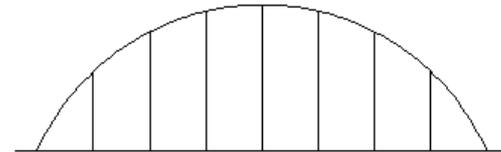
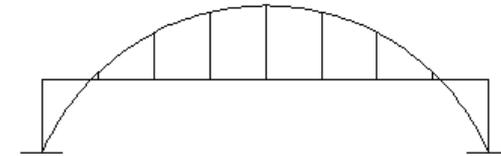
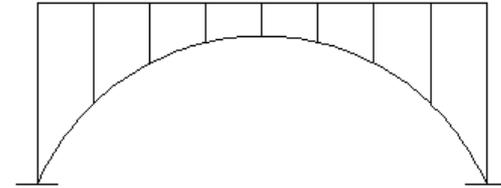
## Clasificación de puentes arco:

- Trabajan por forma.
- Siempre requieren un tablero.

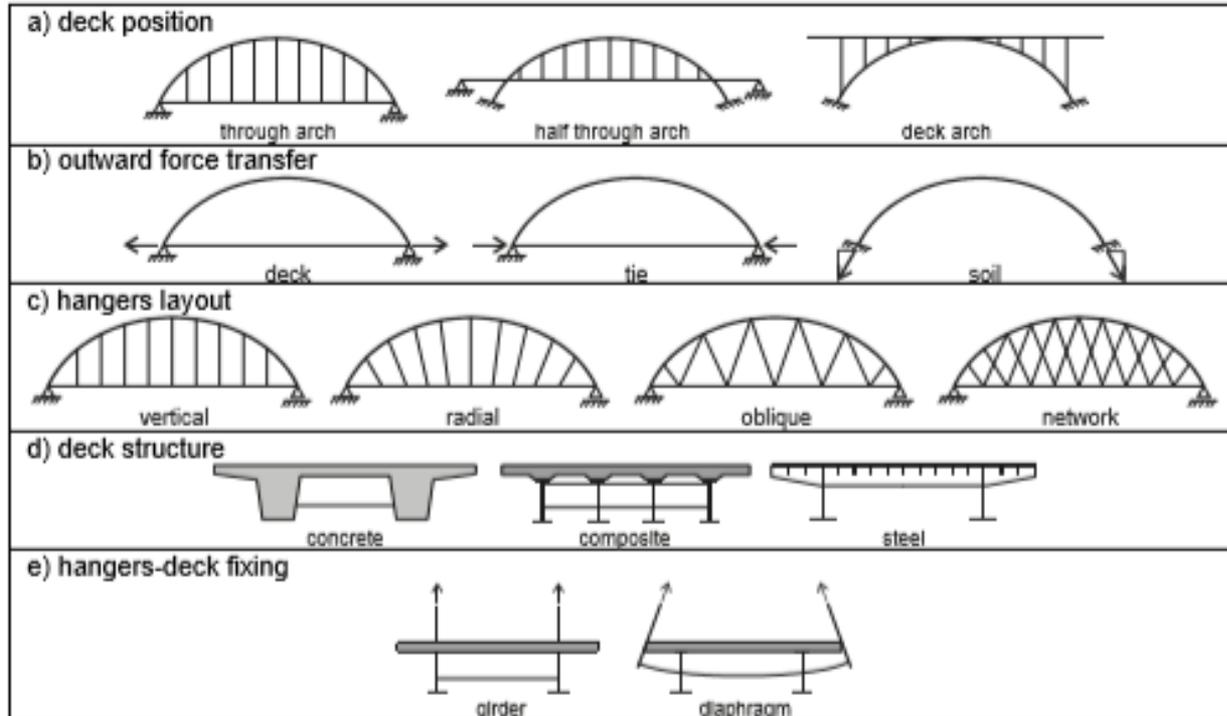
**Tablero superior:** tablero apoyado en arco sobre pilas.

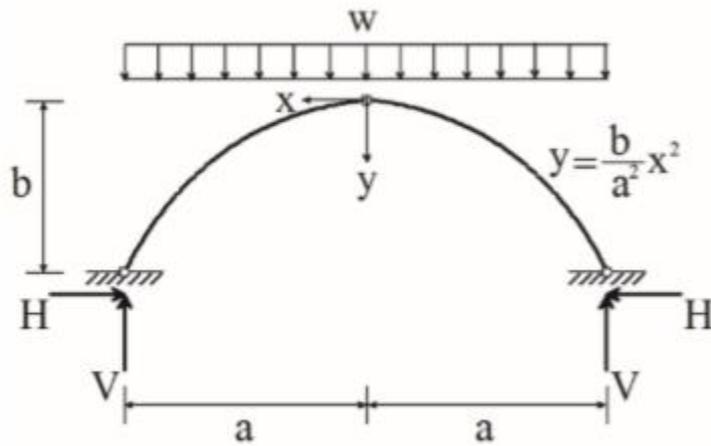
**Tablero intermedio:** combinación entre superior e inferior. Su disposición puede ser con arco en la mediana o desdoblada en los laterales (tablero colgado).

**Tablero inferior:** tablero suspendido por el arco. Éste no sólo resiste las cargas, sino también la tracción generada por el arco.



# Generalidades





Horizontal reaction  $H = \frac{a^2}{2b} w$

Vertical reaction  $V = aw$

Total reaction  $R = aw \sqrt{1 + \left(\frac{a}{2b}\right)^2}$

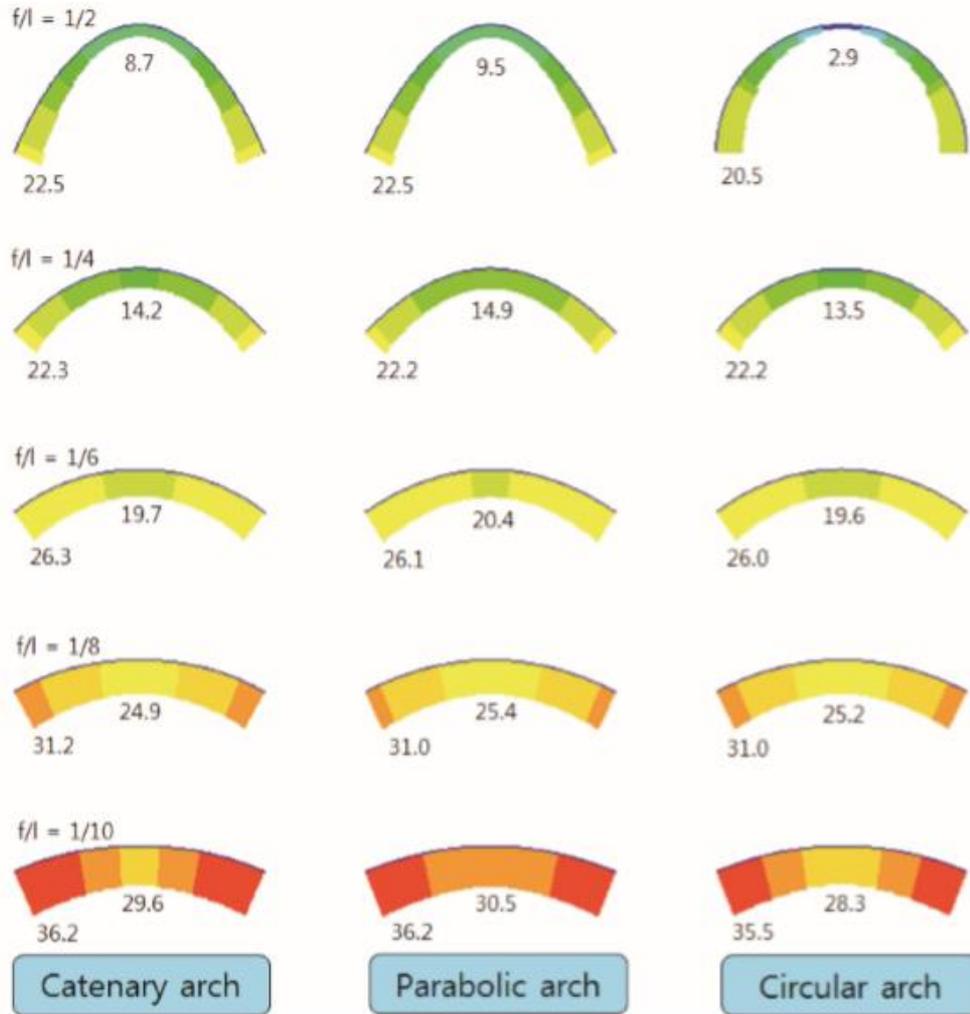
Axial force  $N = \sqrt{H^2 + (wx)^2}$

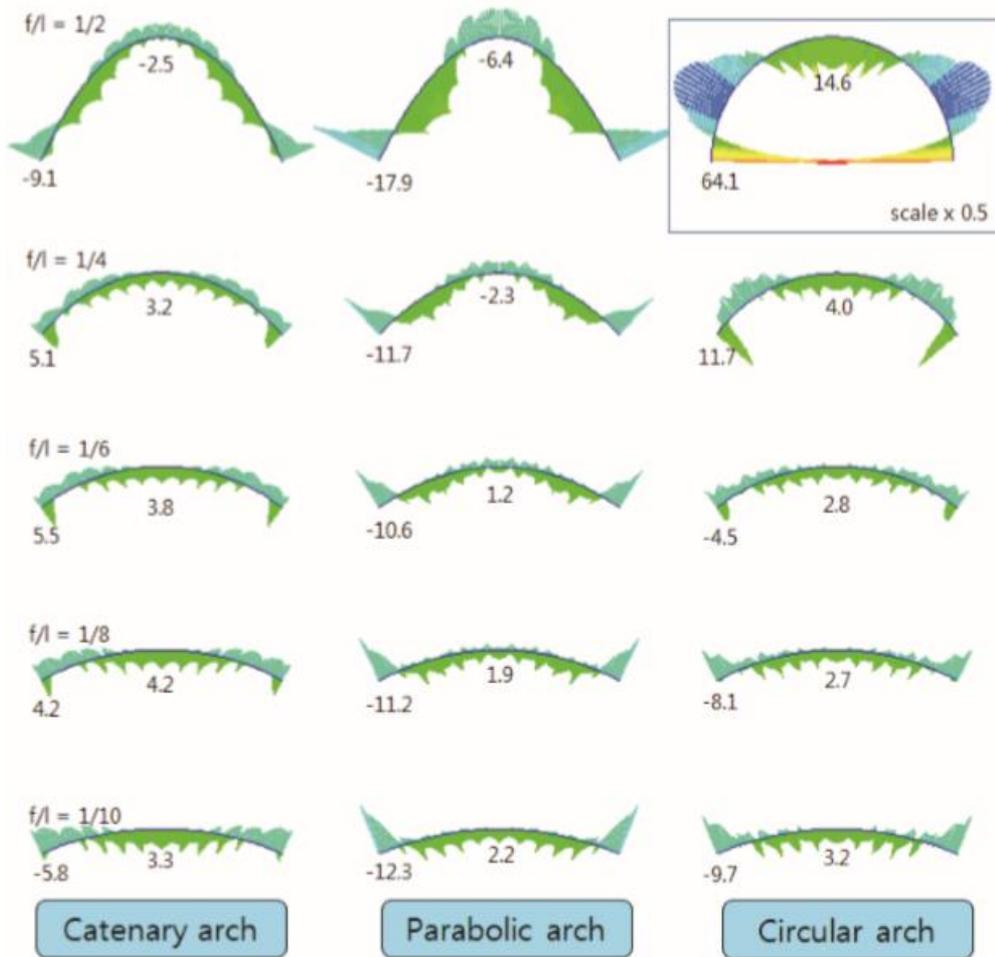
Bending moment  $M = 0$

Shear force  $Q = 0$

**THE EFFECTS OF DESIGN PARAMETERS ON  
STRUCTURAL BEHAVIOR OF ARCH RIB**

Man-Yop Han\*, Sang-Min Lee\*, Jong-Sung Sim\* & Se-Jin Jeon<sup>o</sup>





**THE EFFECTS OF DESIGN PARAMETERS ON  
STRUCTURAL BEHAVIOR OF ARCH RIB**

Man-Yop Han\*, Sang-Min Lee\*, Jong-Sung Sim\* & Se-Jin Jeon<sup>o</sup>

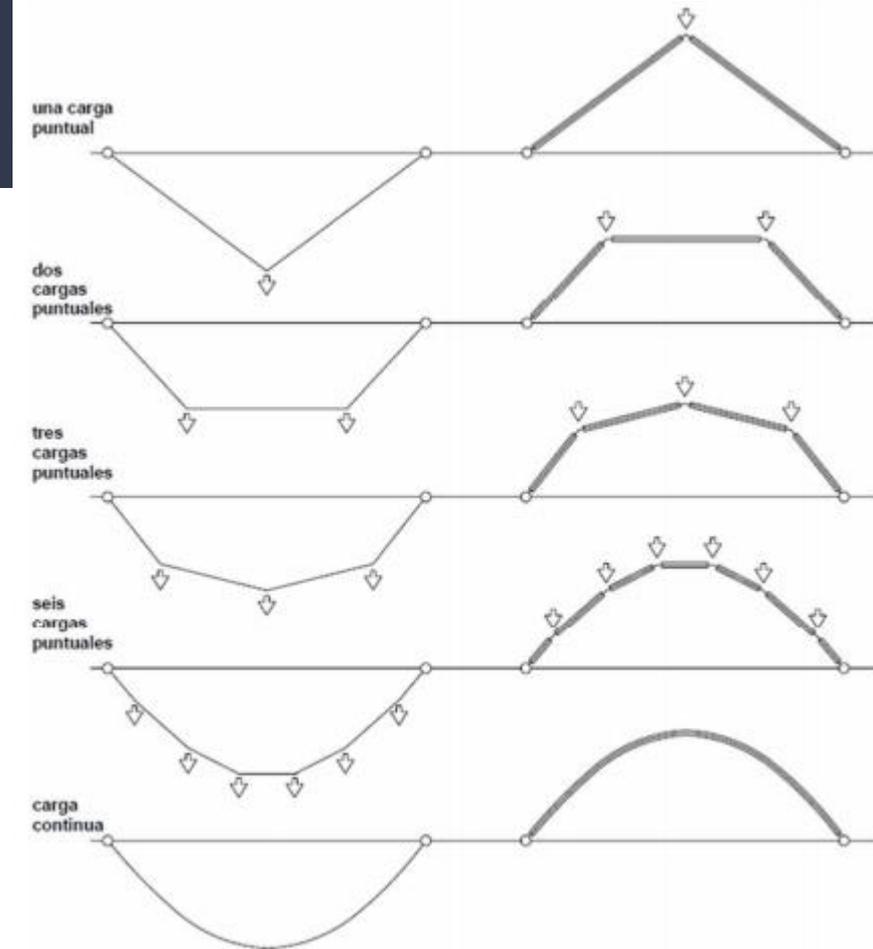
# Arco como antifunicular

- Forma de arco: pieza lineal curva o poligonal.
- Sometido a esfuerzos de compresión y en algunos casos a flexiones, que deberán ser reducidos.
- Antifunicular del sistema de las fuerzas actuantes
  - Generar el arco como el reflejo de la línea formada por la trayectoria de las fuerzas que actúan sobre el arco.

**Antifunicular** = Inversa de la funicular, asociada a la línea deformada de un elemento flexible ideal (cuerda) en la cual actúan algunas combinaciones de fuerzas.

No existe una única antifunicular, sino que serán infinitas a partir de las fuerzas actuantes y de las longitudes del arco.

- Las condiciones de equilibrio de la antifunicular transmiten a los apoyos fuerzas inclinadas.
- Apoyos inclinados en los puentes en arco con tablero superior
- Apoyos deben soportar tanto componentes verticales como horizontales
- Trabajo por forma del arco desde el momento en que se coacciona la componente horizontal, generando reacciones.



# Arco como antifunicular

- Requiere buenas cimentaciones que transmitan correctamente los empujes horizontales al suelo.
- Problema: malos suelos, que en muchas ocasiones llevan al colapso de la estructura.

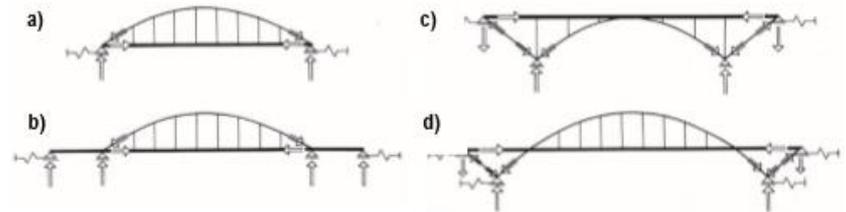
El comportamiento resistente de los arcos permite destacar las siguientes **ventajas**:

- Ausencia de tracciones.
- Trabajo sólo de axil, con reducida flexión, produciendo reducción de materiales.
- Arco poligonal utilizado frente a fuerzas aisladas.

**El comportamiento del arco** se define a partir de:

- **Geometría y Material:**

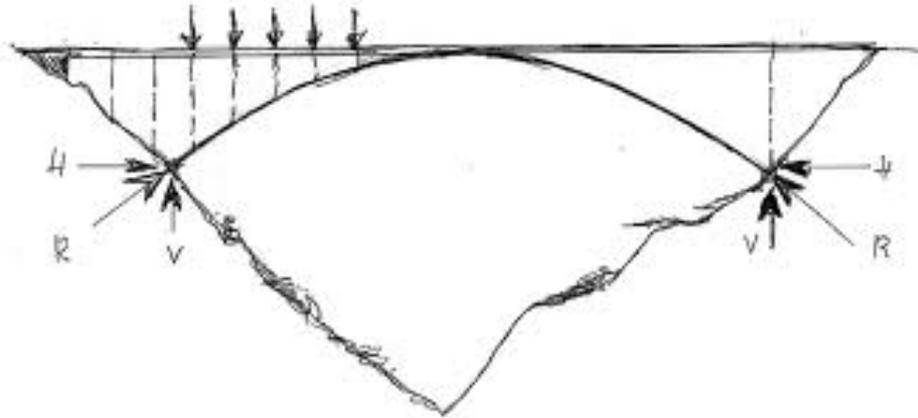
- Estudios por encontrar la directriz del arco, asociada al sistema de cargas, el cual es variable por las sobrecargas móviles.
- La directriz proyectada no será la línea antifunicular de todos los estados de carga, por lo que no es posible anular completamente las flexiones.
- Orden de magnitud de las flexiones → estudiar relación entre cargas móviles y permanentes (SC/PP).



# Tipología del arco

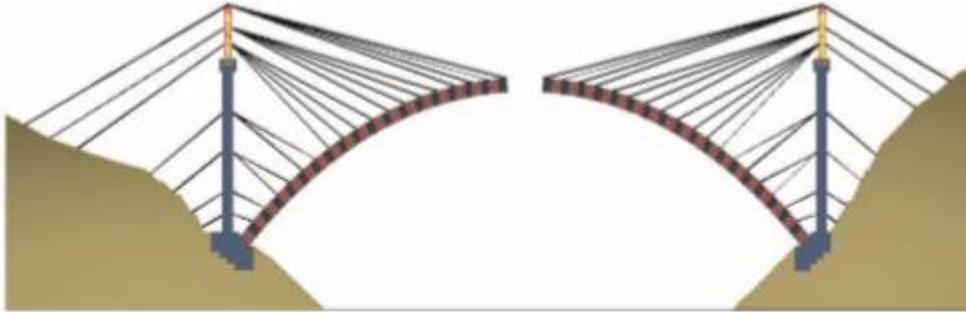
Dependiendo de la coacción en los apoyos la ley de flexiones en el arco variará → clasificación de los arcos según el tipo de apoyo:

a) **Arco empotrado:** se empotra en los extremos, induciendo pequeñas flexiones en el arco para cierta carga. Se ve muy afectado por acciones indirectas como: temperatura, asentos en la cimentación, fluencia, entre otros. Esto obliga en muchos casos a cimentaciones mejores.



# Tipología del arco

## Cable-stayed Cantilever Erection Method



El método de montaje en voladizo atirantado se utiliza principalmente para arcos de hormigón largos europeos y estadounidenses en los últimos años

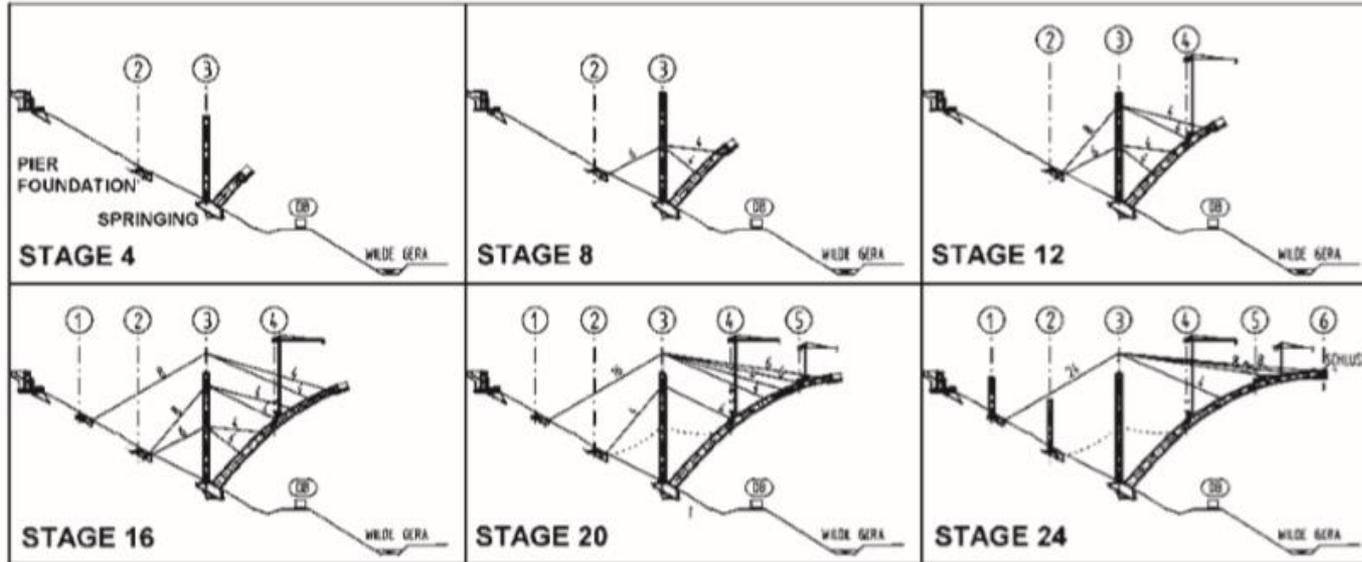


**SCHEME COMPARISONS OF NANPAN RIVER GRAND BRIDGE ON RAILWAY FROM YUNNAN TO GUANGXI**

Xu Yong, Chen Kejian, Ren Wei, Hu Jintao, He Tingguo & You Lihui

# Tipología del arco

## Cable-stayed Cantilever Erection Method



THE BRIDGE OVER THE WILDE GERA VALLEY  
THE LONGEST-SPANNING ROAD ARCH BRIDGE IN  
GERMANY

# Tipología del arco

## Cable-stayed Cantilever Erection Method

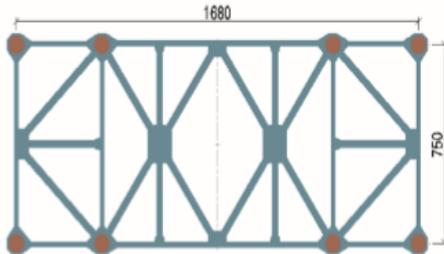
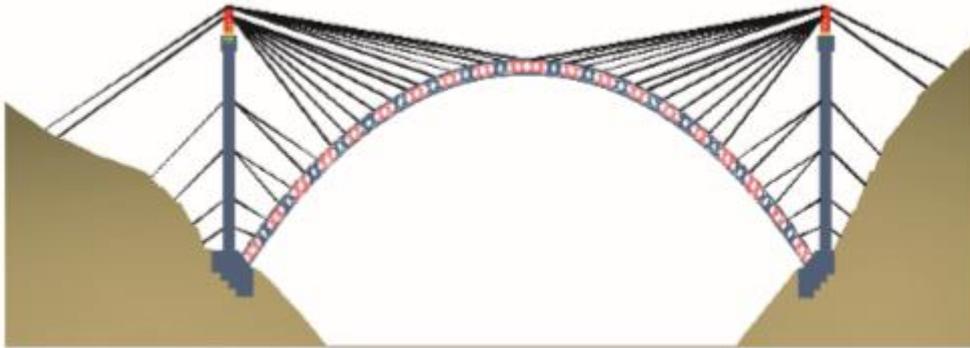


**THE BRIDGE OVER THE WILDE GERA VALLEY  
THE LONGEST-SPANNING ROAD ARCH BRIDGE IN  
GERMANY**

Roland von Wölfel

# Tipología del arco

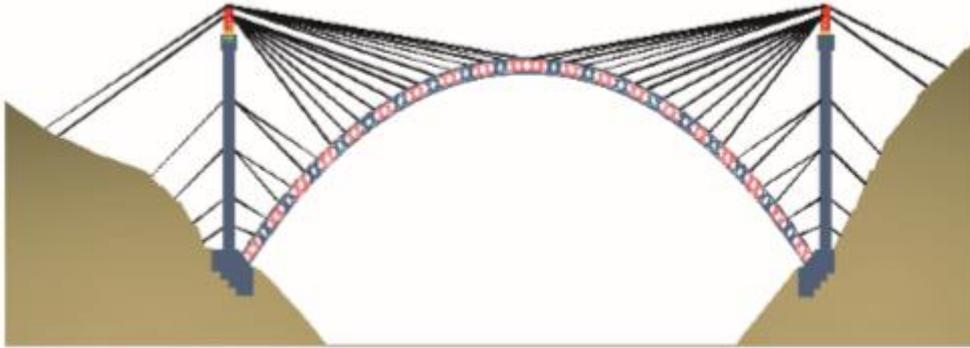
## Melan Construction Method



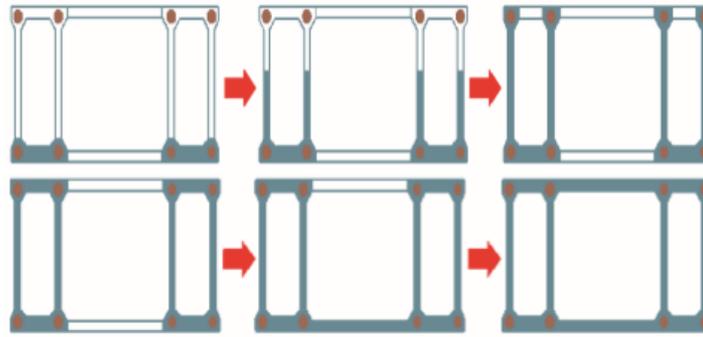
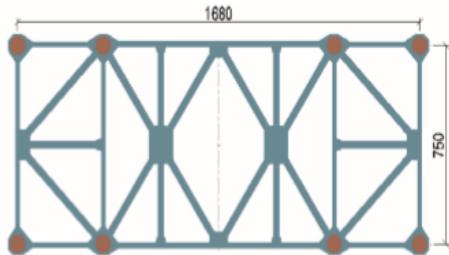
La celosía tubular de acero se utiliza como marco de construcción durante el vertido del hormigón del anillo de arco. Está dividido en 38 segmentos de 12 m de longitud.

# Tipología del arco

## Melan Construction Method



La celosía tubular de acero se utiliza como marco de construcción durante el vertido del hormigón del anillo de arco. Está dividido en 38 segmentos de 12 m de longitud.

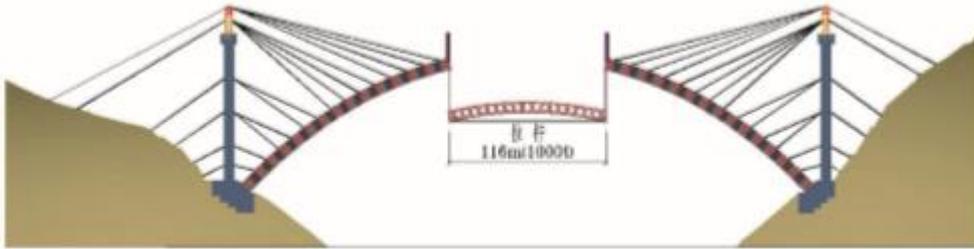


**SCHEME COMPARISONS OF NANPAN RIVER GRAND BRIDGE ON RAILWAY FROM YUNNAN TO GUANGXI**

Xu Yong, Chen Kejian, Ren Wei, Hu Jintao, He Tingguo & You Lihui

# Tipología del arco

## Combination Method Of Cantilever Erection And Melan Construction



El método combinado significa la erección en voladizo utilizado para el anillo de arco en el arco y el método de construcción Melan utilizado para el anillo de arco en la corona del arco..

**SCHEME COMPARISONS OF NANPAN RIVER GRAND BRIDGE ON RAILWAY FROM YUNNAN TO GUANGXI**

Xu Yong, Chen Kejian, Ren Wei, Hu Jintao, He Tingguo & You Lihui

# Tipología del arco

b) **Arco biarticulado:** los apoyos extremos son articulados, siendo característicos en este caso los puentes en arcos metálicos.



# Tipología del arco

**c) Arco triarticulado:** están articulados los extremos y la clave del arco. Es un esquema isostático, por lo que no se ven inducidos flectores adicionales por acciones indirectas, como asentamiento de apoyos, fluencia, entre otros. Esto no ocurre si la deformación producida genera que el arco pierda su forma, pues induce problemas de no linealidad de la estructura.

- Problemas por flexiones en el arco: En etapa de proyecto, disminuir la rigidez del arco y aumentar la del tablero.
- Mínimo de rigidez al arco para evitar problemas de pandeo por la compresión que resiste.



# Generalidades – Arco tablero inferior

## Arco tablero inferior

- Arco superior: tablero a la altura de los arranques.
- Tablero debe ser capaz de resistir el empuje horizontal que ejercido por el arco.
- Evitar transmisión de los esfuerzos horizontales a las cimentaciones
- Puede utilizarse en casos de uno o varios vanos apoyados en pilas
- Cimentaciones similar a un sistema de viga simplemente apoyada.
- Comportamiento de estos puentes es similar al de una viga.

## Arreglo de péndolas:

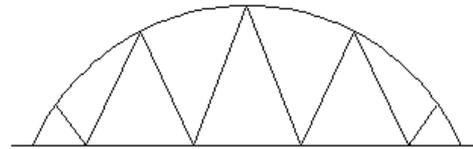
- Péndolas verticales que trabajan a tracción y por lo tanto no requieren rigidez.
- Cables o barras → función de colgar el tablero.



# Generalidades – Arco tablero inferior

## a) Puente Nielsen

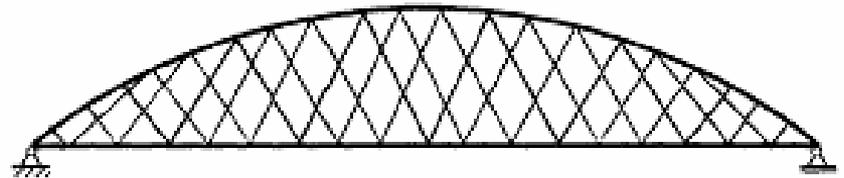
- Triangulación mediante elementos rígidos, denominadas vigas Whipple.
- Mayor rigidez al sistema arco y tablero utilizó péndolas trianguladas
- Sistema como celosía.
- Momentos en el arco se reducen cerca del 40%
- Reducir las dimensiones de arcos y tableros.
- Péndolas presentan esfuerzos de tracción y compresión
- Requiere aplicación de tensión.



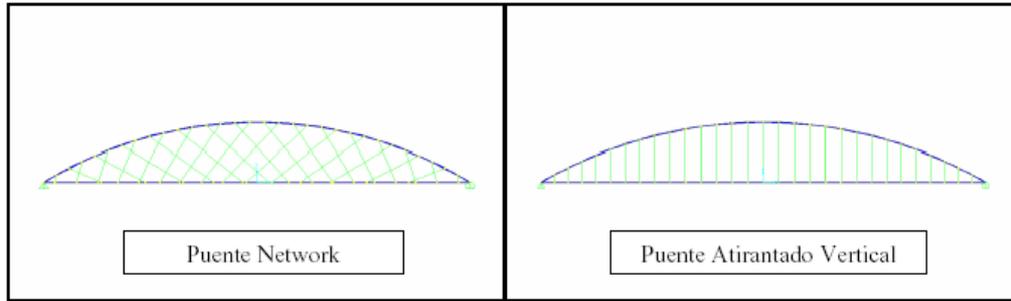
# Generalidades – Arco tablero inferior

## b) Puente network

- Las péndolas deben cruzarse al menos dos veces. (red de péndolas)
- Reducción del costo en materiales.
- Uno o dos arco (cuerda superior)
- red en el plano del arco.
  
- Alta componente estéticamente (geometrías esbeltas).
- Uso óptimo sentido estructural como al contexto del medioambiente.
- Arco principalmente a compresión. (Reducido momento flector)
- No se generan empujes en los extremos debido a que estos son tomados por la cuerda inferior.
- Esfuerzos verticales en el suelo.
- Cimentaciones en los estribos son sencillas



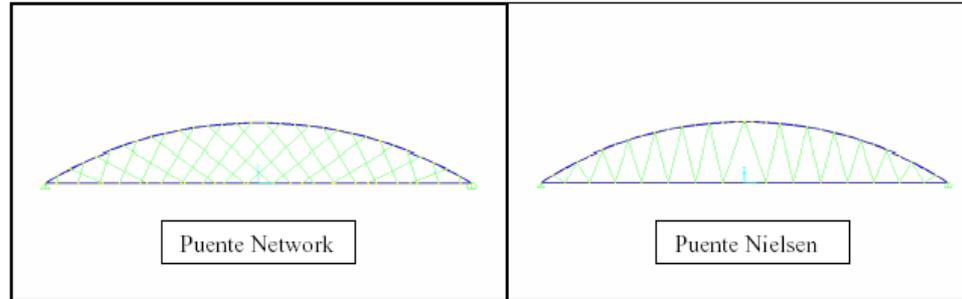
# Arco Network v/s Arco Atirantado Vertical



Tipología	Flexión Máxima Arco (Ton-m)	Flexión Máxima Losa (Ton-m)	Fuerza Axial Máxima Arco (Ton)	Fuerza Axial Máxima Losa (Ton)	Fuerza Axial Máxima Tensores (Ton)	Deformación (m)
Vertical	50,30	73,61	614,41	549,15	20,34	0,76
Network	5,14	14,91	609,49	534,52	29,42	0,14
%	10	20	99	97	145	18

Puente network, 1963

# Puente Network v/s Puente Nielsen



Tipología	Flexión Máxima Arco (Ton- m)	Flexión Máxima Losas (Ton- m)	Fuerza Axial Máxima Arco (Ton)	Fuerza Axial Máxima Losas (Ton)	Fuerza Axial Máxima Tensores (Ton)	Deformación (m)
Nielsen	27,94	19,68	592,79	548,03	37,89	0,15
Network	5,14	14,91	609,49	534,52	29,42	0,14
%	18	76	103	98	78	93

# Experiencia

1) Asia



2) Europa



3) América



# Puente en arco atirantado tradicional



Vic: Pasarela arco superior

# Puente en arco atirantado tradicional



Flam, Noruega

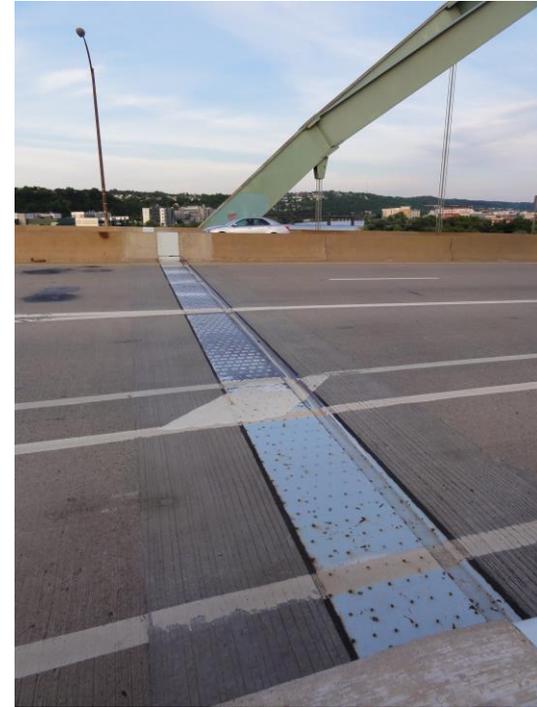
# Puente Pittsburg



# Puente Pittsburg



# Puente Pittsburg



# Puente Pittsburg



# Puente Pittsburg



# Puente arco atirantado arco inclinado



Cerca Oslo, Noruega

# El Puente Bac de Roda–Felipe II en Barcelona



Diseñado por Santiago Calatrava es un puente de arco de acero con dos pares de arcos inclinados que llevan carriles de tráfico que cruzan una vía férrea. Los arcos gemelos tienen suficiente rigidez para la estabilidad sin apoyarse sobre los carriles de circulación, lo que brinda una vista abierta para los conductores, mientras que los arcos gemelos a cada lado aparecen como una puerta y brindan un espacio bien definido para que los peatones caminen y descansen.

# Puente sin arriostramiento



Rotebro, Suecia

# Puentes sin Arriostramiento Desdoblamiento Del Puente De La Peraleda

- Acceso al recinto ferial de Toledo en la zona de la Peraleda
- Desdoblamiento de un puente de vigas y la construcción a cada lado de sendas pasarelas arco bow-string.
- Interés estructural, además aprovecha una infraestructura sensiblemente degradada e insuficiente para que forme parte de un nuevo conjunto
- Total capacidad para el tráfico además del valor al entorno mediante una estructura singular.



# Puente arco en celosía



Ostersund, Storlien, Suecia

# Puente en arco único



Sevilla, España

# Puente en arco único

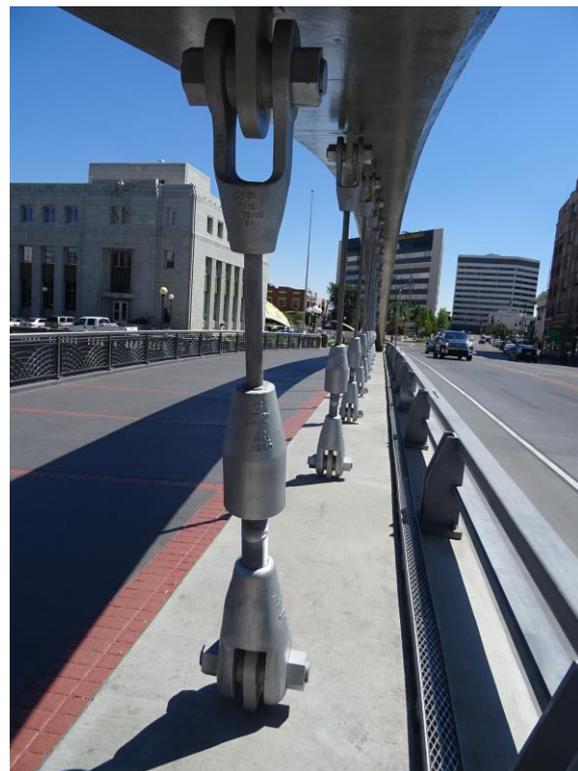


Sevilla, España

# Puente Reno – EEUU



# Puente Reno – EEUU



# Puente Reno – EEUU



# Puentes en Arco Espaciales



(a) Robertson Bridge



(b) Jiak Kim Bridge



(c) Alexandra Bridge

Es funcional inclinar dos nervios de arco uno hacia el otro para formar una estructura espacial estable, un arco en forma de asa de canasta.

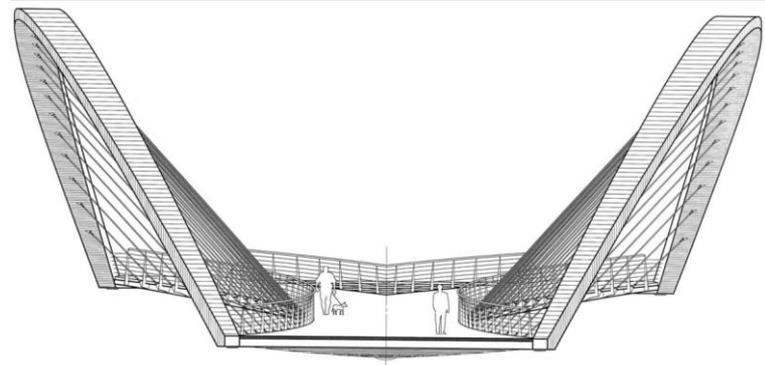
Sin embargo, contrariamente a esta estructura, existe una tendencia actual a inclinar los arcos hacia afuera para formar estructuras sorprendentes y no tradicionales.

La estabilidad espacial del arco se proporciona generalmente mediante péndolas de cables atados desde el arco a un sistema de tablero de puente rígido.

# Puente arco espaciales

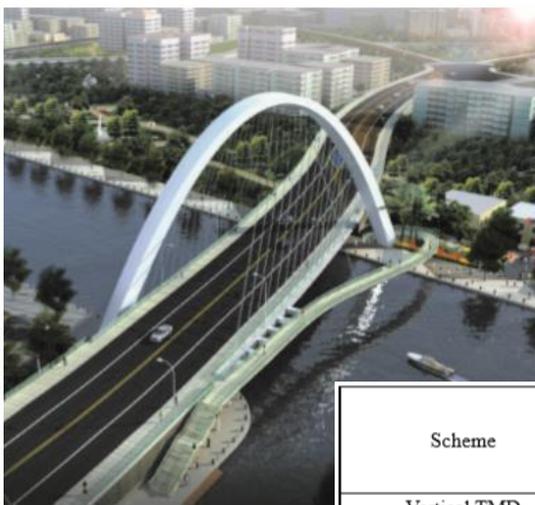
## Pasarela sobre el río Ebro en Logroño

- Luz de 102 m.
- Se ha buscado un diseño con arcos muy rebajados y de sección mínima para crear una imagen elegante y tridimensional.
- Inclinación de los arcos y la curvatura de los bordes del tablero.



# Puente arco espaciales

Puente North Water Bay, ubicado en el centro de la ciudad nueva de Jiading en Shanghai



TMD: Amortiguador de masa sintonizada

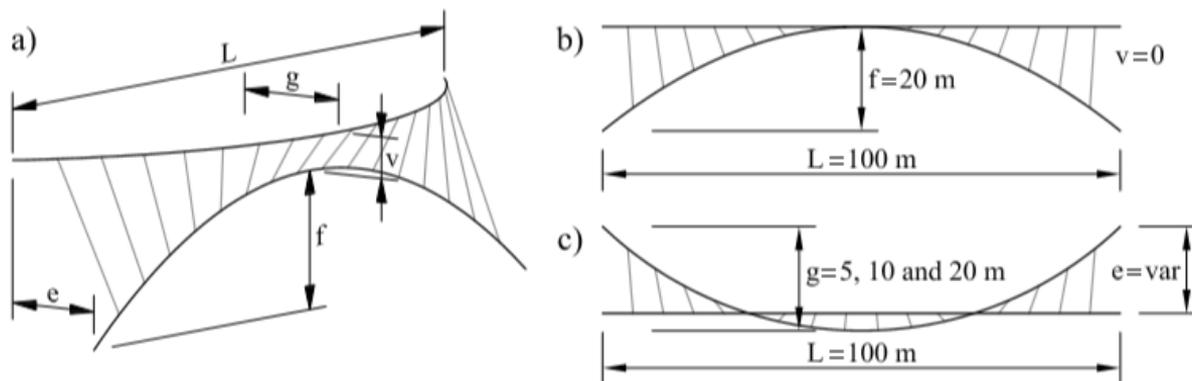
Scheme	Mass of TMD (t)	Vertical acceleration response		Lateral acceleration response	
		$a_{\max}$ (g)	Amplitude of reduction	$a_{\max}$ (g)	Amplitude of reduction
Vertical TMD	2.7	0.032	85.5%	0.030	80.0%
Lateral TMD	2.7	0.043	80.5%	0.036	76.0%
Bi-directional TMD	2.7	0.023	89.5%	0.020	86.7%

HUMAN-INDUCED VIBRATION CONTROL OF A LONG-SPAN CURVED PEDESTRIAN ARCH BRIDGE

Haijun Xu\* & Huaqin Rong\*

# Puente arco espaciales

## Conceptos de Diseño



$g$ (m)	$e$ value (m)							cg of the deck (m)	D (m)
	$g/2$	$g/1,6$	$g/1,36$	$g/1,3$	$g/1,2$	$g/1,1$	$g/1$		
5	2.50	3.13	3.68	3.85	4.17	4.55	5.00	3,34= $g/1,50$	$g/1,39-g/1,20=3,60-4,15$
10	5.00	6.25	7.35	7.69	8.33	9.09	10.00	6,66= $g/1,50$	$g/1,53-g/1,21=7,17-8,29$
20	10.00	12.50	14.71	15.38	16.67	18,2	20.00	13,22= $g/1,51$	$g/1,41-g/1,21=14,20-16,47$

*D=Interval of values of e with the same number of struts on each side (m)*

Table 1: Studied values. Relationship between  $g$  and  $e$

# Puentes especiales

## Słodowa Footbridge in Wrocław



La parte principal de la pasarela es un arco atado de 48 m de largo. Consta de dos tubos de acero parabólico de gran altura con un diámetro de 0,51 m.

Ambas vigas de arco están conectadas por tubos transversales y fijadas en las vigas transversales de apoyo en los extremos del tablero de amarre. El tablero es una viga de acero de cajón de celdas múltiples suspendida por 20 pendolas inclinadas.

UNUSUALLY SHAPED ARCH BRIDGES

Jan Biliszczuk<sup>+</sup>, Wojciech Barcik<sup>+</sup>, Jerzy Onysyk<sup>#</sup> & Robert Toczkiwicz<sup>∆</sup>

# Puentes especiales

## “Shark’s fin” viaduct over a railway line in Bydgoszcz



Se forman como dos pórticos de medio arco con sección en cajón, arriostrados por puntales y arriostramientos laterales superiores.

Una plataforma de acero ortotrópico está suspendida en los medio arcos. Consta de dos vigas principales longitudinales, ubicadas en planos de las vigas principales y vigas transversales que soportan nervaduras longitudinales y losa de tablero.

Tiene una longitud de 49,1 m, y una anchura de 17,4 m.

UNUSUALLY SHAPED ARCH BRIDGES

Jan Biliszczuk<sup>+</sup>, Wojciech Barcik<sup>+</sup>, Jerzy Onysyk<sup>#</sup> & Robert Toczkiewicz<sup>◇</sup>

# Puentes especiales

## Viaduct over the ring road of Pabianice



Estructura atípica con una luz de 80 m, formada por curvaturas asimétricas. El viaducto es curvo en planos horizontal y vertical y los tirantes tienen ángulo de inclinación variable.

Las vigas de arco se desplazan una a la otra, lo que, en combinación con la curvatura de la carretera, la inclinación variable de los ganchos y el gran ángulo de inclinación de los puntales que arriostran los arcos, hace que el viaducto parezca inestable.

UNUSUALLY SHAPED ARCH BRIDGES

Jan Biliszczuk<sup>+</sup>, Wojciech Barcik<sup>+</sup>, Jerzy Onysyk<sup>#</sup> & Robert Toczkiwicz<sup>◇</sup>

# Puentes especiales

## Viaduct over the Klucz interchange junction on the S3 expressway



Un tramo compuesto de acero y hormigón con una longitud total de 61,50 m y un ancho de 8,80 m está suspendido de un pylon arqueado.

El pylon de acero de 26 m de altura con sección de caja tiene forma de arco gótico alto con ápice apuntado. Cuatro pendolas están ancladas en la parte superior del pylon y en los bordes de las vigas transversales del tablero.

UNUSUALLY SHAPED ARCH BRIDGES

Jan Biliszczyk<sup>\*</sup>, Wojciech Barcik<sup>+</sup>, Jerzy Onysyk<sup>#</sup> & Robert Toczkiwicz<sup>◇</sup>

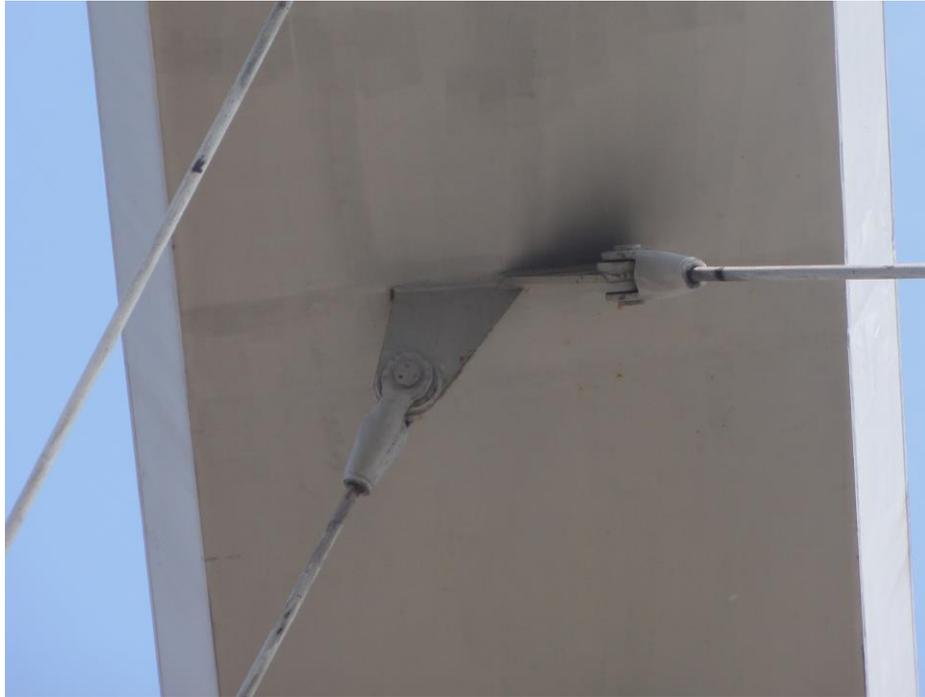
# Puente Manchester



# Puente Manchester



# Puente Manchester



# Puente Manchester



# Puente Manchester



# Puentes Tablero Intermedio

## Puente Sobre La Vaguada De Las Llamas En Santander

- Puente de la Vaguada con una luz de 102 m.
- Tipología arco intermedio, con el arco desarrollándose por encima del tablero en una longitud de 60 m centrales, y continuándose bajo el
- tablero en forma de pies inclinados rectos hasta unos apoyos en rotula intermedios separados
- 81.6 m.
- Ancho 23.6 m se materializa enteramente en hormigón blanco, con una
- sección cajón central, y voladizos por medio de piezas de jabalcones prefabricadas de hormigón (9 m).



# Puentes Tablero Intermedio

## Puente San Miguel

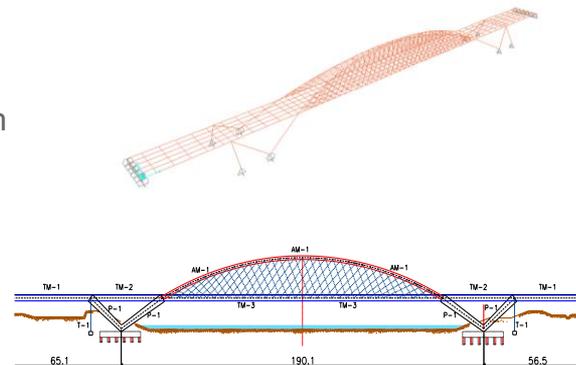
- Puente sobre el río Saja.
- Arco de tablero intermedio de 66,80m de luz.
- El puente tiene una longitud de 96,38 m. Está compuesto por un vano de 13,94 m y dos arcos paralelos de 66,80 m con dos vanos laterales de 6,19 m y 9,45 m.
- El tablero está formado en la zona del arco por dos vigas de borde de 0,80m de canto, unidas por una losa de 0,20 m de espesor y unas costillas cada 2,50 m. En el resto del puente la sección está compuesta por una losa aligerada.
- Las péndolas tienen un ángulo de  $60^\circ$  con el tablero formando triángulos equiláteros.



# Puente de tablero intermedio

## Puente Sobre El Rio Llobregat

- Carretera que une el puerto con el aeropuerto de Barcelona.
- Arco superior atirantado por el tablero que se apoya sobre sendos trípodes invertidos, formados por una pila simple inclinada longitudinalmente y una pila doble inclinada longitudinal y transversalmente, que constituye la parte inferior del rombo que materializa con el doble arco superior.
- puente de planta rectangular, tablero continuo de hormigón pretensado de 304 m de longitud y 29 m de anchura, de cinco vanos, de luz central 104 m, luces contiguas de 55 m y luces laterales de 42 y 48 m.



# Puente tablero intermedio

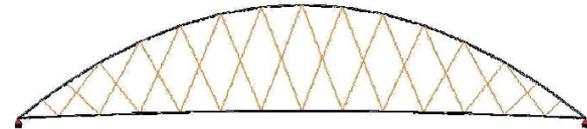
## El Puente De Valdebebas

- Luz principal de 150 m.
- Puentes emblemáticos de las entradas a Madrid.
- Arco bowstring metálico con tablero mixto armonizando con la Terminal T4
- Conexión innovadora entre arco y tablero:
  - diagrid, malla metálica



# Reemplazo: Arco network

- Sistema de Gestión de Puentes de la red de carreteras de ABERTIS,
- Inspección Principal realizada, se detectó un importante desplazamiento respecto de su posición teórica de los aparatos de apoyo de la pila de mediana → asiento de la pila de mediana.
- Graves problemas de la subestructura del paso superior, se ha decidido sustituir la estructura.
- Arco network isostática sin apoyo central (70.9 m de luz)
- Admite asientos diferenciales entre apoyos, y reforzar el terreno bajo cimentaciones.



# Puente en Arco y Formas estructurales



(a) Continuous girder



(b) V-shape rigid frame



(c) cable stayed structure

## Innovaciones estructurales para puentes en arco

Una forma eficaz de crear una nueva forma estructural es combinar un arco con otros tipos de estructuras. El arco atado o el arco de celosía es una estructura compuesta de arco común, junto con una viga o una celosía o enrejado.

# Puentes en China

## Puente Lupu

- Arco atirantado
- Una de las mayores luz del mundo (550 metros)



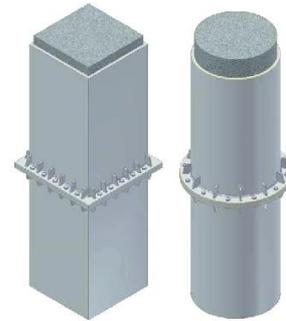
# Puentes en China



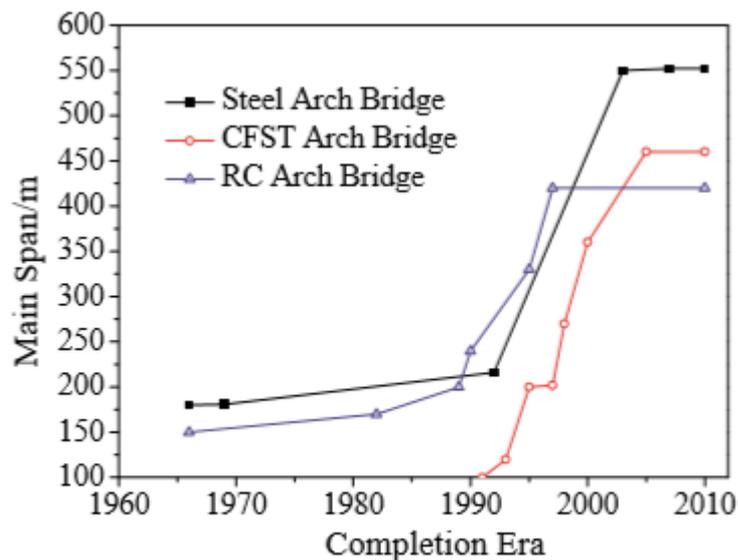
Chaotianmen Bridge with the world's longest main span of 552m in Chongqing (steel truss arch bridge, 2007)



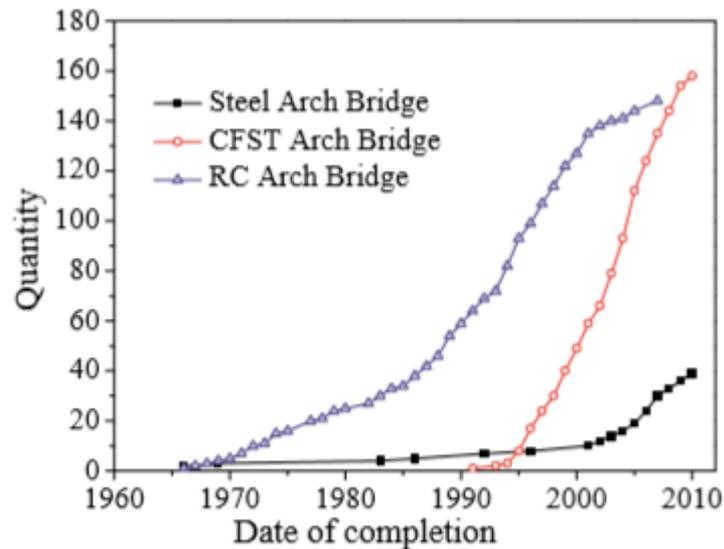
The longest CFST (Concrete Filled Steel Tube) arch bridge is the First Hejiang Yangtze River Bridge with a main span of 530m, 2013



# Puentes en China



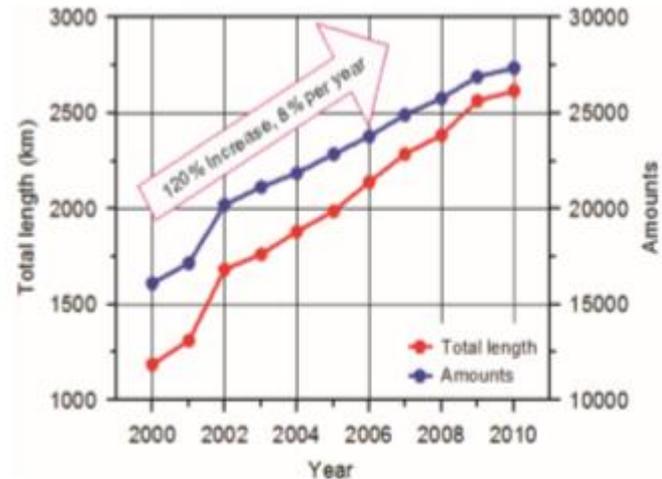
Comparison of three types of arch bridges in China by main span



Comparison of three types of arch bridges in China by number

# Puentes en Corea

	Number								
	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	85m~	Total
Highway	4	2	4	3	4	1	3	3	24
National road	1	4			1	2		8	16
Urban road	4	1	2	1	5	1		5	19
Rural road	8	14	2		1			4	29
City road	5	8		2				5	20
Local road	11	12		1				2	26
Other	1			1					2
Total	34	41	8	8	11	4	3	27	136



# Puentes en Corea



Figure 5: Han River Bridge (L=841m, arch portion 6x62.554m, B=20.3m, 1982)



Figure 6: Tongyoung Bridge(L=140m, B=11m, 1996)

# Puentes en Corea



Figure 7: Abhae Bridge(L=95+165+95=355m, B=25.4m, 2007)



Figure 8: Baekya Bridge(L=96+143+96=325m, B=12m, 2005)

# Puentes en Corea



Figure 10: Namdo Bridge(L=160m, B=13.5m, 1996)



Figure 12 : Naksaeng Bridge(L=110m, B=35.8m, 2008)

# Puentes en Corea

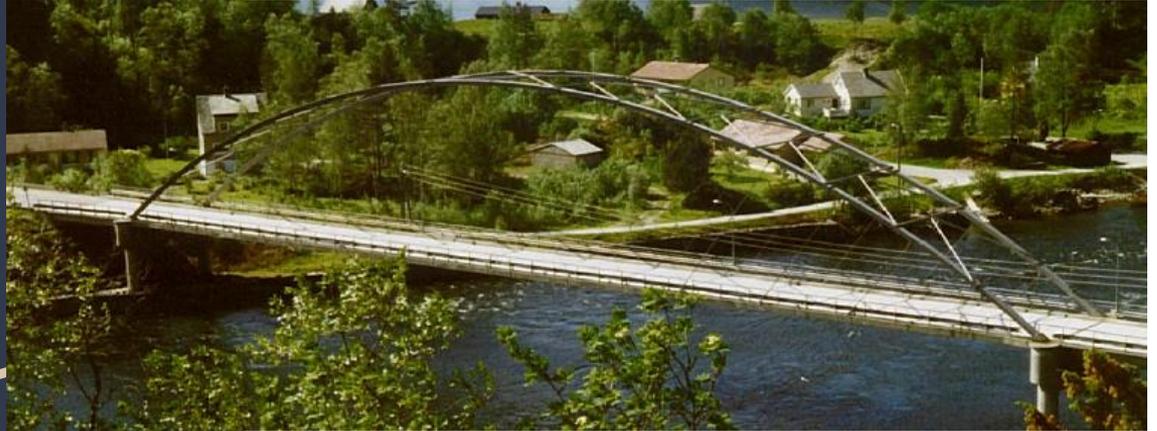


# Puentes en Corea



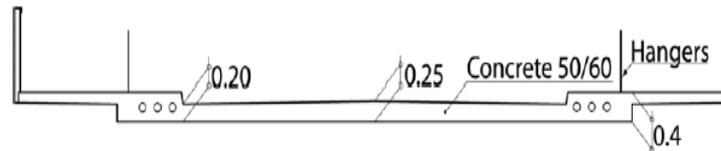
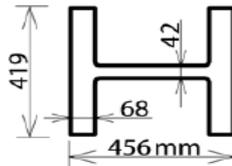
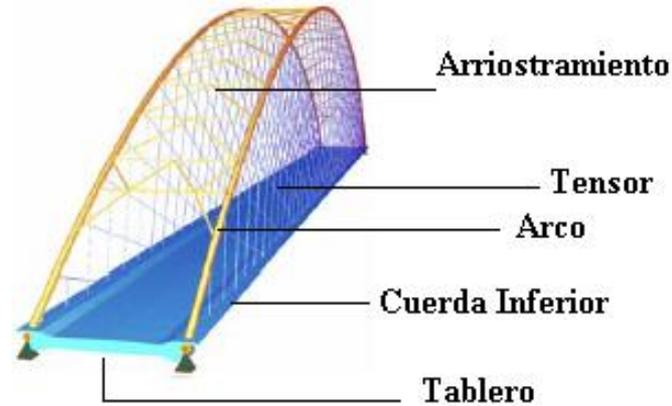
# Diseño Arco Atirantado

## Parametros



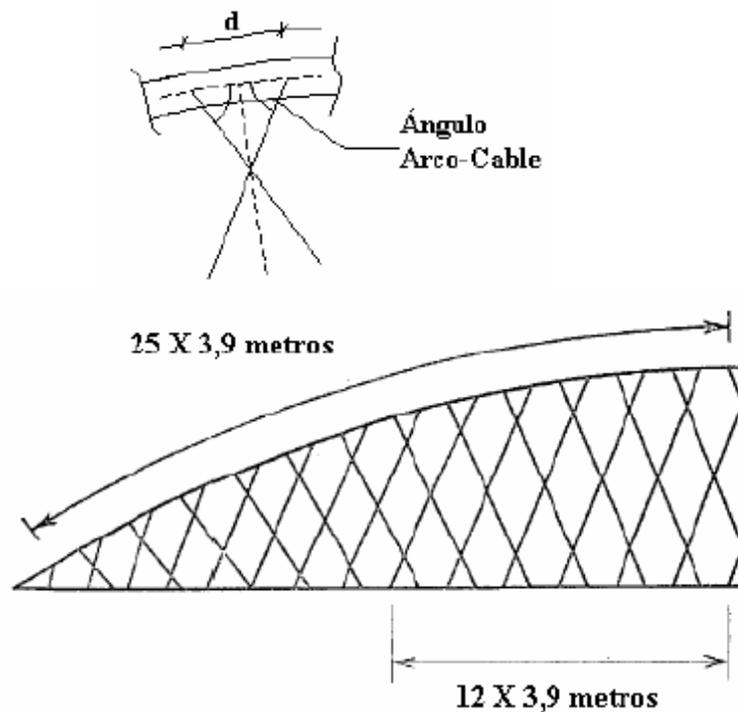
# Comportamiento General

- Arco
- Tablero
- Tirantes
- Arriostramientos

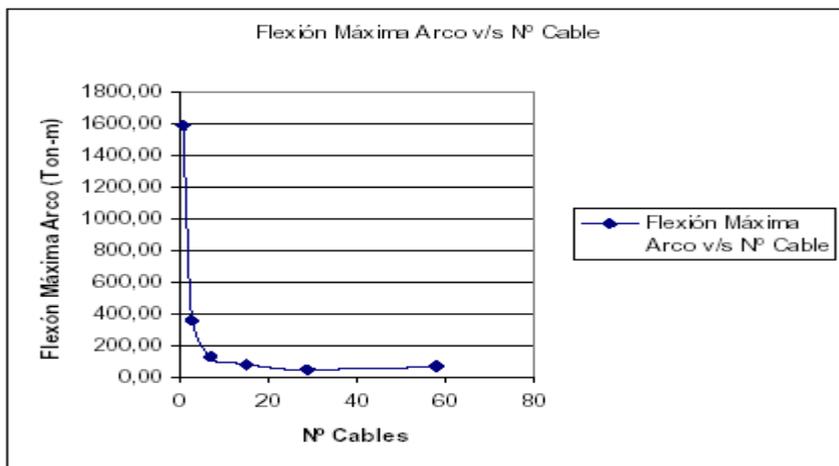


# Disposición de Cables

- Ángulos iguales
- Equidistancia
- [Nº Cables](#)

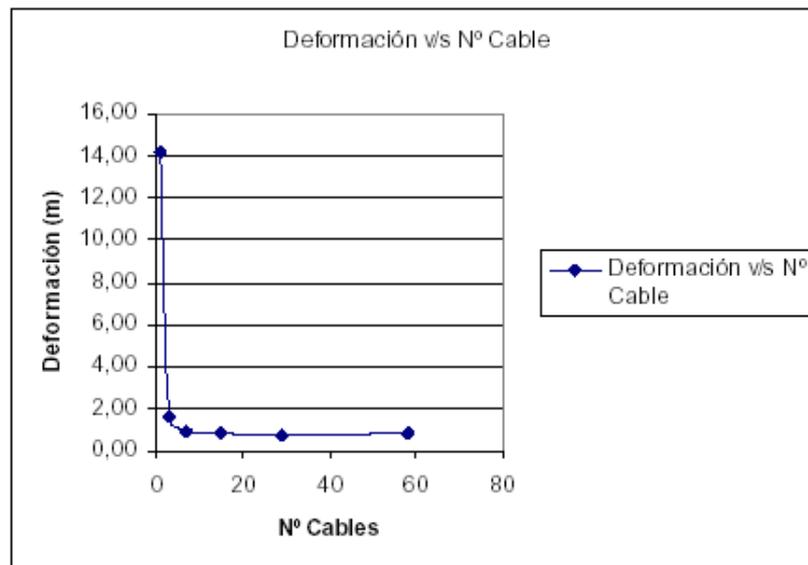


# Nº Cables



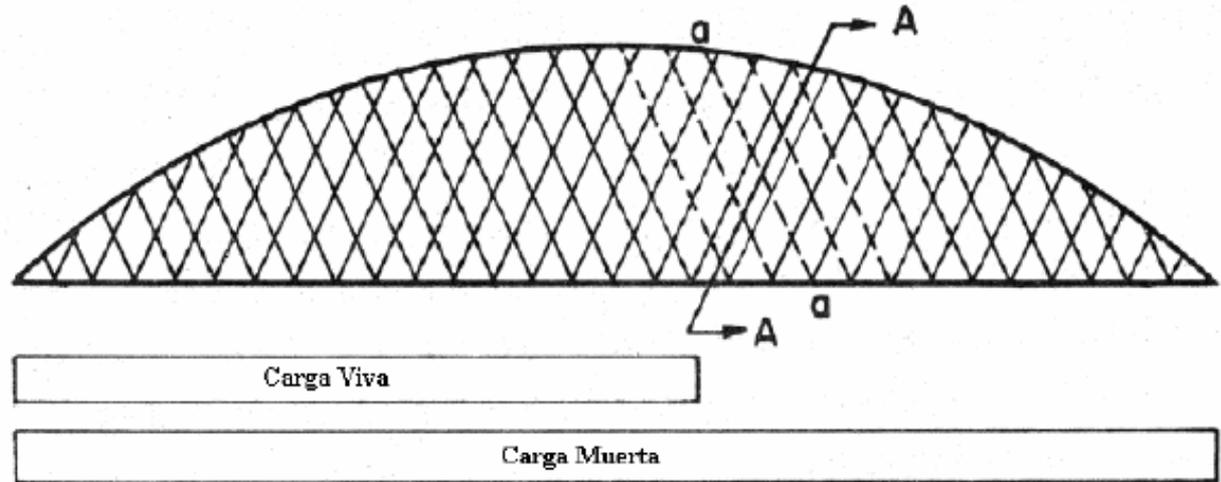
Modelos 2D Sap 2000

Rango: 30 – 60 cables



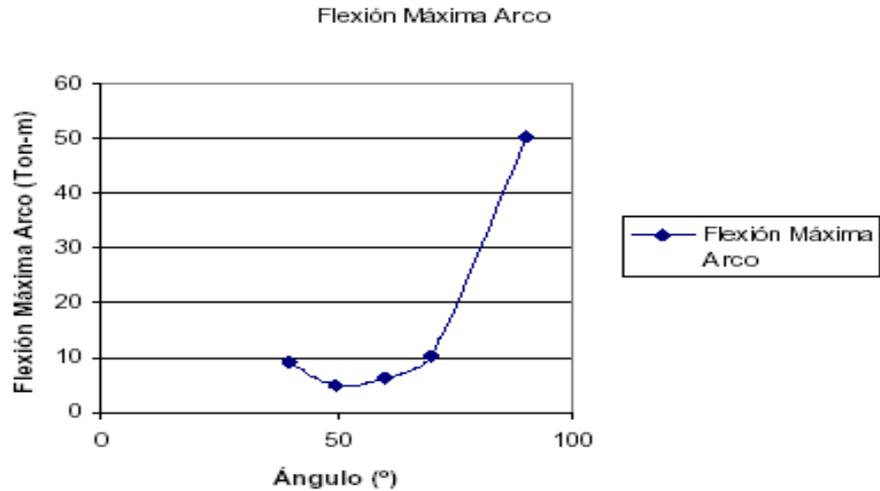
# Pérdida de tensión

- Relajamientos.



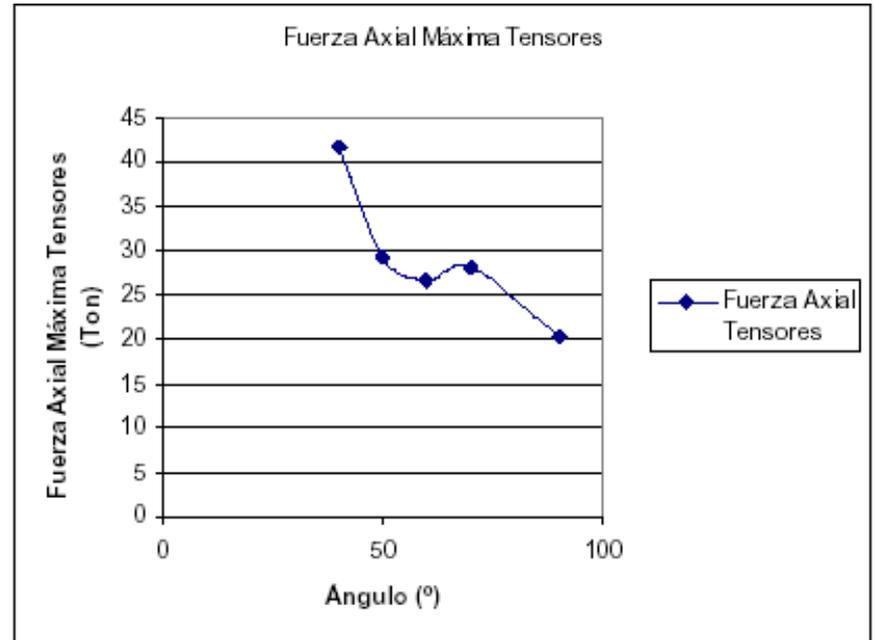
- [Ángulos de Cables.](#)

# Ángulos de Cables



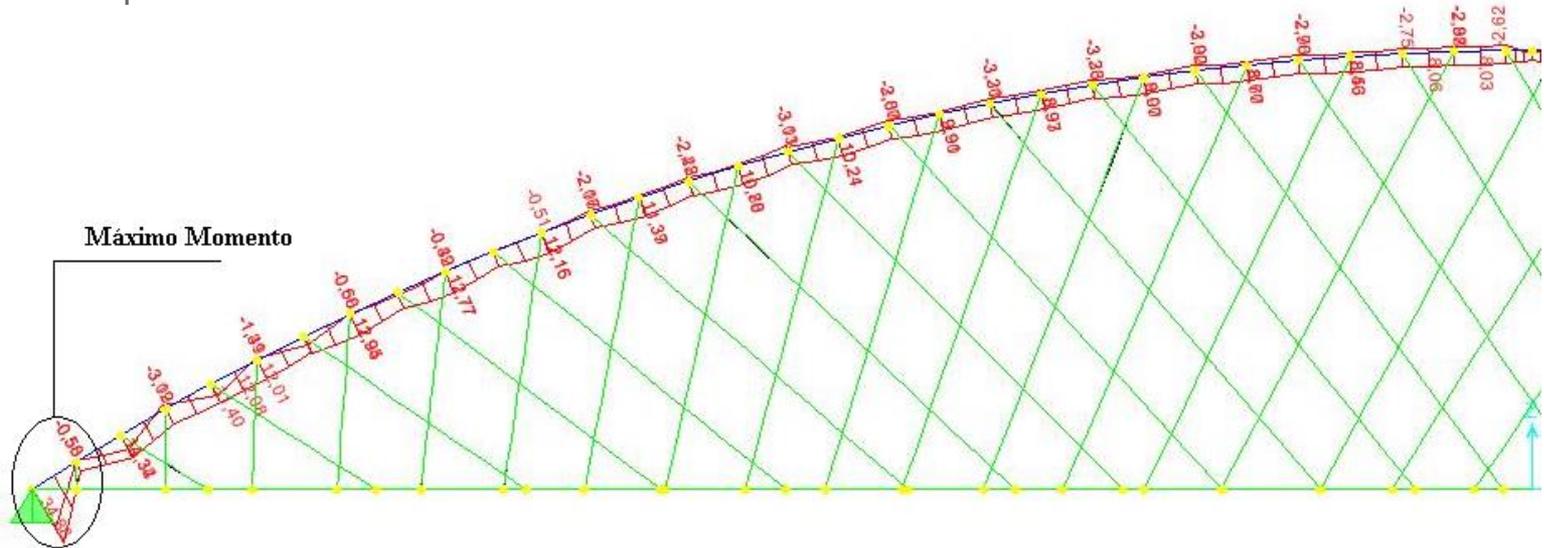
Modelo 2D de 30 cables

Rango 50° - 70°



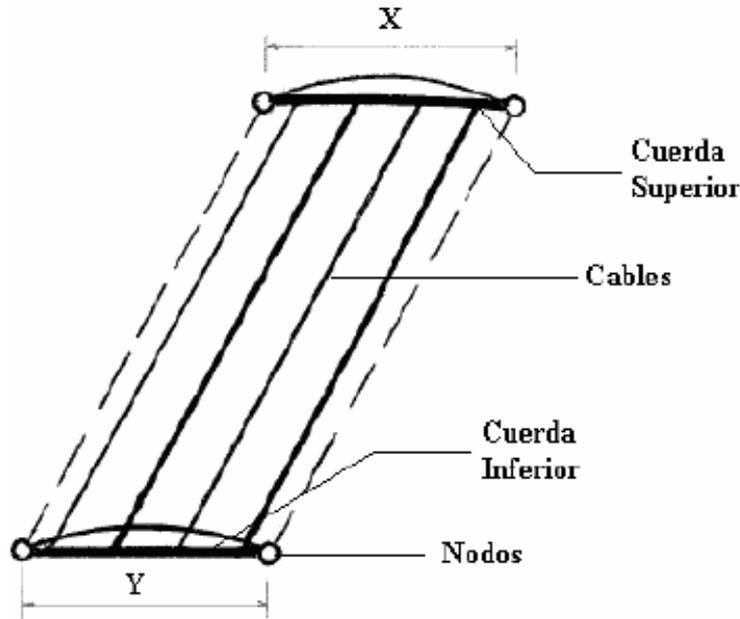
# Curvatura arco

- Reducción 75% Radio curvatura.
- Zona perturbada



# Pandeo

- Pandeo



$$F_a = \frac{F_y}{2,12} \cdot \left(1 - \frac{F_y \cdot \left(\frac{K \cdot L}{r}\right)^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot E}\right)$$

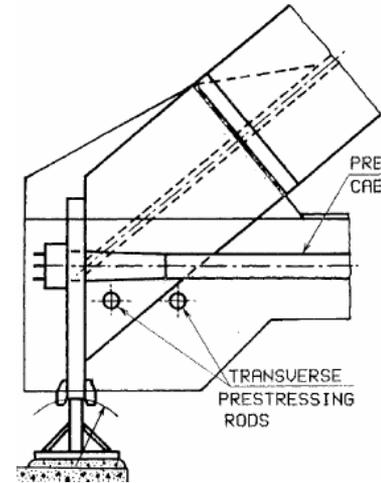
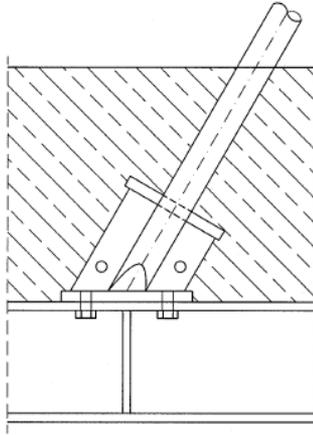
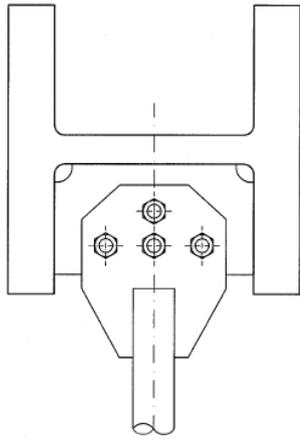
AASHTO

$$P_{cr} = P_{e_o} + \frac{P_{e_b} + P_{cr}}{\frac{Ll}{La} + \frac{\pi^2}{k \cdot La^2} \cdot (P_{e_b} + \alpha \cdot P_{cr})}$$

Per Tveit

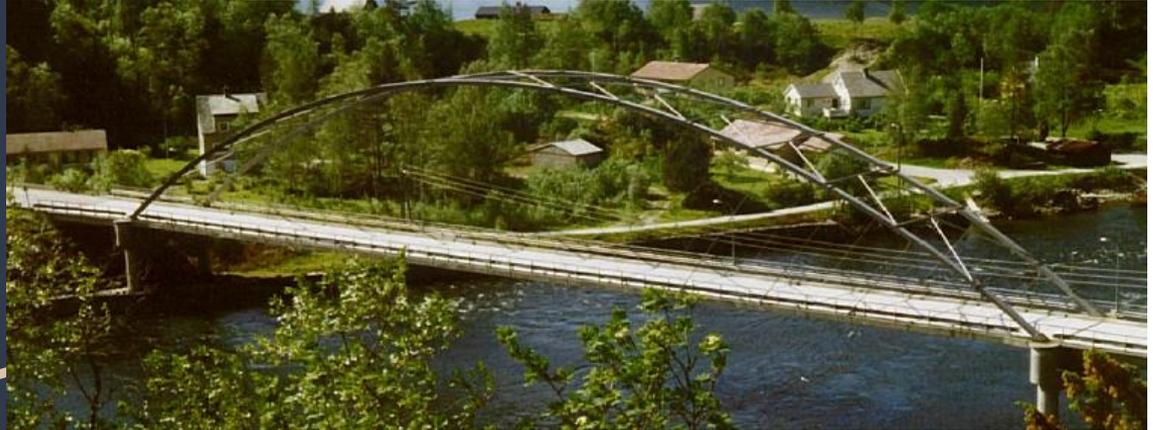
# Conexiones

- Teóricas:



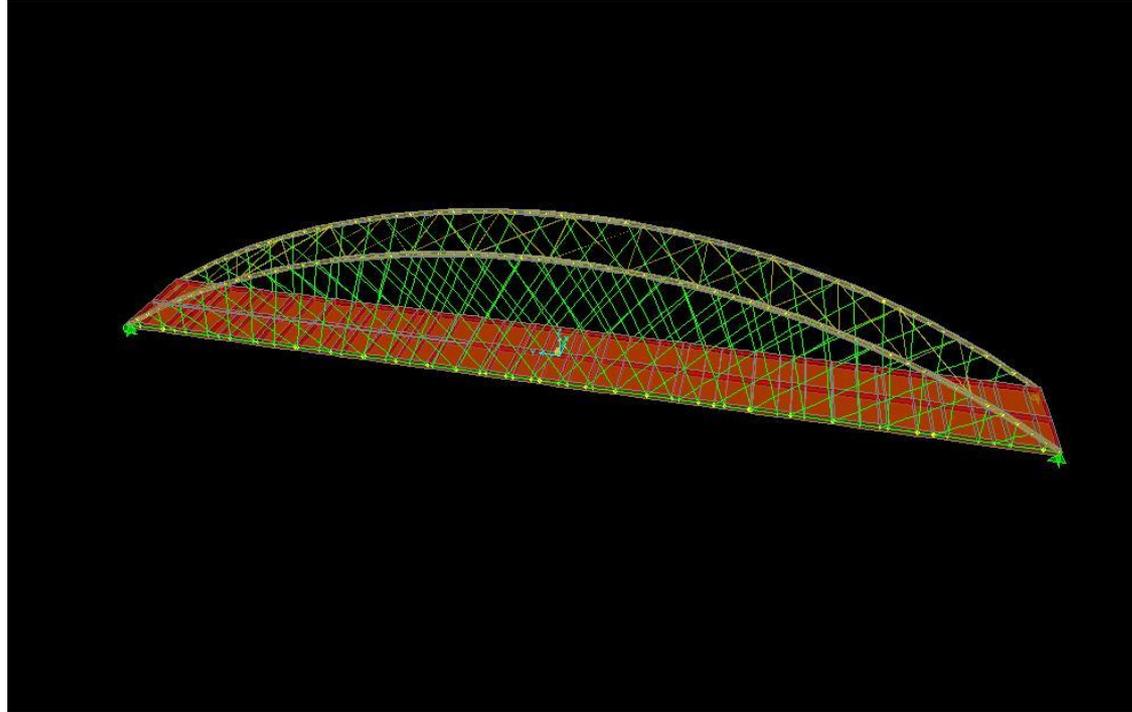
# Diseño Arco Atirantado

## Análisis



# Analisis Modelos

- Modelos.
  - a) 3D
  - b) Uso de Shell
  - c) Frames Arco
  - d) Cable

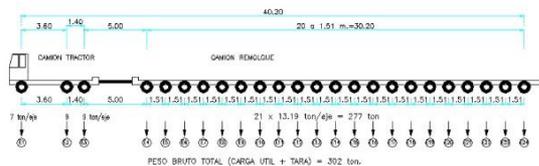


# Cargas Individual 1

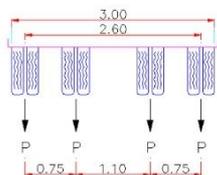
- Modelo 60 cables, 50°, simple apoyo.

TRUCK  
ML  
RSP  
WIND1  
WIND2  
TRUCKSP

Carga Viva Paso a paso  
Carga Viva Faja  
Carga Sismo  
Carga Viento para grupos II y V (minimo)  
Carga Viento para grupos III y IV (minimo)  
Carga Viva Paso a Paso (envolvente camion especial)

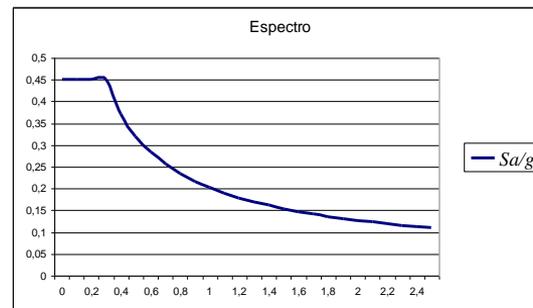


Esquema Transversal de 1 eje

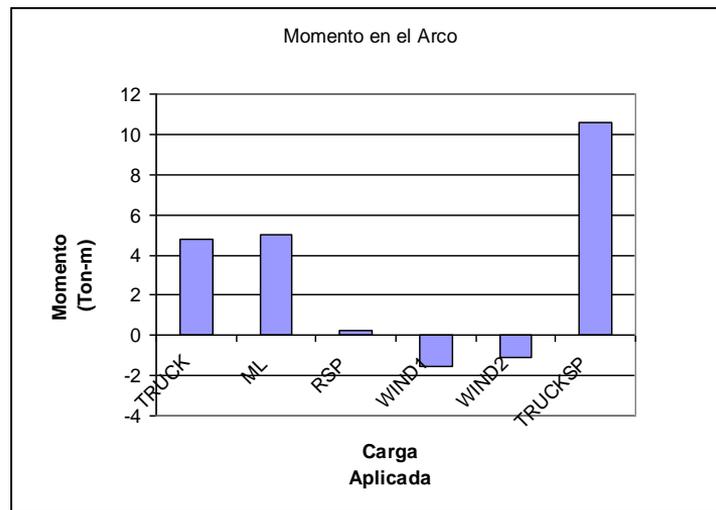
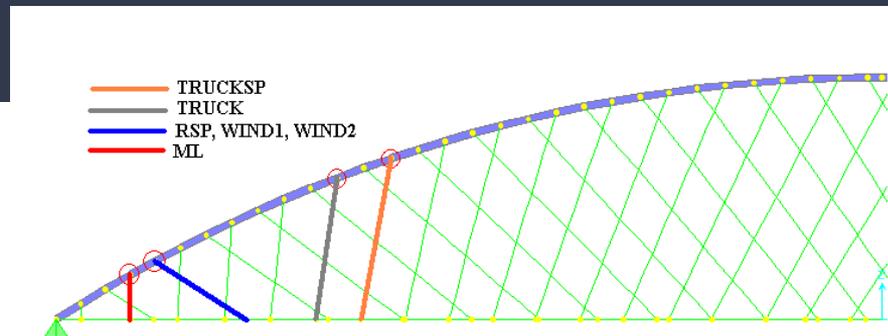
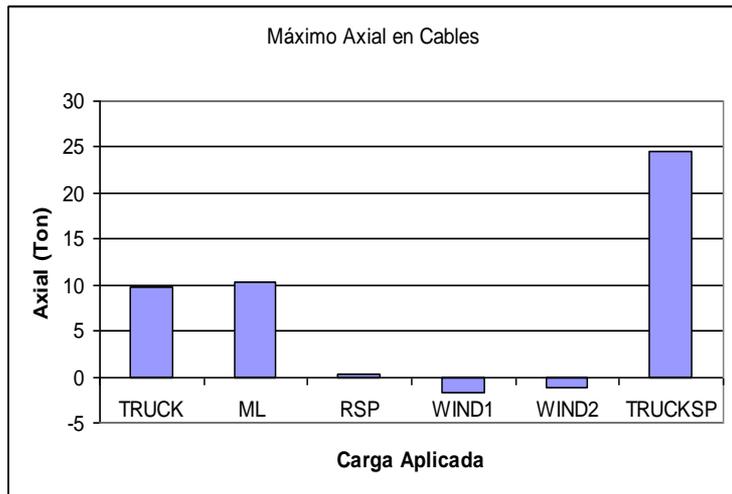


$$P = 13,19 / 4 = 3,298 \text{ ton.}$$

Periodo: 1,23 (s)



# Cargas Individual 2



# Combinaciones

Comb 1 = DEATH + ML

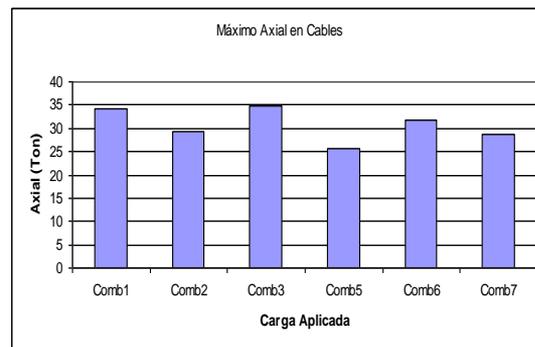
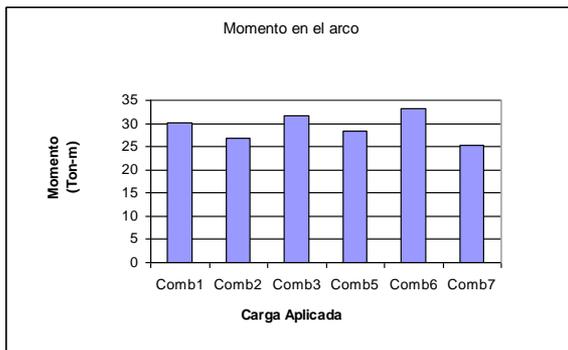
Comb 2 = DEATH + WIND1

Comb 3 = DEATH + 0,3 \* WIND1 + WIND2 + ML

Comb 5 = DEATH + WIND1 + TEMPMAX

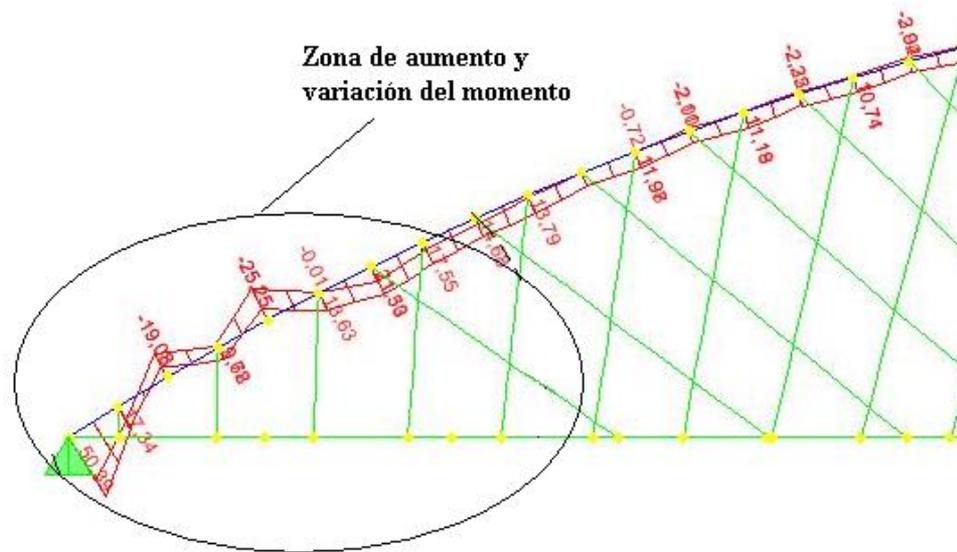
Comb 6 = DEATH + 0,3 \* WIND1 + WIND2 + ML + TEMPMAX

Comb 7 = DEATH + RSP



# Eventualidades

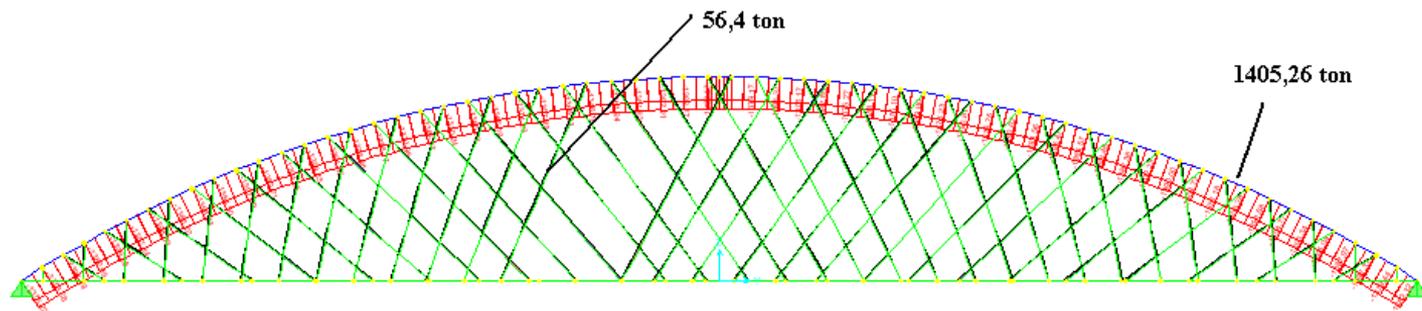
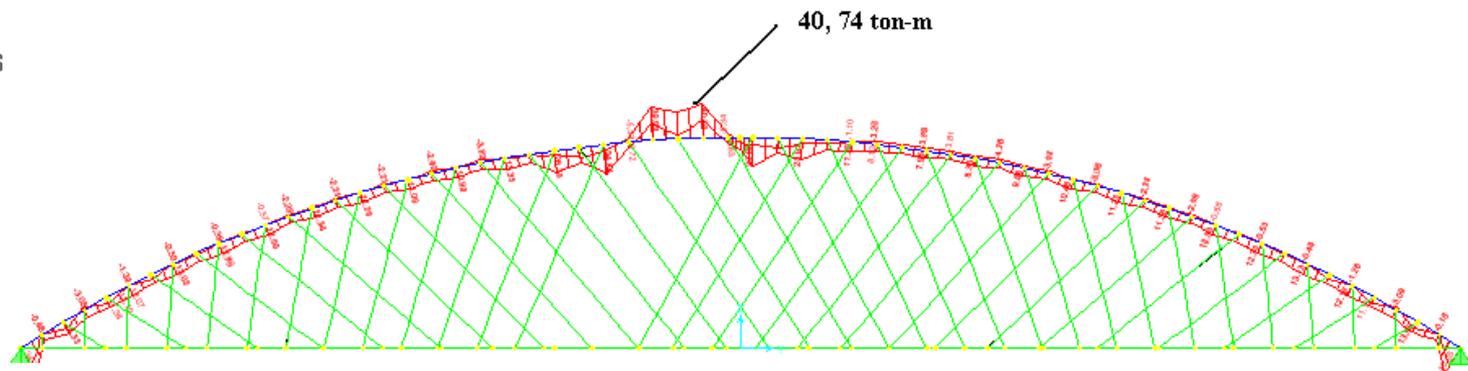
- Efecto de Rotura de Cables.



Caso	P
	Ton
Comb1	39,88
Rotura	40,13
%	0,64

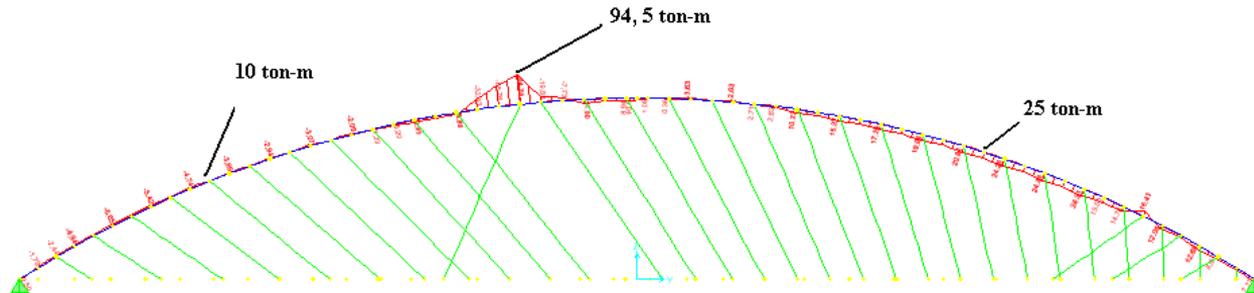
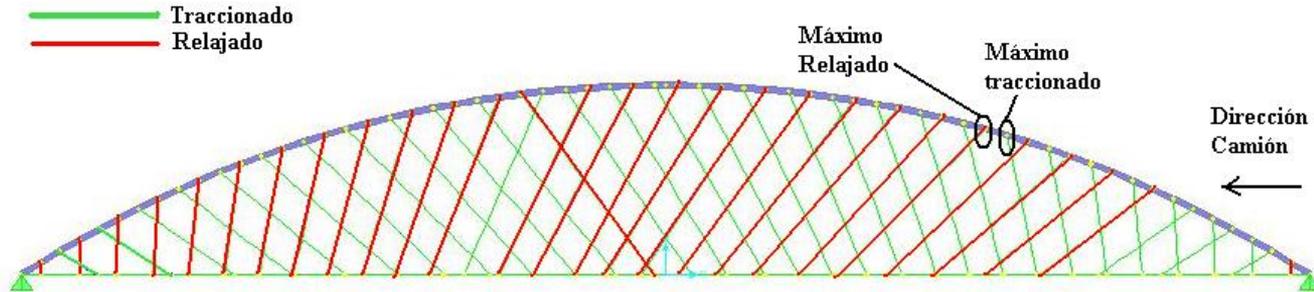
# Eventualidades

- Rotura cables



# Eventualidades

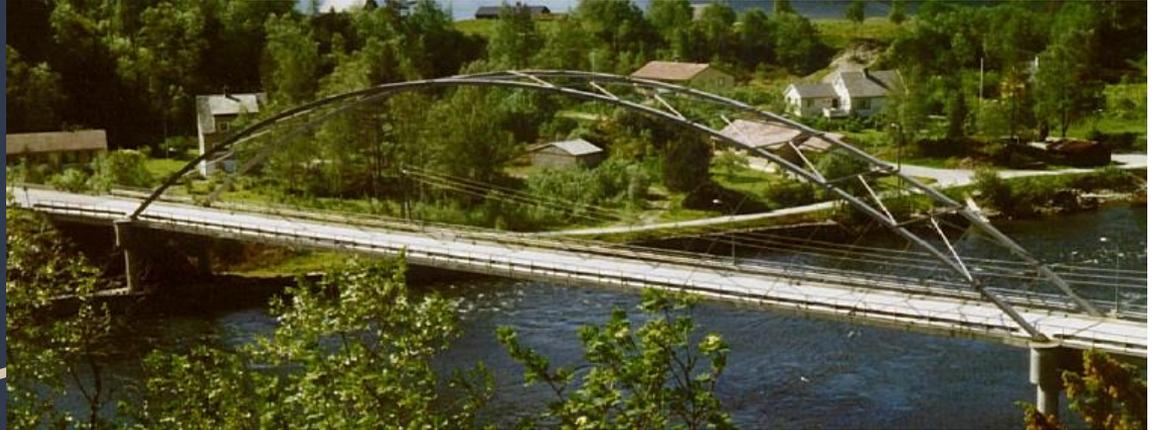
- Relajamiento por paso camión especial.



Factor de 2,5

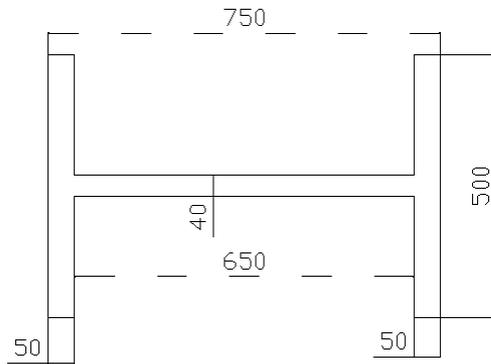
Diseño Arco  
Atirantado

Pre Diseño



# Prediseño Arco

- Perfil IN



Posición: H

→ Efectos Momento Transversal

# AASHTO / Eurocódigo

- Esfuerzo admisible arco

$$f_a / F_a + f_b / F_b < 1$$

$$f_a := \frac{F_{\max}}{A}$$

$$f_b := \frac{M_{\max}}{W}$$

$$F_a := \frac{F_y}{2.12} \cdot \left[ 1 - \frac{F_y \cdot \left( \frac{K \cdot \text{Largo}}{r} \right)^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot E} \right]$$

$$F_b := 0.55 \cdot F_y \cdot \left[ 1 - \frac{\left( \frac{\text{Largo}}{rc} \right)^2 \cdot F_y}{4 \cdot \pi^2 \cdot E} \right]$$

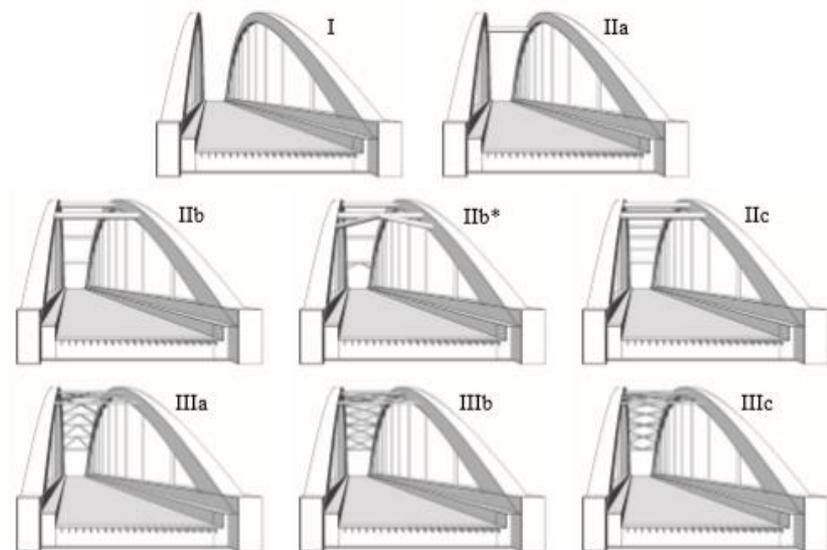
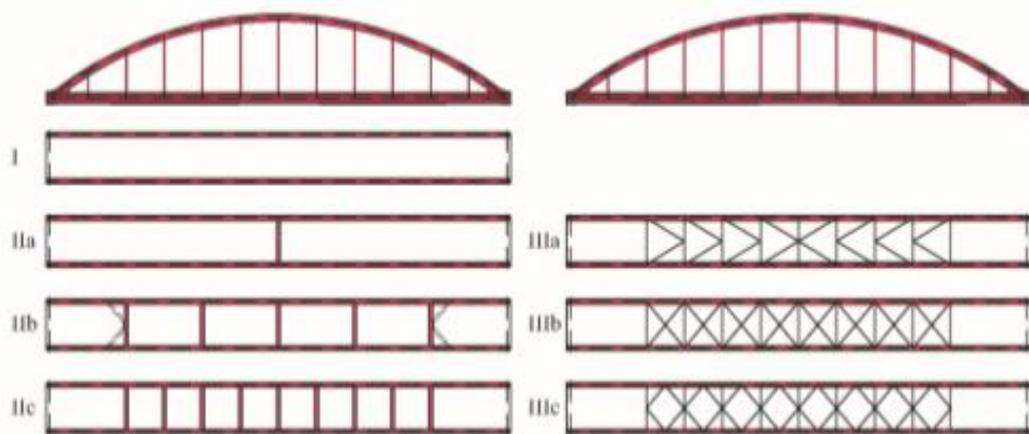
$F_{\max} = 1081 \text{ ton.}$

$M_{\max} = 16 \text{ ton.}$



$Admin = 0.932$

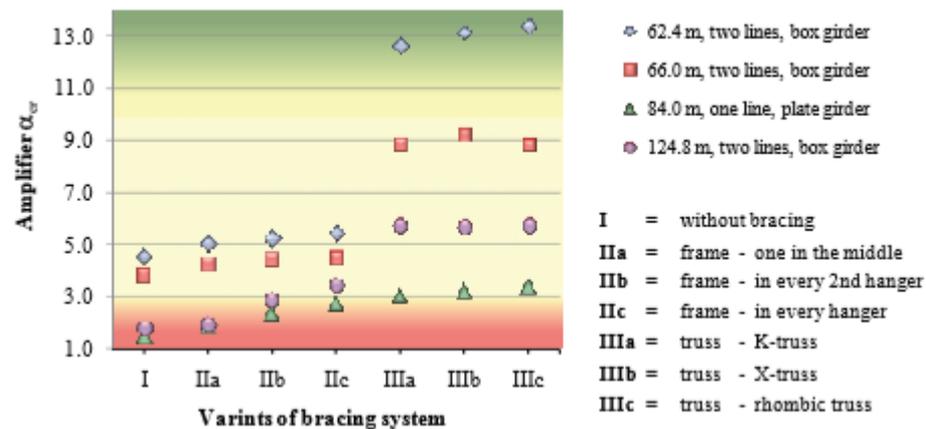
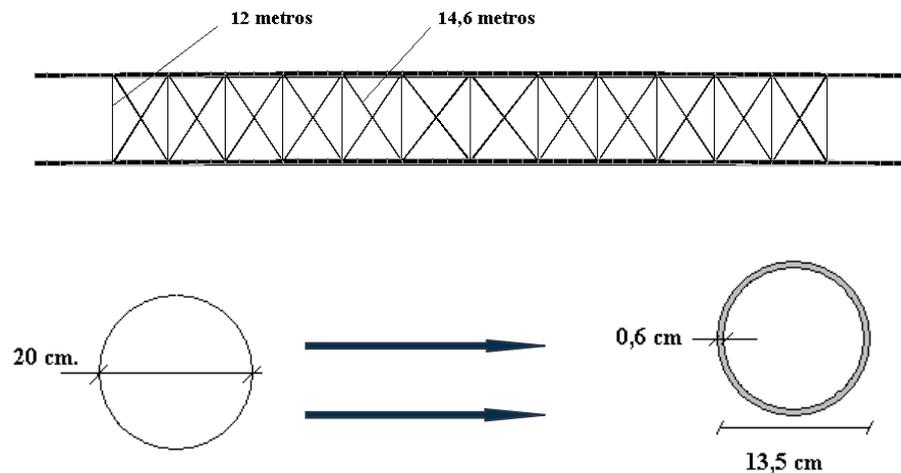
# Arriostramiento



**RECENTLY DESIGNED BOW-STRING RAILWAY  
BRIDGES IN SLOVAKIA**

Josef Vican \*, Jaroslav Odrobinak \* & Jozef Gocal \*

# Arriostramiento



RECENTLY DESIGNED BOW-STRING RAILWAY  
BRIDGES IN SLOVAKIA

# Estabilidad Transversal

- Análisis de Rigidez.

$$\delta = 5.925 \text{ m}$$

Distancia desde centro del tablero

$$r = 5.925 \text{ m}$$

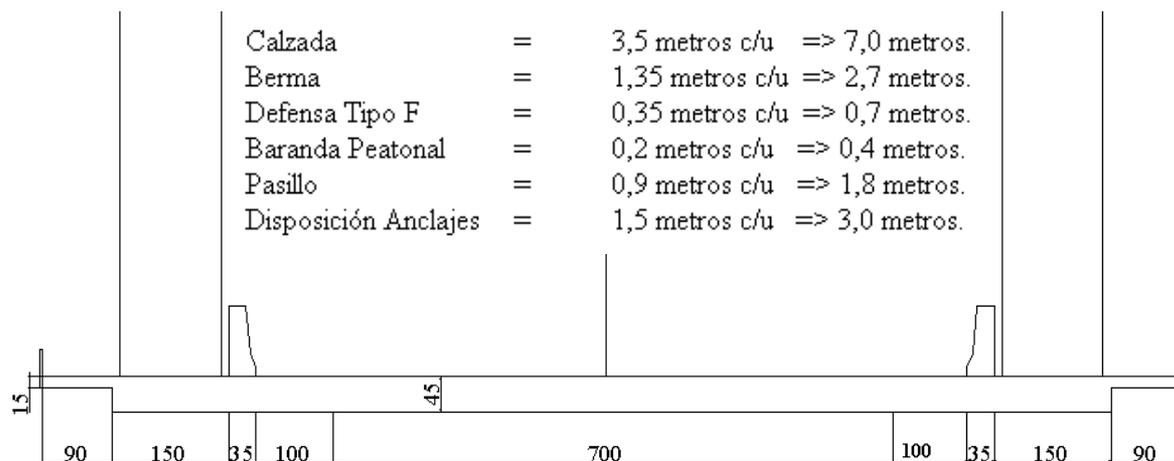
Radio Giro

$$\lambda = 20.253$$

Esbeltez con respecto al largo proyectado

CUMPLE

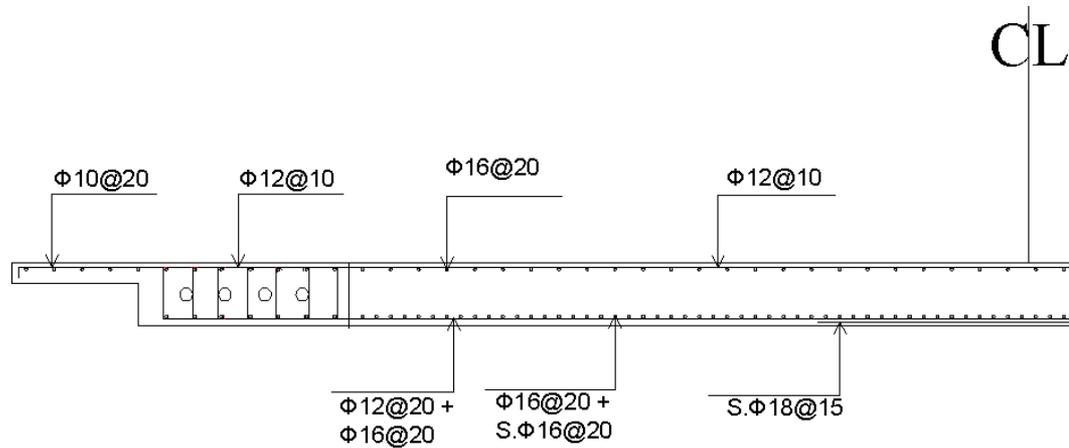
# Tablero



Ancho total = 14.5 metros

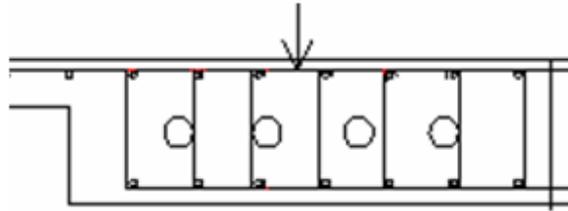
# Tablero

- Armadura



# Viga de borde

- Viga Postensada



40 cables  
cables 0.6"

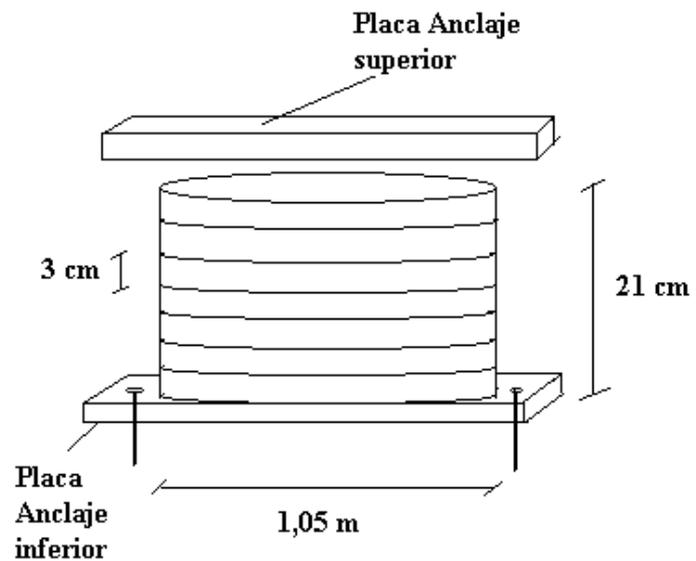
$F_{\text{restitución}} = 550 \text{ ton.}$

Tensado = 700 ton



Verificación Perdidas

# Aislador



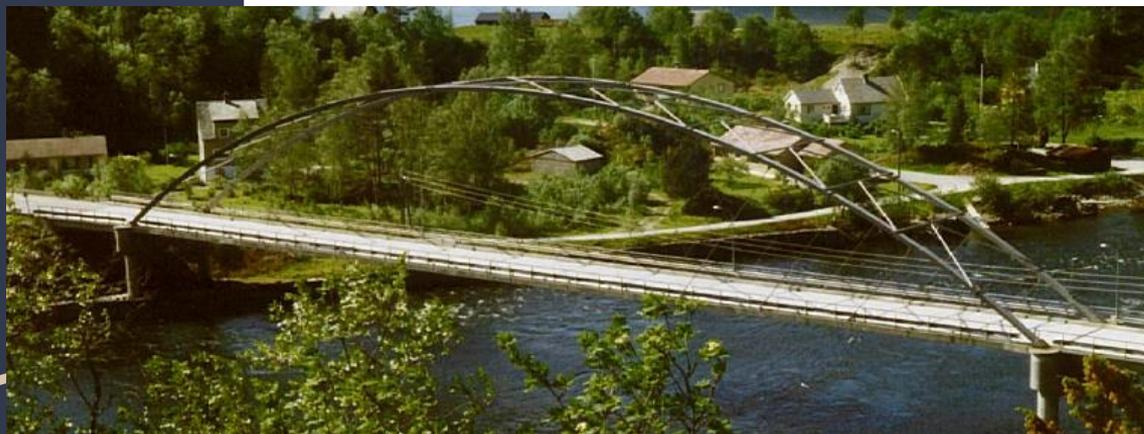
Posibilidad:

Realizar 2 aisladores por apoyo

# Diseño Arco Atirantado

Crterios:

Obra Nueva  
Refuerzo



# Puente en arco network

Características fundamentales para la estructuración de puentes network.

## **Péndolas tipo barra**

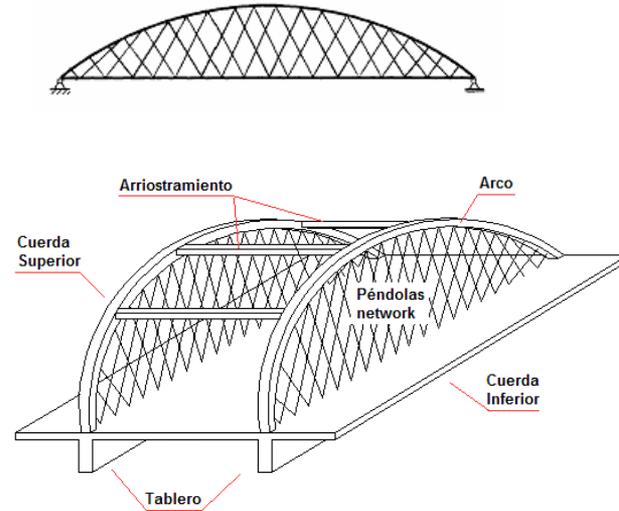
Múltiples cruces.

Acoplamiento.

Diámetros < 10 cm.

Mallado: ángulo variable o tipo radial.

Ángulo respecto a la tangente  $40^{\circ}$ - $70^{\circ}$ .



# Puente en arco network

Características fundamentales para la estructuración de puentes network.

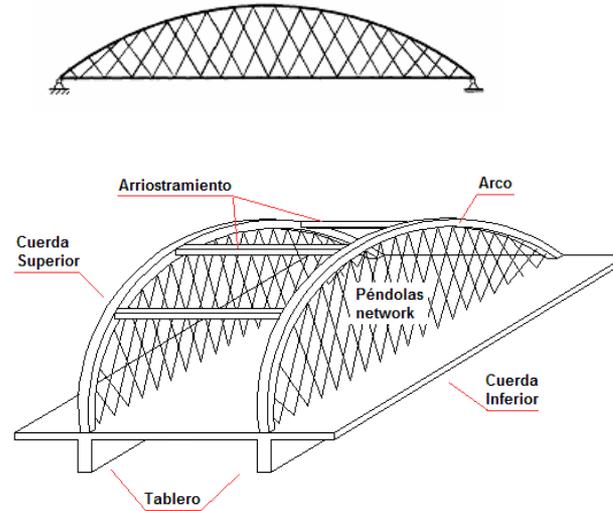
## **Arcos (cuerda superior)**

Perfiles Universal Colum o cajón.

Se utiliza más de un arco.

Geometría circular.

Arriostramiento superior en K y Vierendeel.



# Puente en arco network

Características fundamentales para la estructuración de puentes network.

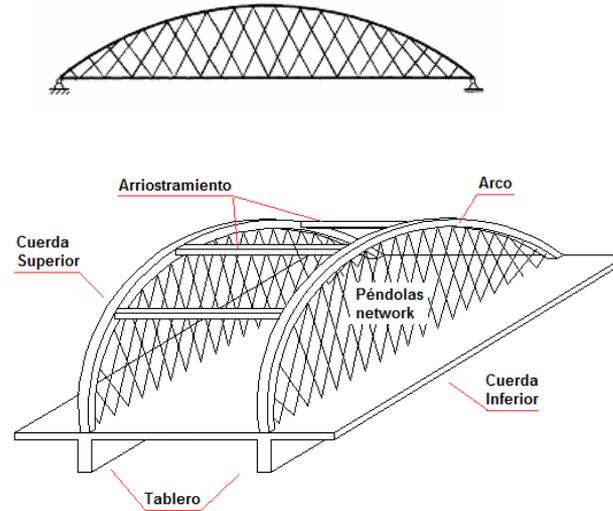
## **Tablero (cuerda inferior).**

Losa (hormigón o metálica).

Vigas de soporte del arco.

Tirante (postensado).

Vigas transversales.

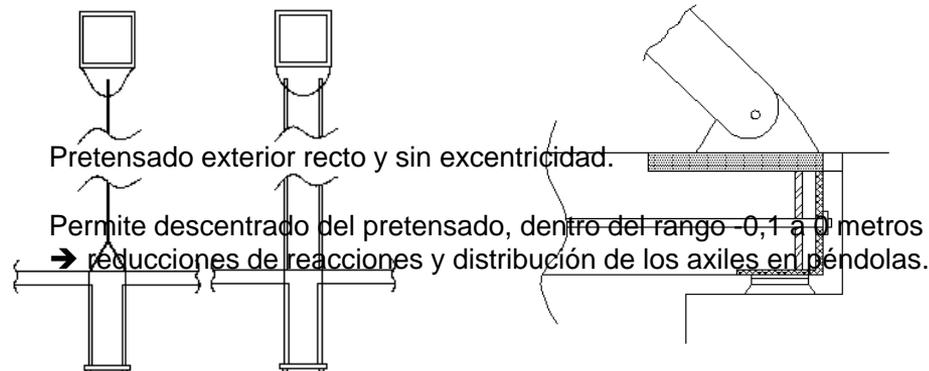


# Crerios comparados

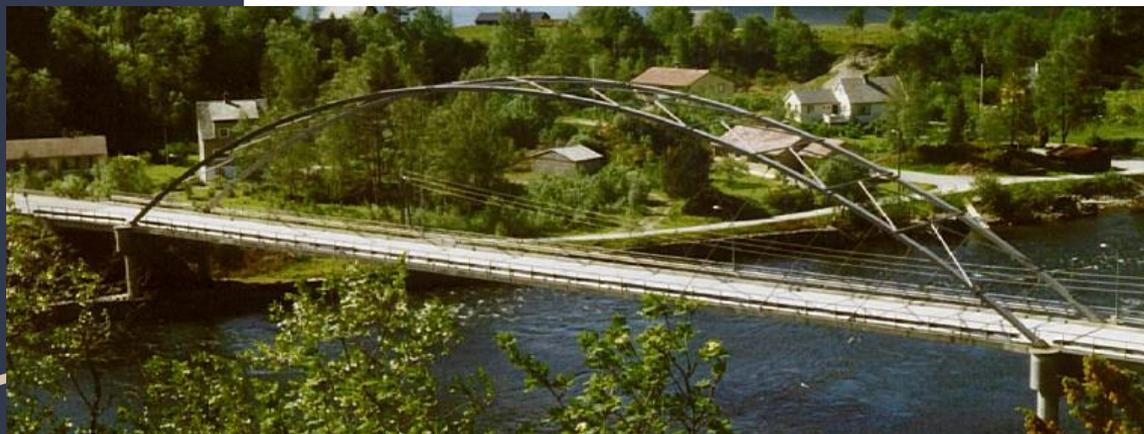
	Elementos	Obra nueva	Obra refuerzo
Arco	Posición	Doble extremo	Único centrado (tablero < 8 m.) Doble extremo (tablero > 8 m.)
	Inclinación	No	No
	Arriostramiento	Según el caso	Vierendeel
	Tipo de trazado	Circular constante	Circular
	Relación Flecha/Luz	14 - 17 %	16-17%
	Tipo de perfil	H	Cuadrado
	Canto / Luz	1/128 - 1/367	< 1/127
Péndolas	Tipo de péndolas	1	2
	Número de grupos	2	3
	Distribución	Radial	Radial - Vertical
	Distancia péndolas	2 a 4 metros	2 a 3 metros
	Ángulo	45° a 65°	55° a 65°
Tablero	Material	Hormigón armado	Hormigón armado
	Tipo	Losa simple	Vigas long. y trans.
	Aumento de ancho	Vigas transversales	Vigas transversales (existentes)
	Utilización V.T	Si	Si

# Criterios comparados

Aparato de apoyo	Esquema	Fijo-Deslizante	Fijo-Deslizante
	Tipo	Pot	Pot
	Número de aparatos	1 a 2 por arco	Según apoyos en el puente original
Conexiones	Acoplamiento péndola	Si	No
	Arco-péndola	Conexión placa y rosca	Conexión placa y rosca
	Péndola-tablero	Barra y placa embebida	Barra con placa inferior
	Péndola activa-tablero	no aplica	Barra con placa inferior especial
	Arco-tablero	Doble placa y empotramiento + pretensado	Doble placa y empotramiento + pretensado exterior Verificación alternativa con articulación del arco



# Proceso Constructivo



# Montaje

- Alzamiento y sistemas de pontones



***Brandanger Network Arch Bridge -erection***

# Levantamiento Arco

- Análisis Estructural 2D

Peso = 120 ton



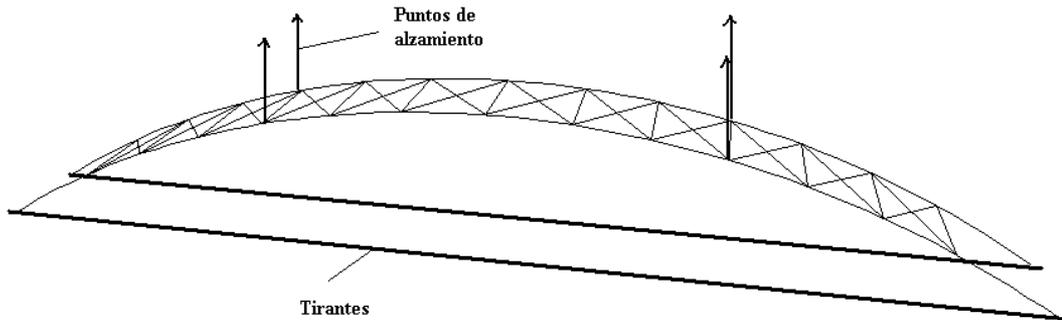
Desde la Clave

H = 160 ton



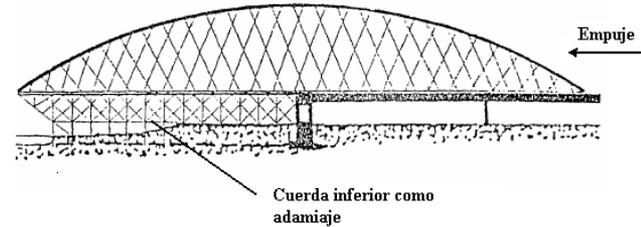
Dos Puntos  
(L/3)

H = 139 ton



Cable Tensionado,  
8 cables 0,6"

# Montaje

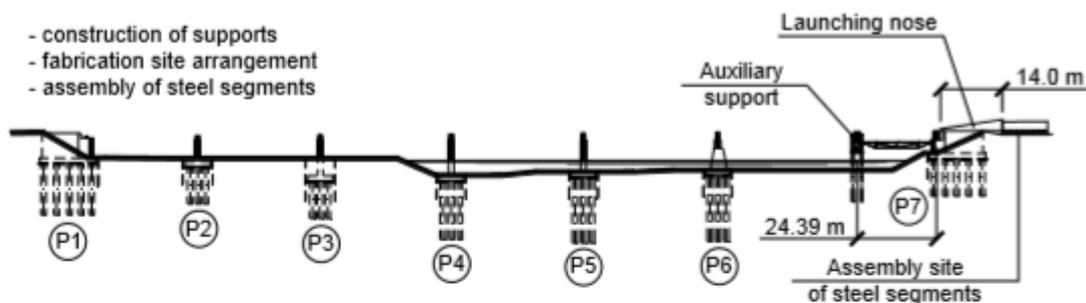


El puente arco network de hormigón prefabricado, 2013 construido por el Departamento de Transporte de Texas, EE. UU. La estructura de arco con 49,7 m (163 pies) de largo tiene un peso de 290t, que se construyó para reemplazar el puente existente construido en 1913. El arco se emplazará a través del puente viejo por un transportador móvil autopropulsado

# Montaje

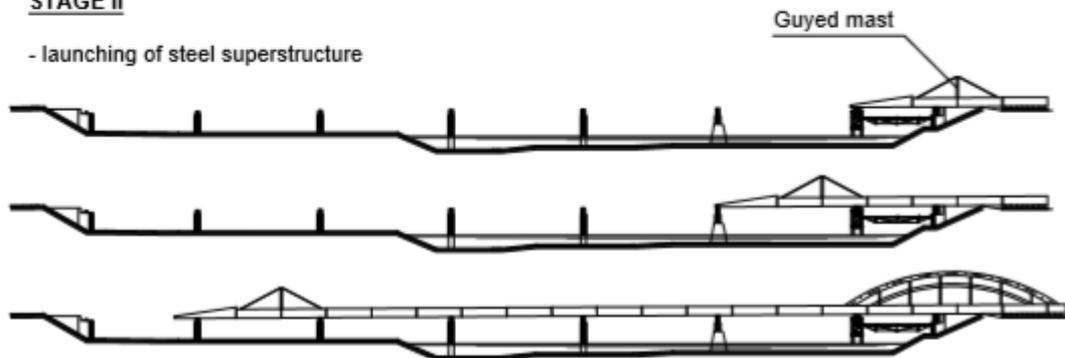
## STAGE I

- construction of supports
- fabrication site arrangement
- assembly of steel segments



## STAGE II

- launching of steel superstructure



Los segmentos de acero de vanos se ensamblaron en un sitio de construcción especial y luego se lanzaron gradualmente a la posición final

NEW WARSAW BRIDGE OVER THE ODRA RIVER  
IN WROCLAW

Jan Biliszczuk<sup>+</sup>, Wojciech Barcik<sup>+</sup>, Jerzy Onysyk<sup>+</sup>, Przemysław Prabucki<sup>+</sup> &  
Krzysztof Sadowski<sup>+</sup>

# Montaje

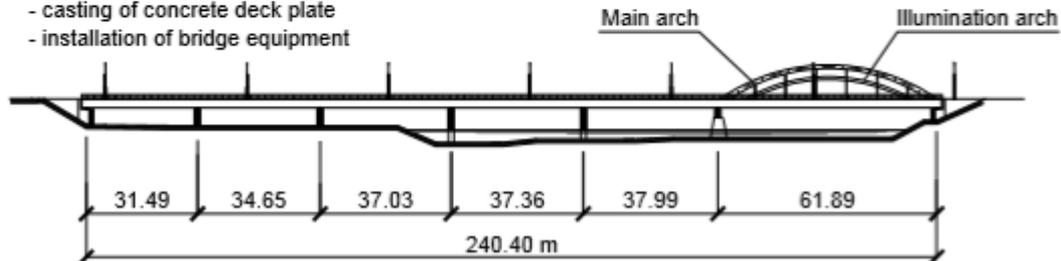
## STAGE III

- removal of auxiliary support
- lowering of the structure on bearings



## STAGE IV

- casting of concrete deck plate
- installation of bridge equipment



Los segmentos de acero de vanos se ensamblaron en un sitio de construcción especial y luego se lanzaron gradualmente a la posición final

NEW WARSAW BRIDGE OVER THE Odra RIVER  
IN WROCLAW

Jan Biliszczuk<sup>\*</sup>, Wojciech Barcik<sup>+</sup>, Jerzy Onysyk<sup>+</sup>, Przemysław Prabucki<sup>+</sup> &  
Krzysztof Sadowski<sup>+</sup>

# Montaje



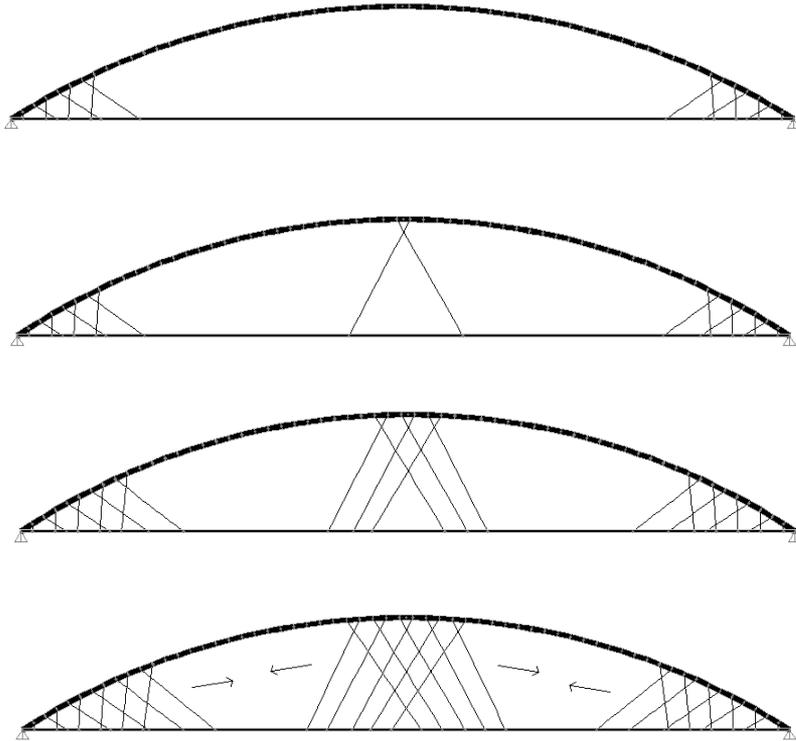
Los péndolas se tensaron una vez finalizado el lanzamiento, antes de retirar el soporte temporal. La última etapa de la construcción fue la fundición de la losa del tablero

El montaje se llevó a cabo en cuatro etapas principales: Primer paso se lanzó un tramo de unos 70 m de longitud utilizando un morro de lanzamiento; en los siguientes pasos se lanzó el segundo segmento de la estructura de acero (60 m de largo) y posteriormente el tercer segmento (40 m de largo); - en la última etapa se montó el vano más largo reforzado por el arco, el lanzamiento se realizó luego de ensamblado por completo el arco y las perchas..

NEW WARSAW BRIDGE OVER THE ODRA RIVER  
IN WROCLAW

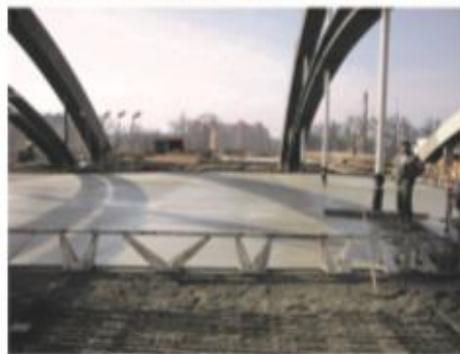
Jan Biliszczuk<sup>+</sup>, Wojciech Barcik<sup>+</sup>, Jerzy Onysyk<sup>+</sup>, Przemysław Prabucki<sup>+</sup> &  
Krzysztof Sadowski<sup>+</sup>

# Secuencia tensado cables.



# Montaje

Etapas de la construcción de losas del tablero de hormigón



NEW WARSAW BRIDGE OVER THE ODRA RIVER  
IN WROCLAW

Jan Biliszczyk<sup>1</sup>, Wojciech Barcik<sup>2</sup>, Jerzy Onysyk<sup>3</sup>, Przemyslaw Prabucki<sup>4</sup> &  
Krzysztof Sadowski<sup>5</sup>

# Montaje

El Departamento de Carreteras de Nebraska, EE.UU. adoptó un sistema de puente de arco atirantado. Al utilizar materiales de hormigón y acero de alto rendimiento, los beneficios del compuesto CFST hacen que el peso propio de la estructura sea liviano y es posible erigir grandes segmentos en el sitio mediante una máquina de elevación normal después de que los componentes principales se hayan fabricado y ensamblado, por lo que se reduce el número de segmentos de montaje y juntas y se acelera el tiempo de construcción



Installation of Steel Arch Tube (Image by G. Morcoux)

# Puente en arco intermedio



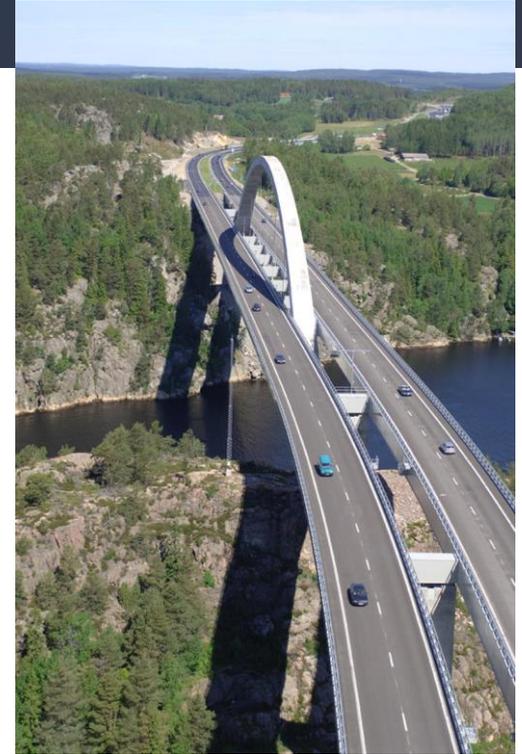
***New Svinesund Arch Bridge***

# Puente en arco intermedio



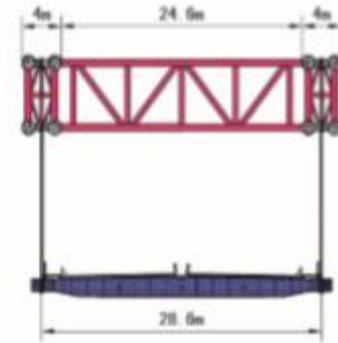
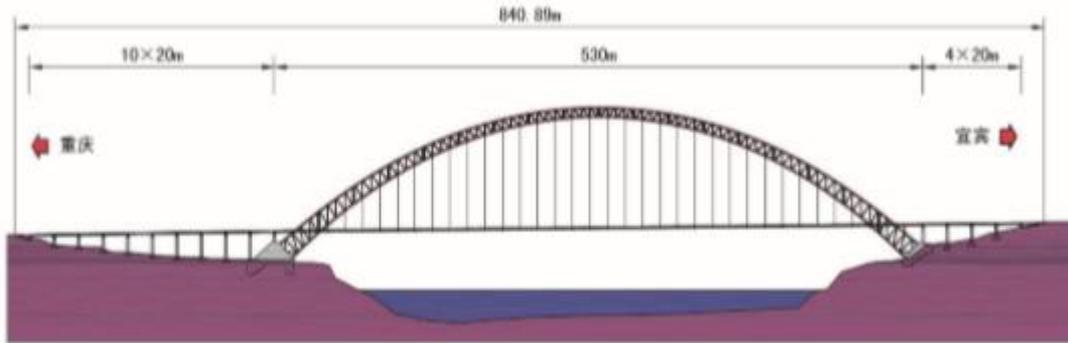
***New Svinesund Arch Bridge***

# Puente en arco intermedio



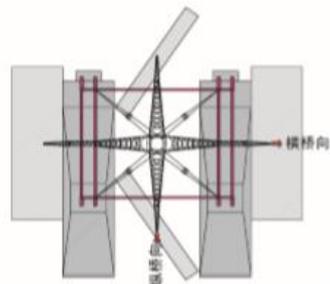
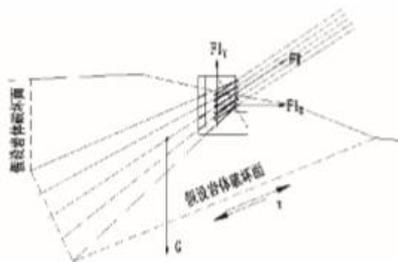
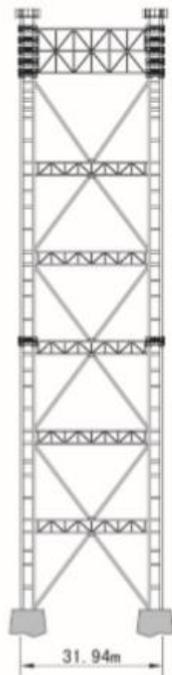
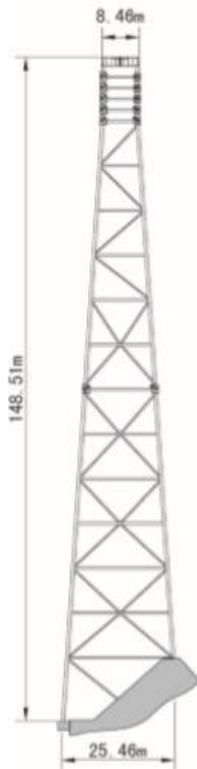
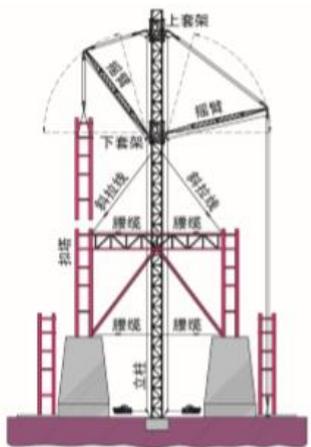
***New Svinesund Arch Bridge***

# Construcción con torres



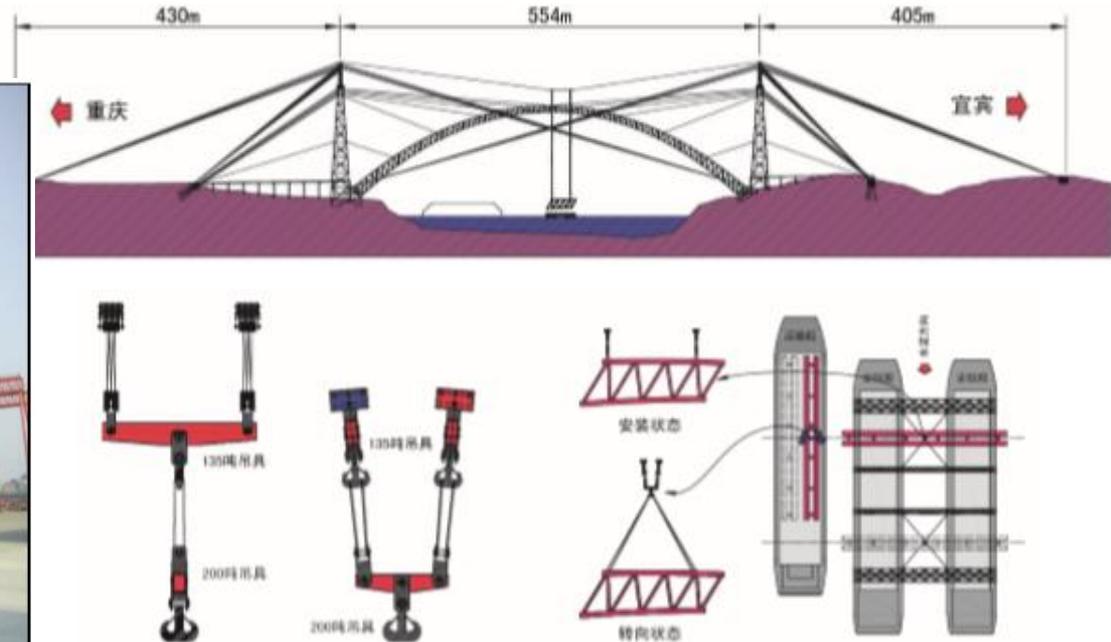
El río Boshideng Hejiang Yangtze se encuentra en el condado de Hejiang, en la provincia de Sichuan de China. Tiene la disposición del tramo es de  $10 \times 20\text{m}$  (aproximación) +  $530\text{m}$  (tramo principal) +  $4 \times 20\text{m}$  (aproximación). Los puentes de acceso son puentes de vigas múltiples de hormigón armado pretensado, y el puente principal es un puente de arco CFST con una luz de  $530\text{m}$ , que es la luz más larga del mismo tipo de puente en el mundo.

# Construcción con torres



KEY TECHNOLOGIES IN THE CONSTRUCTION OF THE BOSIDENG HEJIANG YANGTZE RIVER BRIDGE

# Construcción con torres



KEY TECHNOLOGIES IN THE CONSTRUCTION OF THE BOSIDENG HEJIANG YANGTZE RIVER BRIDGE

Yu Han\*, Dayan Qin\* & Zhi Feng\*

# Construcción con torres



**KEY TECHNOLOGIES IN THE CONSTRUCTION OF  
THE BOSIDENG HEJIANG YANGTZE RIVER BRIDGE**

Yu Han\*, Dayan Qin\* & Zhi Feng\*

# Puente en arco Celosía



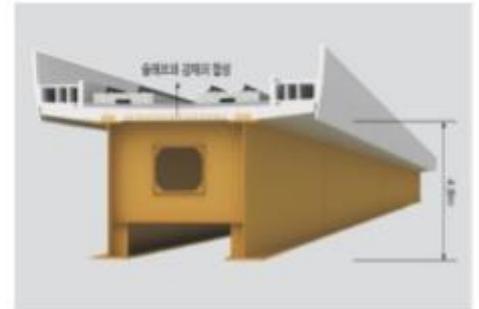
Figure 2: Dashengguan Bridge in China under construction

Dashengguan Bridge with a main span of 336m (steel truss arch bridge, 2011)

# Construcción Puente KeumGang – Corea



(a) Main Arch Span



(b) Approach Span

Puente Tipo Nielsen  
Uso de cables como péndolas  
Doble arco para estabilidad  
Uso ferroviario

DESIGN AND CONSTRUCTION OF LONG SPAN HIGH  
SPEED RAILWAY ARCH BRIDGE – KEUMGANG  
BRIDGE

# Construcción Puente KeumGang – Corea



(a) Plate girder segmentation



(b) Installation of first block



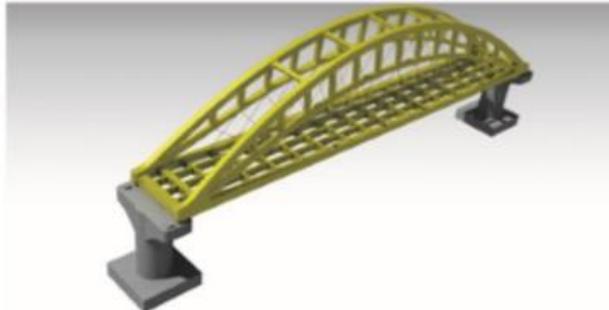
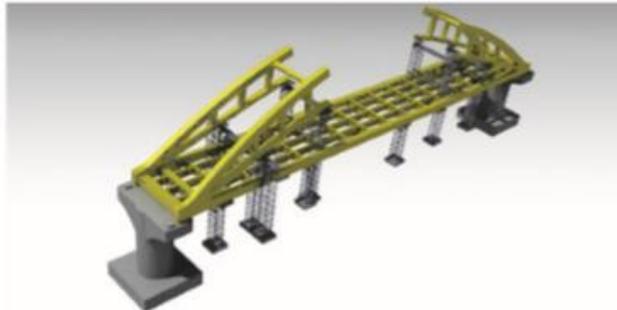
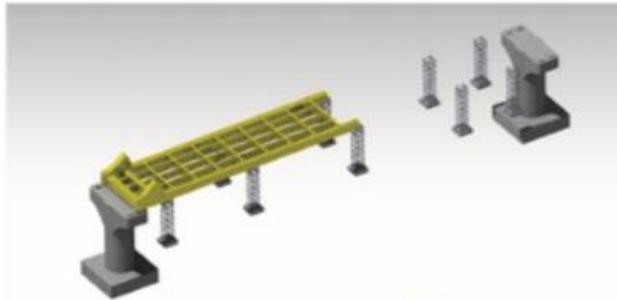
(c) Erection of 2<sup>nd</sup> plate girder



(d) Erection completed

DESIGN AND CONSTRUCTION OF LONG SPAN HIGH  
SPEED RAILWAY ARCH BRIDGE – KEUMGANG  
BRIDGE

# Construcción Puente KeumGang – Corea



Uso BIM

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF LONG SPAN HIGH  
SPEED RAILWAY ARCH BRIDGE – KEUMGANG  
BRIDGE**

Jongyoung Song\*, Kyuyong Choi<sup>†</sup>, Wansoo Lee<sup>#</sup> & Jaeyeol Cho<sup>°</sup>

# Construcción Puente KeumGang – Corea



(a) Site assembly

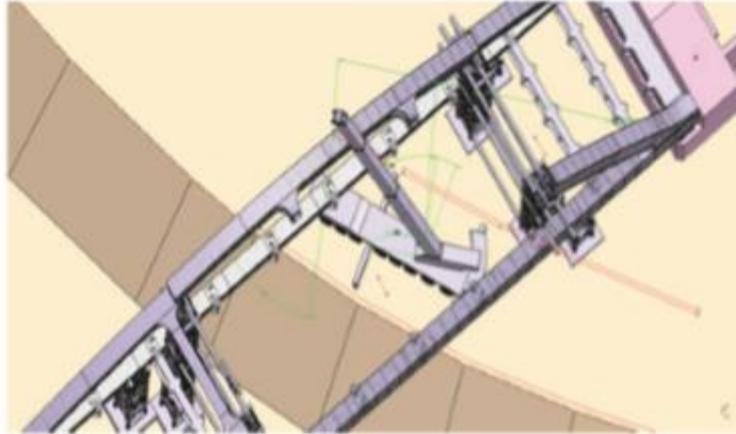


(b) Final closure

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF LONG SPAN HIGH  
SPEED RAILWAY ARCH BRIDGE – KEUMGANG  
BRIDGE**

Jongyoung Song\*, Kyuyong Choi<sup>†</sup>, Wansoo Lee<sup>#</sup> & Jaeyeol Cho<sup>◊</sup>

# Construcción Puente KeumGang – Corea



**DESIGN AND CONSTRUCTION OF LONG SPAN HIGH  
SPEED RAILWAY ARCH BRIDGE – KEUMGANG  
BRIDGE**

Jongyoung Song\*, Kyuyong Choi<sup>†</sup>, Wansoo Lee<sup>#</sup> & Jaeyeol Cho<sup>◊</sup>

# Construcción Puente KeumGang - Corea



(a) Saddle member



(b) Syncro hoist

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF LONG SPAN HIGH  
SPEED RAILWAY ARCH BRIDGE – KEUMGANG  
BRIDGE**

Jongyoung Song<sup>\*</sup>, Kyuyong Choi<sup>†</sup>, Wansoo Lee<sup>#</sup> & Jaeyeol Cho<sup>o</sup>

# Construcción Puente KeumGang - Corea

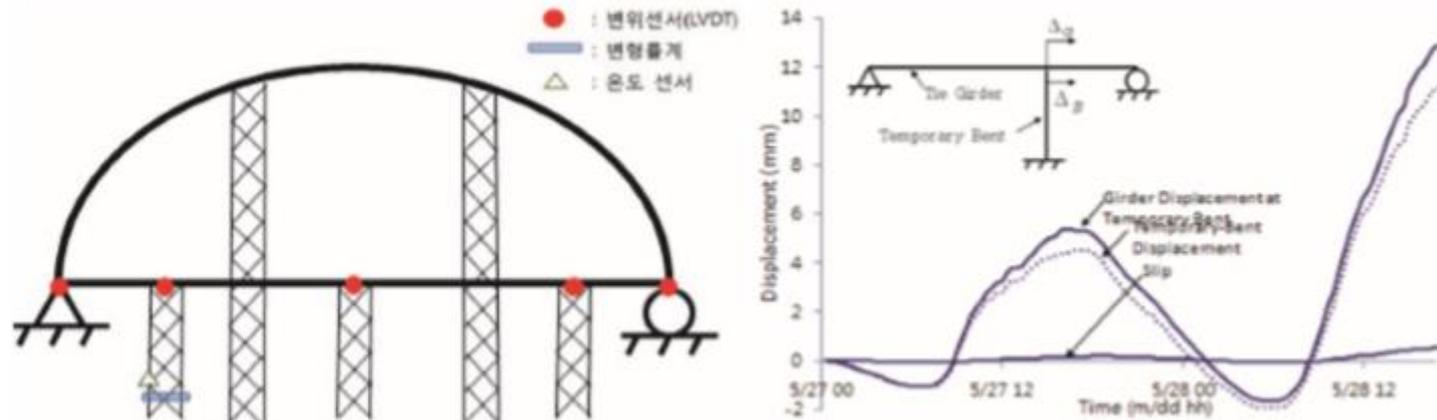
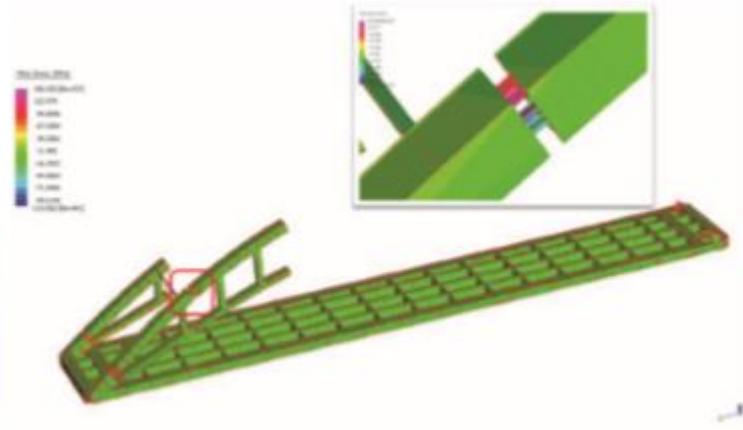


Figure 8: Construction monitoring of temporary bent system

# Construcción Puente KeumGang – Corea



(a) Erection piece



(b) Analysis results

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF LONG SPAN HIGH  
SPEED RAILWAY ARCH BRIDGE – KEUMGANG  
BRIDGE**

Jongyoung Song<sup>\*</sup>, Kyuyong Choi<sup>†</sup>, Wansoo Lee<sup>#</sup> & Jaeyeol Cho<sup>o</sup>

# Construcción Puente KeumGang - Corea

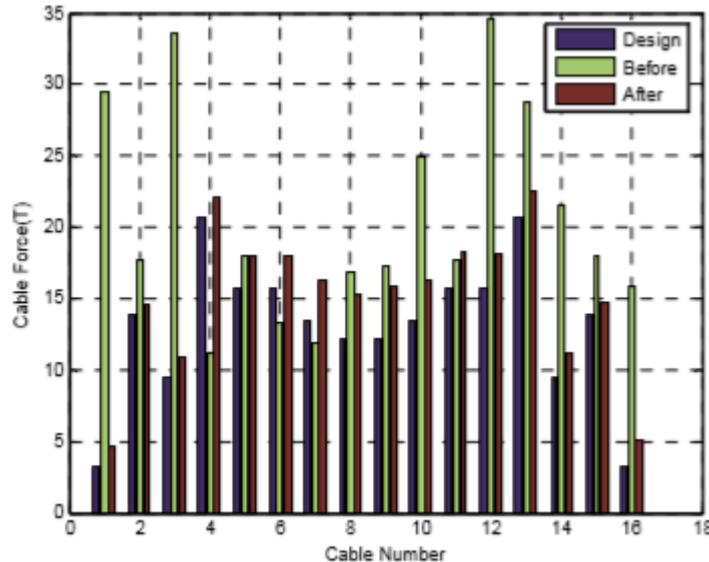


Figure 10: Cable force adjustment using optimization

# Método Constructivo - Análisis Estructural

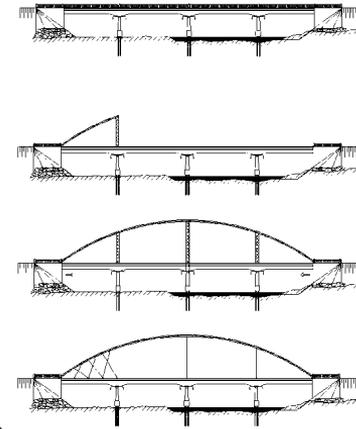
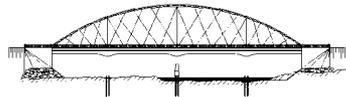
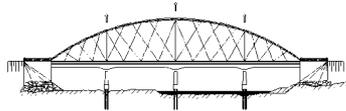


# Método Constructivo Cimbra

- Compuesto por dos fases:

**a) Etapa de preparación**  
(Incorporación arco, torres, ...)

**b) Etapa de levantamiento**  
(Secuencia de tesado de péndolas)



El tesado produce el levantamiento del tablero e induce los cambios estáticos:

- Proceso complejo.
- Requiere optimización avanzada.

# Método de tesado (levantamiento)

2) Mecanismos automatizados y optimizados:

Sistema de optimización del proceso constructivo:

- Automatización del proceso.
- Concepto multi-objetivo de soluciones.



- a) Permitir el levantamiento del tablero.
- b) Conservación de un estado de tensiones admisibles.
- c) Utilización de menor cantidad de material y mínimo de operaciones de tesado.

# Métodos de optimización

- Tipos de métodos de optimización:

## Clásicos:

Escalar, sin  
restricciones, lineales,

...

No lineal

## Inconvenientes:

- { Técnicas de aproximación (diferencias finitas).  
Gran tiempo consumido.
- { No asegura obtener un óptimo global.  
Menos robusto que los métodos por combinación.  
Convergencias lentas al óptimo global.

## Meta-heurísticos:

Optimización por combinación relacionados con un análisis probabilístico.

Ventaja

- { No necesita información de gradiente.  
Análisis sensitivo previo.

# Optimización Meta-heurística

## Meta-heurísticos:

- Redes neuronales { Requiere un período prolongado de aprendizaje.  
Soluciones aproximadas.
- Estrategia evolutivas { Se requiere: teorías probabilísticas y estadísticas.  
Estudio de solución caso a caso.  
No función analítica objetiva.
- Algoritmos Genéticos

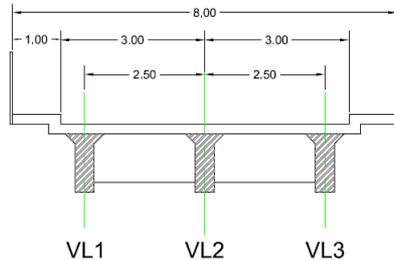
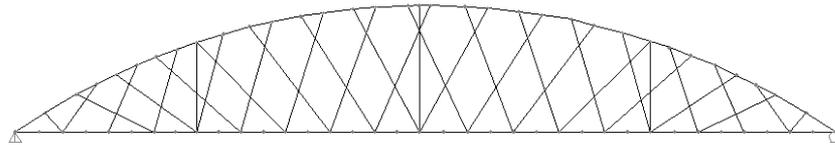
Ventaja

- { No requiere información previa.
- { Puede utilizar variables discretas y continuas.
- { Entrega un conjunto de óptimos según sea el criterio.
- { Número reducido de variables → Bajos tiempos convergencia.

# Verificación caso particular

## Puente Puangue:

- Número de péndolas verticales = 3 (pilas de apoyo)
- Relación flecha/luz = 0,15

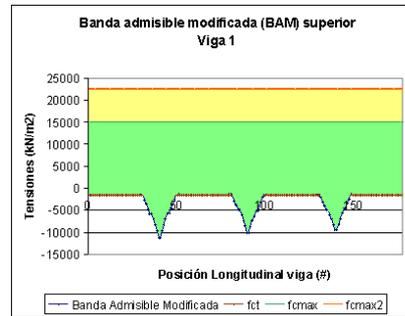
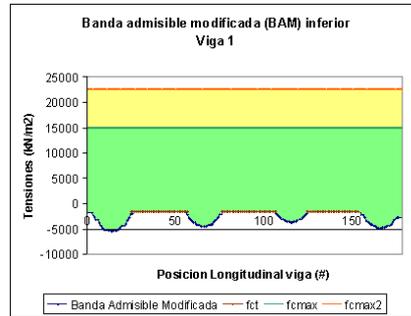


- Tres vigas longitudinales continuas.
- Vigas transversales.

# Verificación caso particular

## Banda Admisible Modificada (BAM):

- Tensiones de referencia en vigas longitudinales del puente original.
- Resistencia a compresión de hormigón,  $f_{cmax} = 15000$  kN
- Resistencia a compresión de hormigón ampliada,  $f_{cmax2} = 22500$  kN
- Resistencia a tracción del hormigón,  $f_{ct} = 1542,6$  kN



# Verificación caso particular

## Aplicación TEMEGA:

Población = 7

Métodos de tesado = 150

Fatiga péndola = 2350 kN

Dominio tensiones = 50 – 100%

Carga inicial = 1568 kN

Cruza = 80%

Mutación gen orden = 50%

Factor a = 0,5

Solución aceptable  $\rightarrow < F$

Tesado de la péndola izquierda

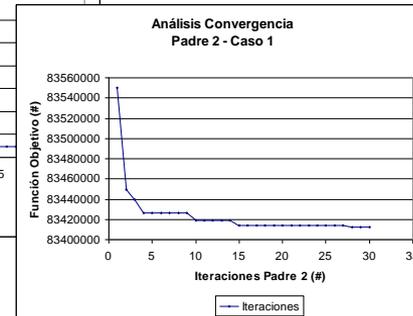
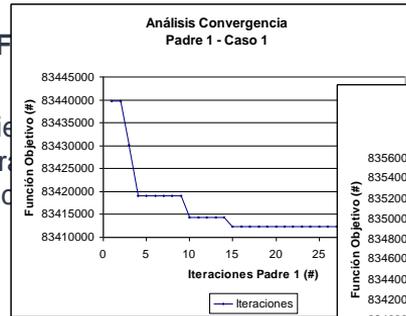
Tesado de la péndola central

Tesado de la péndola derecha

$\Omega = 166823420$

$\Theta = 0$

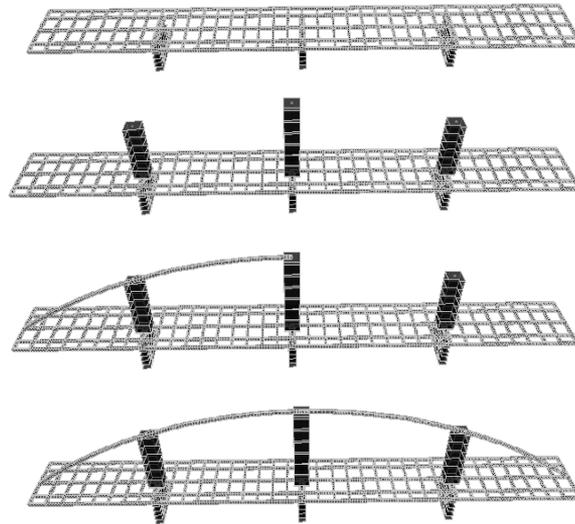
Función de bondad = 83411710



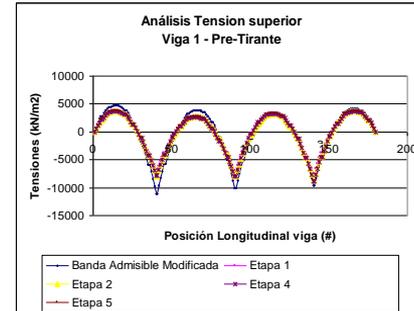
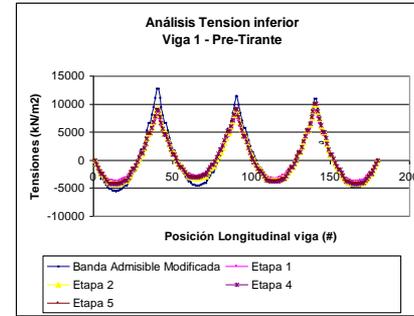
# Verificación caso particular

## Método Constructivo:

- 14 fases constructivas:



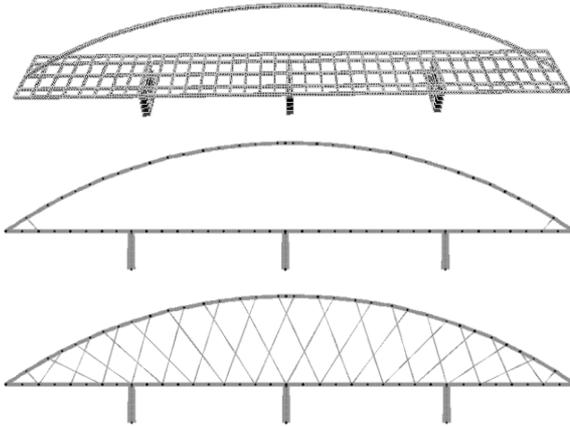
## Etapa: Pre-tirante



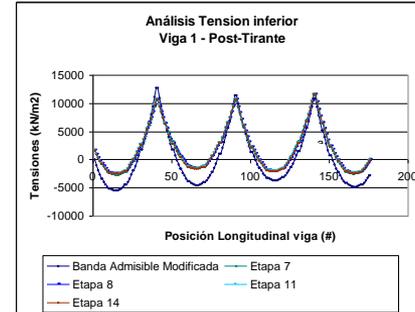
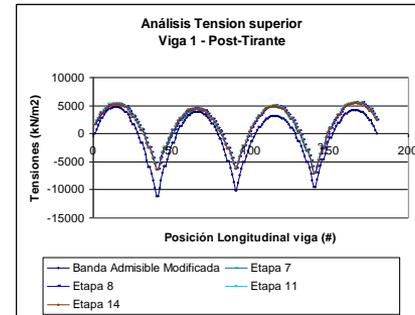
# Verificación caso particular

## Método Constructivo:

- 14 fases constructivas:



## Etapa: Post-tirante



# Verificación caso particular

## Método de Tesado:

A partir del estado tenso-deformacional entregado por la etapa constructiva.

### Fase de Tesado Levantamiento

Etapa 1: Tesado péndola izquierda  
Levantamiento central  
Etapa 2: Tesado péndola central  
Levantamiento izquierdo  
Etapa 3: Tesado péndola derecha  
Levantamiento derecho

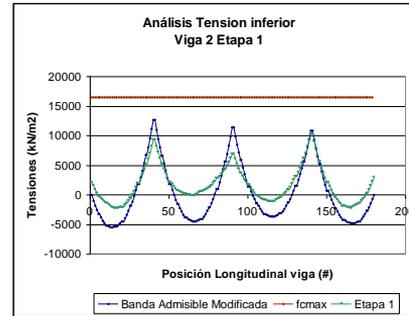
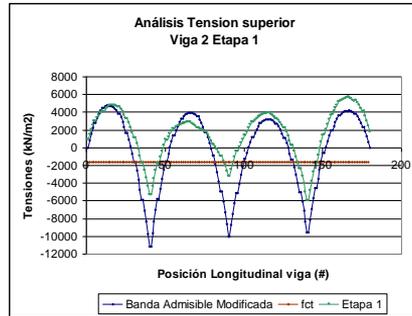
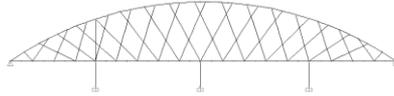
### Fase de

Etapa 4:  
Etapa 5:  
Etapa 6:

Secuencia aquí presentada no es necesariamente exclusiva para los procesos de tesado y levantamiento.

# Verificación caso particular

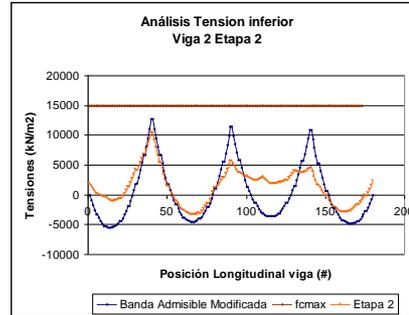
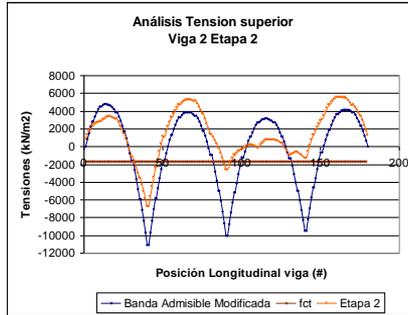
## Etapa 1:



No genera importantes modificaciones.

# Verificación caso particular

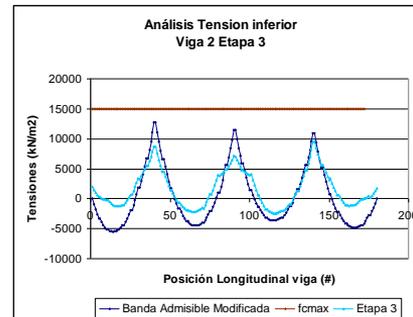
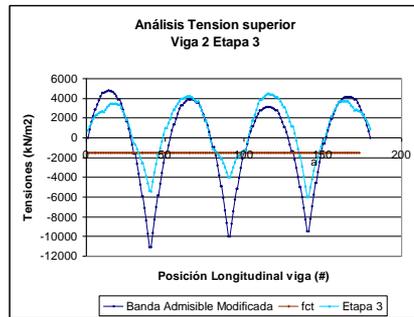
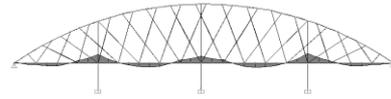
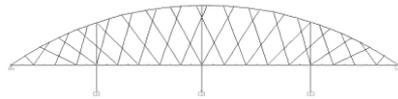
## Etapa 2:



Remanente de reacciones disminuye.

# Verificación caso particular

## Etapa 3:

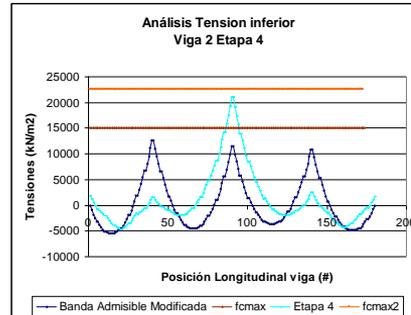
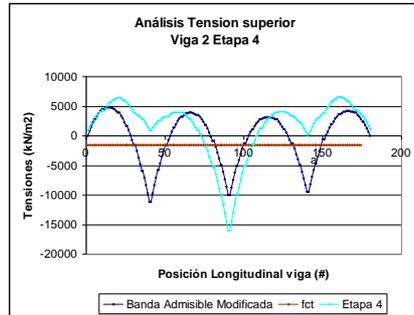
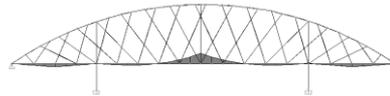
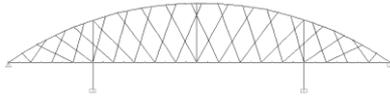


Levantamiento.

“...Frente a simultaneidad de estados con desplazamiento vertical, el orden de levantamiento será proporcional a la magnitud de estas flechas”.

# Verificación caso particular

## Etapa 4:

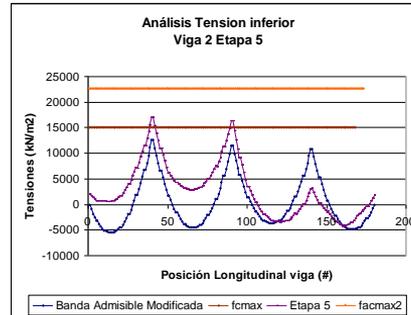
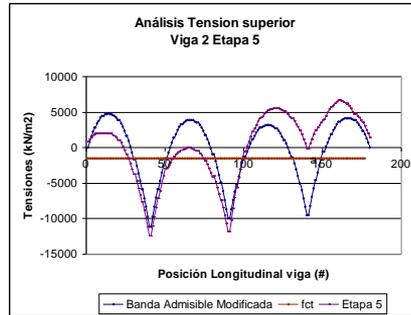
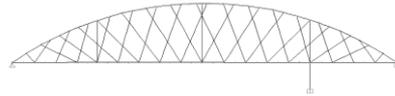


Tensiones negativas apoyo central superiores a la BAM y a la restricción por límite de tracción del material.

Refuerzo complementario del sector.

# Verificación caso particular

## Etapa 5:

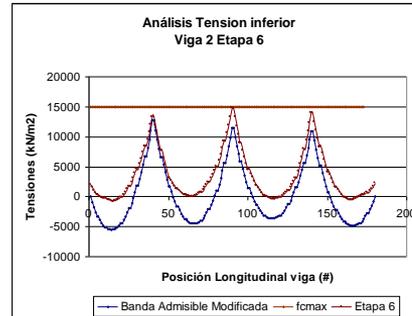
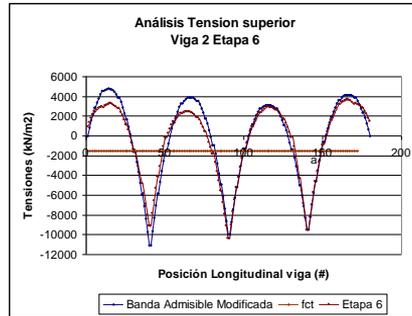
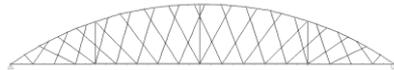


Se redistribuyen las tensiones desde el sector central hacia, principalmente, el sector izquierdo.

Se ajustan las tensiones negativas a las tensiones de referencia.

# Verificación caso particular

## Etapa 6:



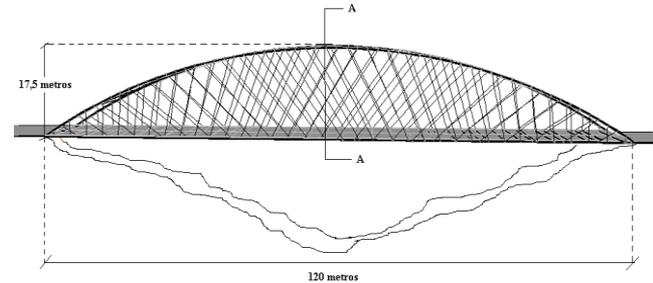
La solución se ajusta sensiblemente a las tensiones de referencia.

Aceptación del método constructivo y tesado.

Refuerzos puntuales y/o intentar alguna optimización más refinada.

# Comparación por tipologías

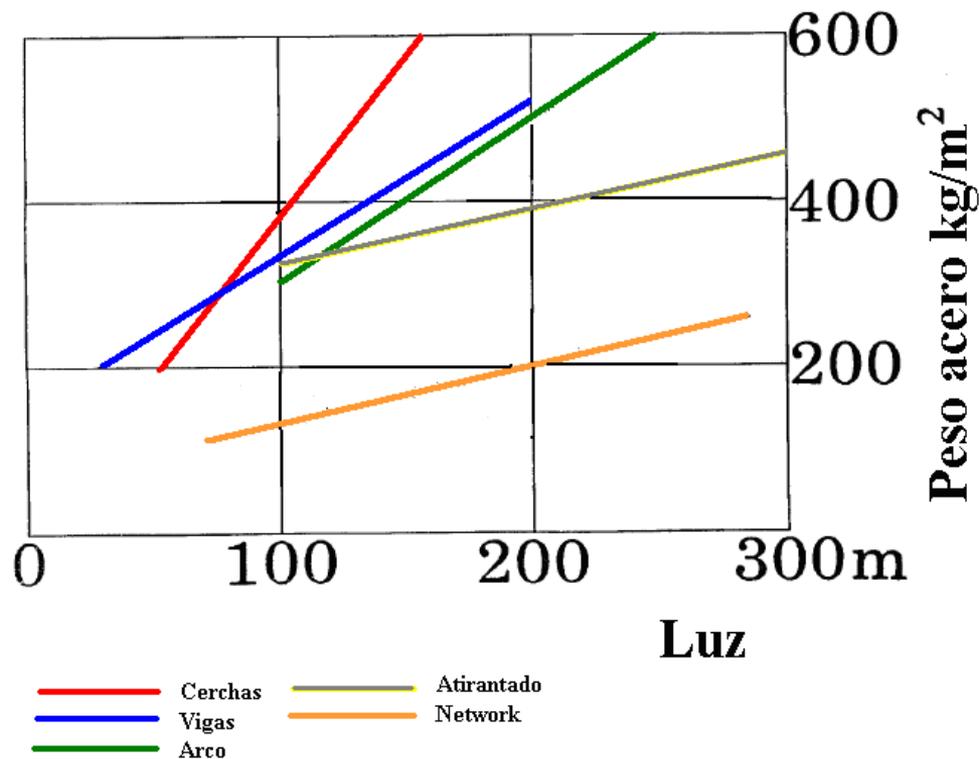
- Puente Vigas metálicas v/s Network



Item	Choapa	Network	Porcentaje
Acero	209,47	277,40	132
Hormigón	1028,78	792	77
Moldaje	162816	2878	2

# Comparación por tipologías

- Estudio Max Herzog



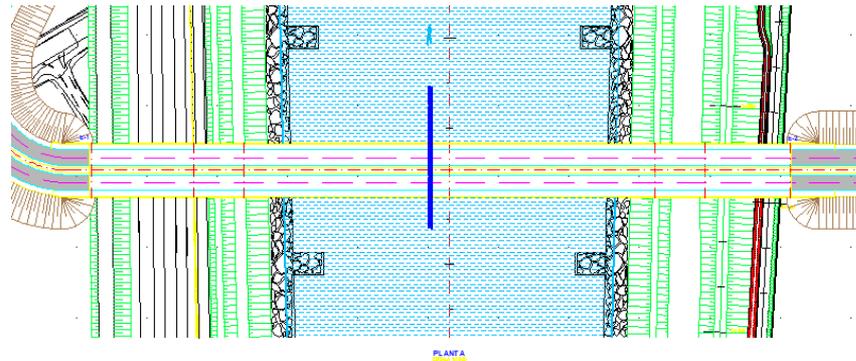
# Proyecto puente arco atirantado sobre el río Llobregat, Cataluña, España.

---

Franco Rojas H. & Matías Valenzuela S.

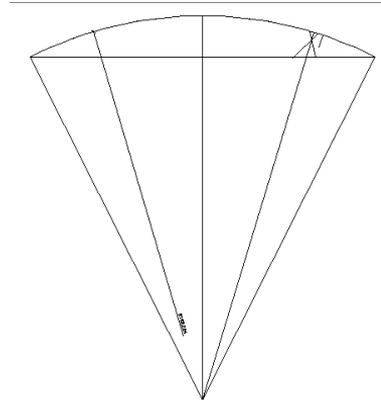
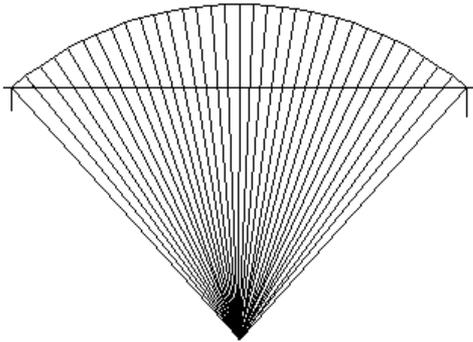
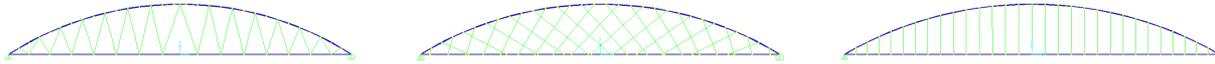
# Introducción

- Luz 310 metros
- Paso sobre río
- Paso sobre carretera
- Paso camino rural



# Concepción Estructural

- Decisión del arreglo de péndolas



20% reducción

Disposición  
radial

$N^\circ = 70$

$^\circ = 40^\circ - 70^\circ$

# Concepción Estructural

- Decide por puente network → péndolas se cruzan al menos en 2 puntos.

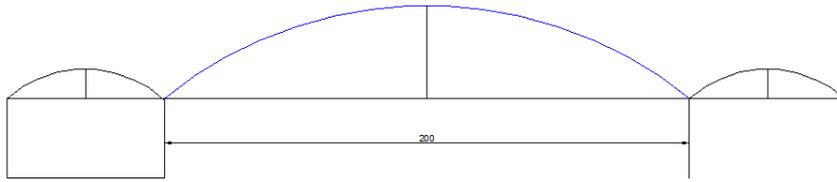


Ruta a Pamplona-Bilbao

# Concepción Estructural

- Geometría longitudinal

## a) Puente tablero inferior



$L = 200 \text{ m}$

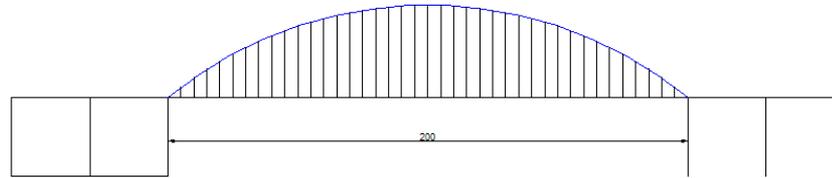
$LT = 60 \text{ m}$

$L = 200 \text{ m}$

$LT = 2 \times 30 \text{ m}$

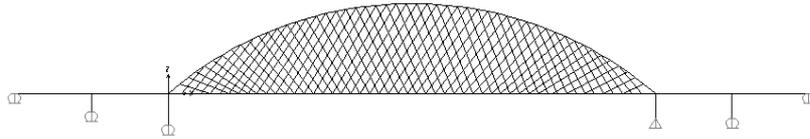
$H/L = 5,5 \rightarrow$

Altura arco = 35 m

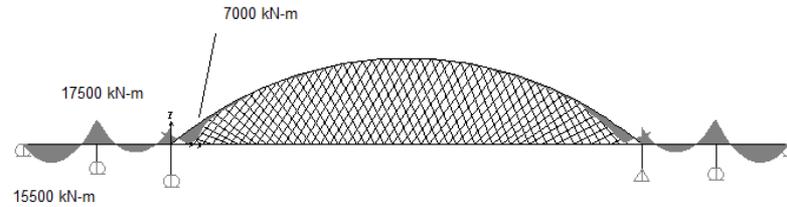


# Concepción Estructural

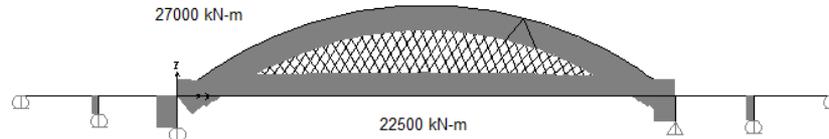
- Estudio 2D



Flexión



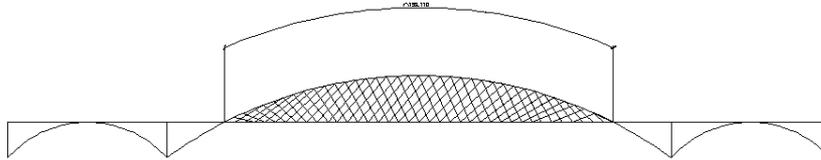
Axil



# Concepción Estructural

- Geometría longitudinal

b) Puente tablero intermedio



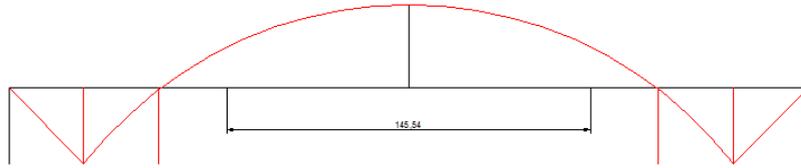
$L = 147 \text{ m}$

2 arcos tablero superior de 60 m luz

$H/L = 10 \rightarrow$  Altura 10 m  $\rightarrow$  Empujes

# Concepción Estructural

- Alternativa



$H/L = 10 \rightarrow 15,38$  metros

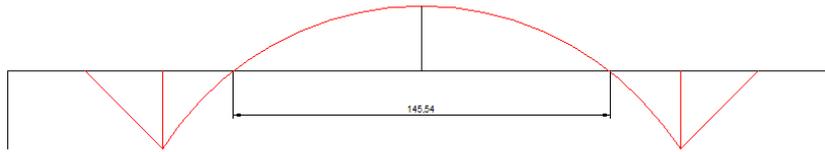
Alargo arco hasta apoyo 30 m

Sacar puntal

Problema de gálibo

# Concepción Estructural

- Alternativa 2



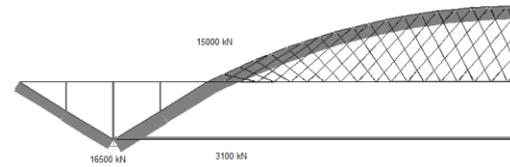
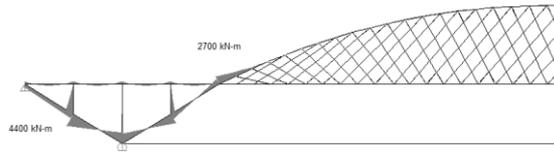
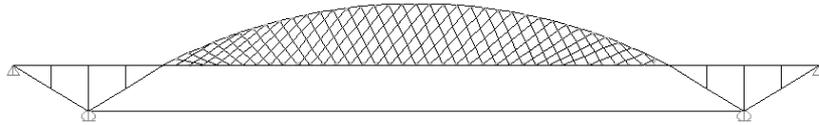
Acorta puntal

Primer apoyo del tramo 60 m

Funcional

# Concepción Estructural

- Modelación 2D

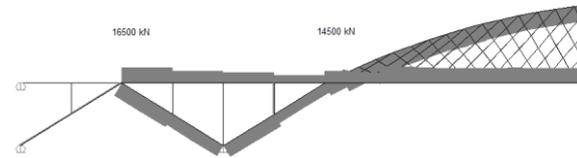
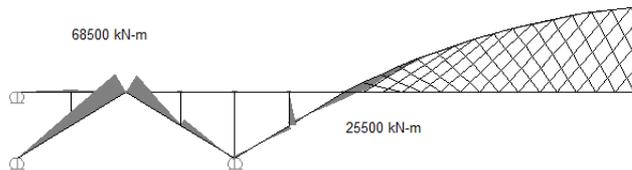


Problemas con axil muy grande → uso de tirante

Reducción mínima en axil y momento

# Concepción Estructural

- Influencia accesos



Sistema cerrado en axiles

Momento importante en accesos → Cambio pila en V

# Concepción Estructural

- Sección Tablero



Seccion Tablero Acceso (CL + jalón)



Seccion Tablero Acceso (CL)



Seccion Tablero Arco (CL)



Seccion Tablero Arco (CL)

Hormigón o Acero ?

Buscar uniformidad

# Concepción Estructural

- Sección Transversal puente arco

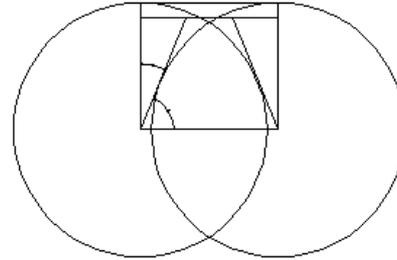
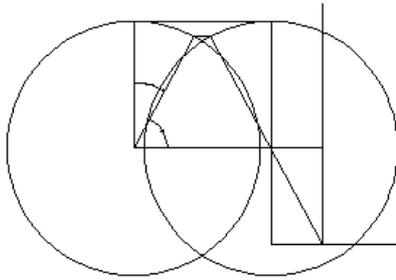
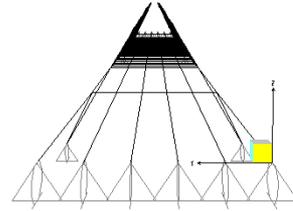
Ancho tablero = 24



+ 2 Arco



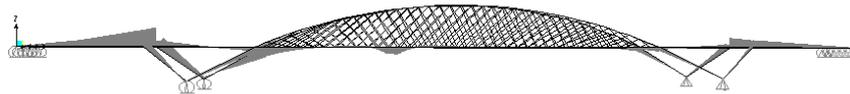
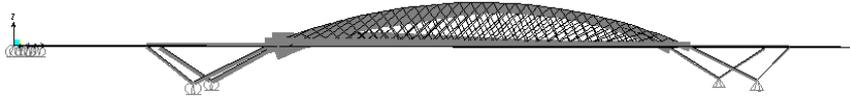
Arco inclinado



Angulo  $62^\circ$  v/s  $68^\circ$  → menor luz de riostras

# Estudio modelación

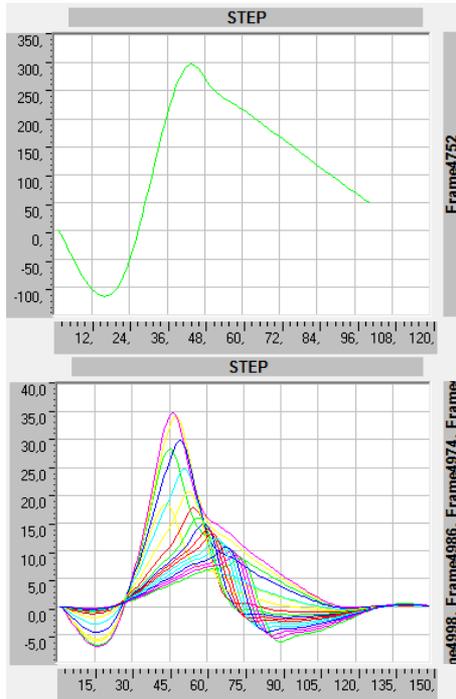
- Cargas:
  - a) Peso propio
  - b) Peso sectorizado
  - c) Línea de influencia paso camión



Carga excéntrica

# Estudio modelación

- Influencia carga múlti-paso

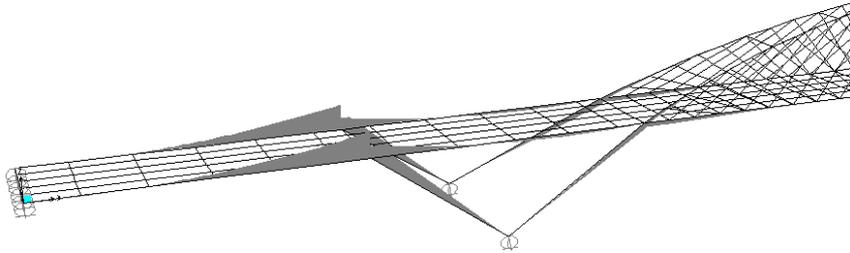


Momento en arranque arco

Axil en péndolas

# Estudio modelación

- Nuevas consideraciones



Sección variable pila

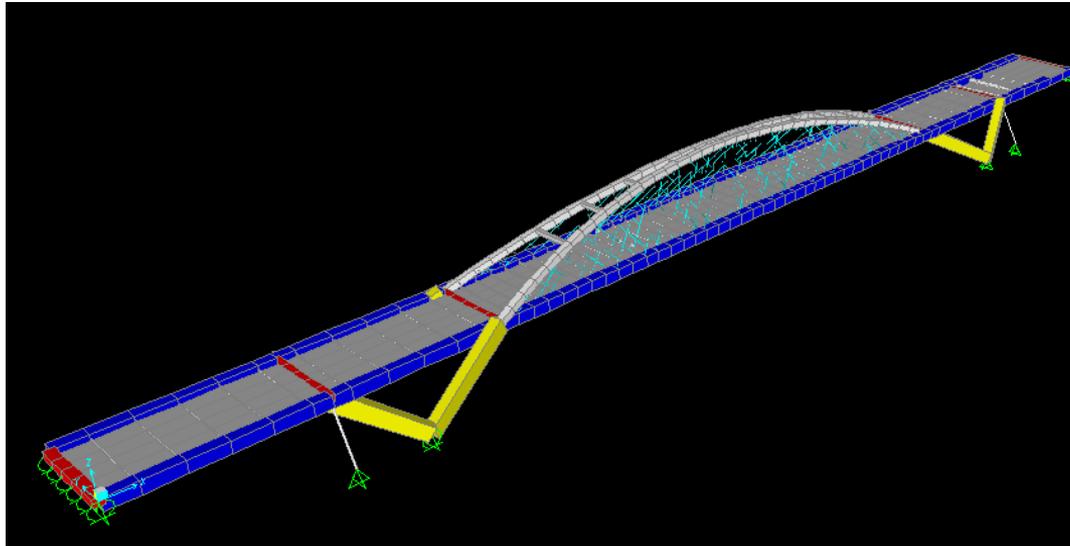
2.4 x 3.6 m

Levantamiento acceso en 20 cm +  $M = 129000$  kN-m:

- a) Cambio de sección a acero
- b) Incorporar más peso
- c) Utilización de tensor de retensión

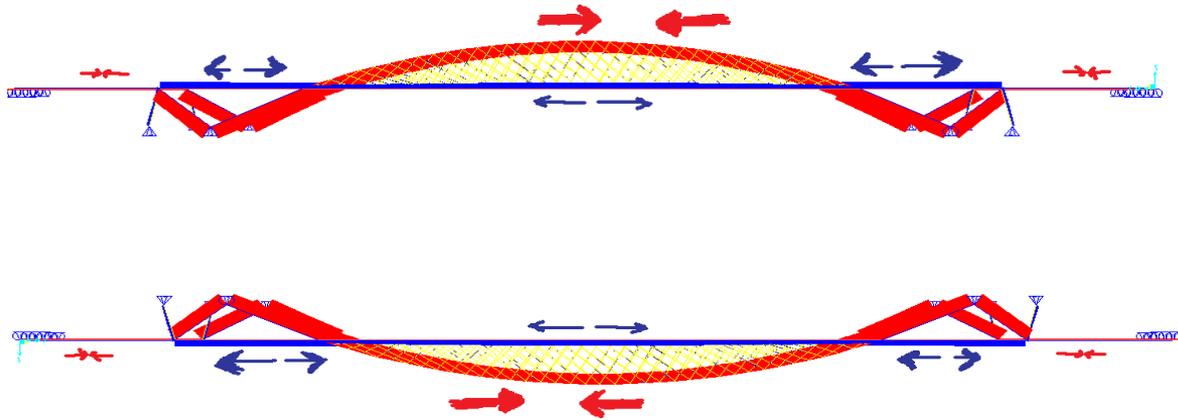
# Modelo estudio

- Se considera el siguiente modelo



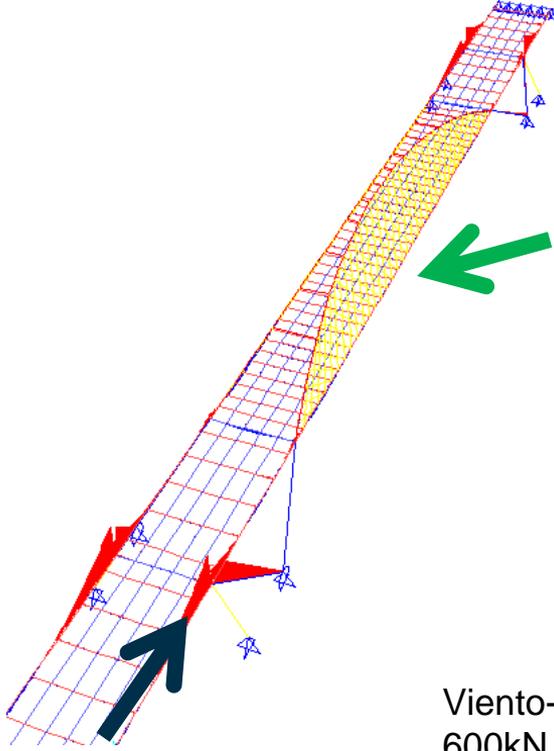
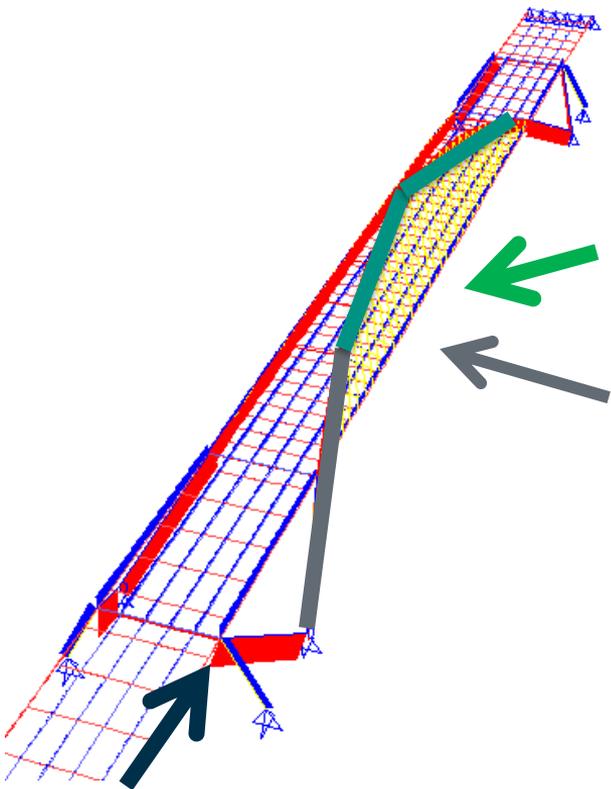
Reducción desplazamientos, momento en pila y acceso.  
Correcta geometría

# Flujo de fuerzas



“El arco es el artificio mediante el que la materia se vence a si misma”  
Cayo Lacer.

# Enfoque de análisis y diseño



Viento-  
600kN

# Arco- 1er orden

## Puentes en arco Anejo D EN 1993-2

### Geometría

L=	148.6 m
s=	78 m
f=	15.38 m
f/L=	0.10

### Pandeo en su plano (D.3.1)

Ncr=	$(\pi / \beta s)^2 \cdot E I_y$	$\beta=$	0.3 (Figura D.4)
f <sub>y</sub> =	275 Mpa	m=	38
E=	210000 Mpa	p=	3.8 m
I <sub>y</sub> =	7.74E+10 mm <sup>4</sup>		

Ncr= 308597 kN ←

A= 188400 mm<sup>2</sup>

$\lambda = (A f_y / N_{cr})^{(0.5)}$

$\lambda = 0.41$

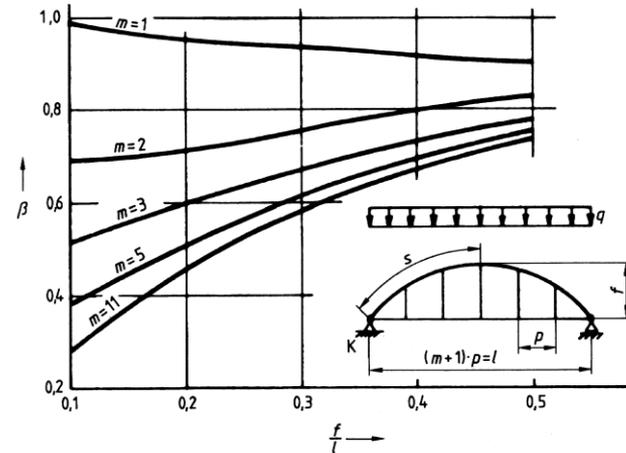
$\Phi = 0.5(1 + \alpha(\lambda - 0.2) + \lambda^2)$       $\alpha = 0.34$

$\Phi = 0.62$

$\chi = 1 / (\Phi + (\Phi^2 + \lambda^2)^{(0.5)})$

$\chi = 0.92$

N<sub>brd</sub>= 43435 kN ←



# Arco- 1er orden

Pandeo fuera del plano (D.3.4)			
Ncr=	$(\pi / \beta h)^2 \cdot E I_y$	$\beta=$	0.7 (Tabla D.1)
fy=	275 Mpa	h=	24 m
E=	210000 Mpa	hH=	8.1 m
Iy=	7.74E+10 mm <sup>4</sup>	hr=	17.3 m
		$\alpha_k=$	28 °
Ncr=	568386 kN	h/hr=	1.39
		lb=	6.36E+10 mm <sup>4</sup>
		lo=	1.11E+10 mm <sup>4</sup>
		b=	19 m

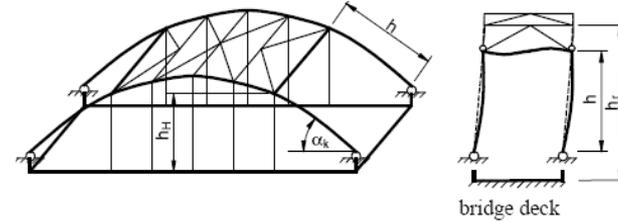
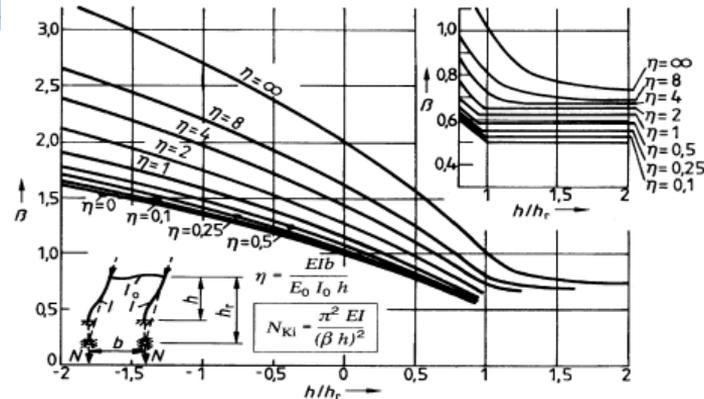
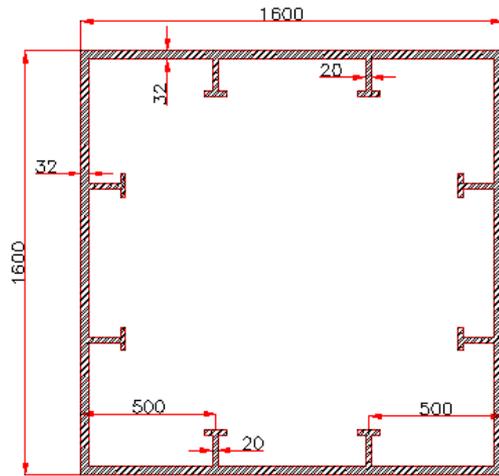
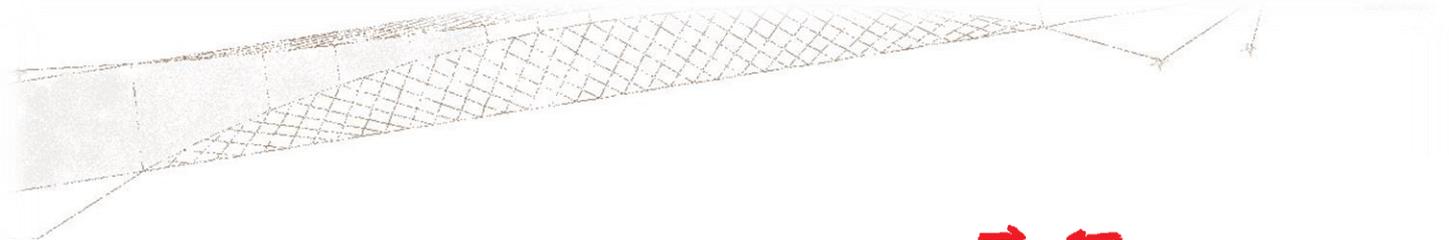


Figure D.5: Buckling of portals for arches

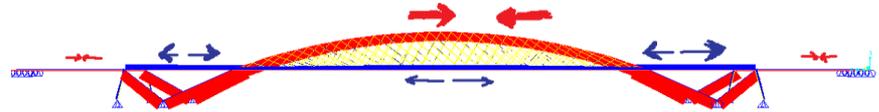
A=	189400 mm <sup>2</sup>	$\alpha=$	0.34
$\lambda =$	$(A f_y / N_{cr})^{(0.5)}$		
$\lambda =$	0.30		
$\Phi =$	$0.5(1 + \alpha(\lambda - 0.2) + \lambda^2)$		
$\Phi =$	0.56		
$\chi =$	$1 / (\Phi + (\Phi^2 - \lambda^2)^{(0.5)})$		
$\chi =$	0.96		
Nbrd=	45376 kN		



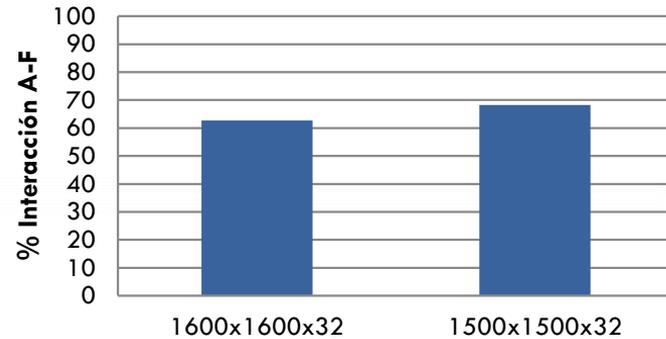
# Arco- 1er orden



AM-1

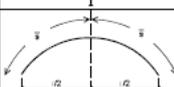
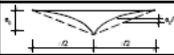
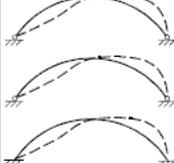
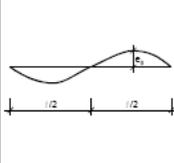


"Arco"



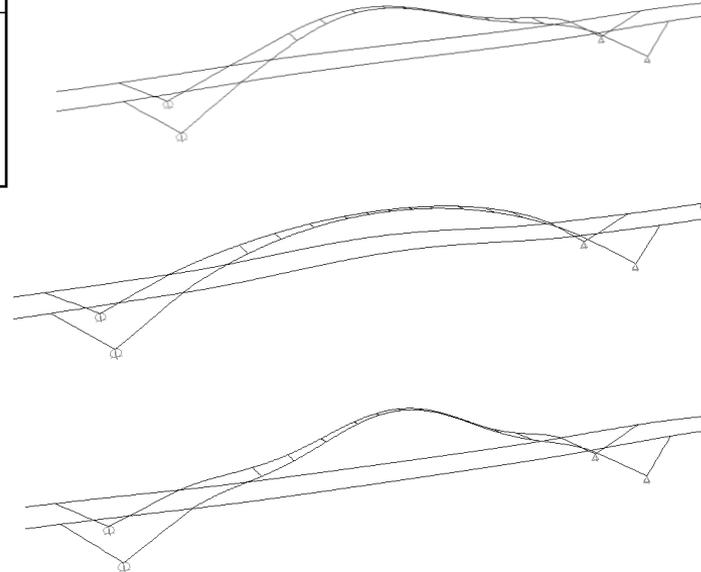
# Arco- 2do orden

Table D.8: Shape and amplitudes of imperfections for in plane buckling of arches

	1	2	3			
			e <sub>y</sub> according to classification of cross section to buckling curve			
		shape of imperfection (sinus or parabola)	a	b	c	d
1			$\frac{s}{300}$	$\frac{s}{250}$	$\frac{s}{200}$	$\frac{s}{150}$
2			$\frac{l}{600}$	$\frac{l}{500}$	$\frac{l}{400}$	$\frac{l}{300}$

Coeficiente  
mínimo de  
amplificación

$$\alpha_{cr} = 2.35$$



# Arco- 2do orden

## Puentes en arco Anejo D EN 1993-2

Referida ala sección 160x160x30

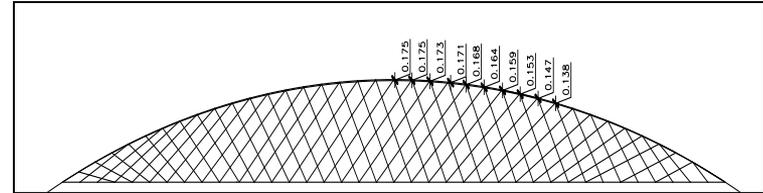
Imperfecciones geométricas afines a las formas de pandeo  
22.3.5 EAE

$$e_o = \alpha * (\lambda - 0.2) W_{pl} * K_{\gamma} * K_0 / A$$

$$\alpha = 0.34$$
$$W_{pl} = 1.10E+08 \text{ mm}^3$$
$$A = 188400 \text{ mm}^2$$
$$K_0 = 1.33 \text{ Sección clase 2}$$
$$\lambda = (\alpha_{uk} / \alpha_{cr})^{(0.5)}$$
$$\lambda = 0.86$$

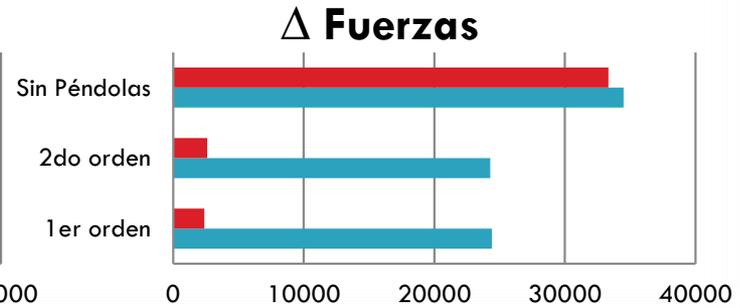
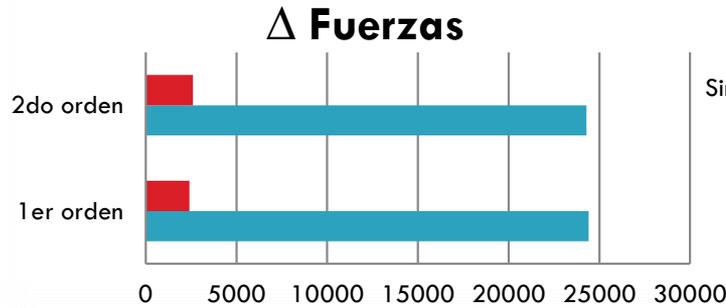
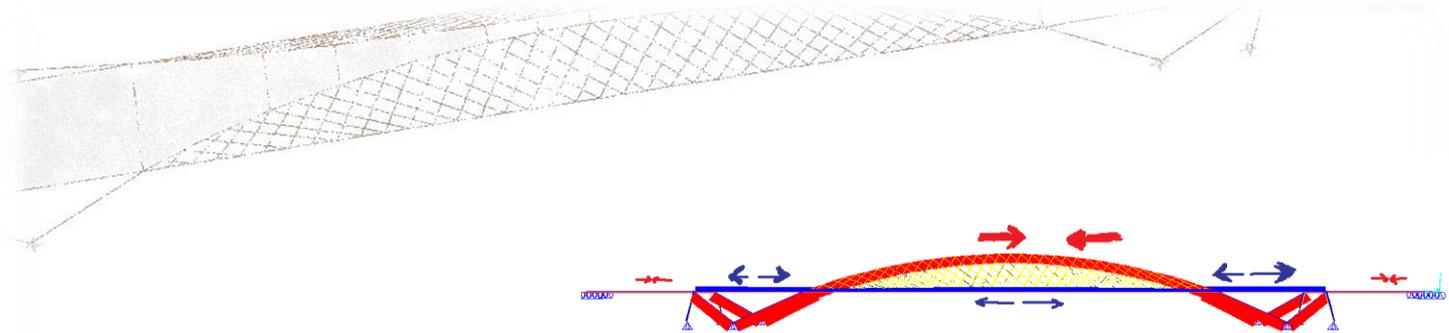
$$K_{\gamma} = (1 - X * \lambda^2 / \gamma M) / (1 - X * \lambda^2)$$
$$K_{\gamma} = 1.10$$
$$K_{\gamma} = 1.0$$

$$e_o = 175 \text{ mm}$$



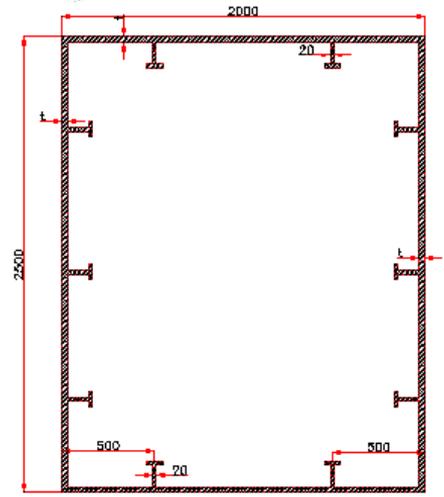
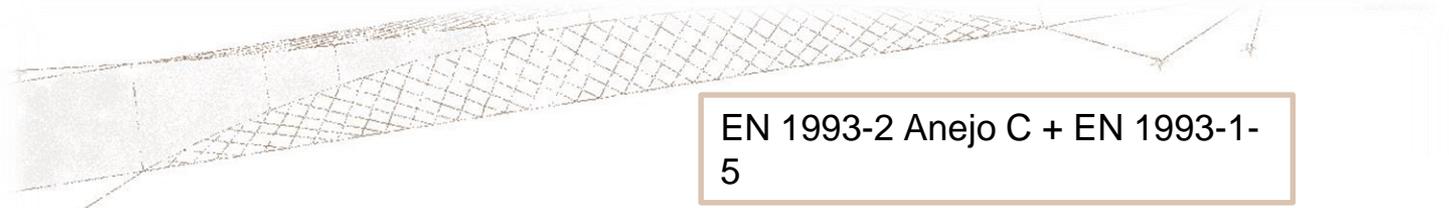
$$\alpha_{uk} = 1.75$$
$$\text{1er orden}$$
$$N_{brd} = 42617 \text{ kN}$$
$$N_{ed} = 24400 \text{ kN}$$
$$\alpha_{cr} = 2.35 \text{ SAP}$$
$$X = 0.9$$
$$\gamma M = 1.05$$

# Arco- 2do orden

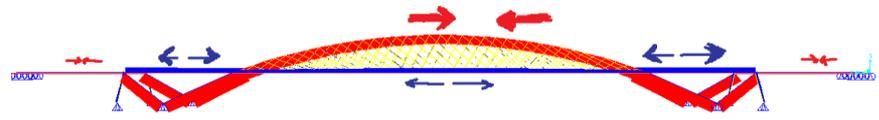


■ Momentos	1er orden	2400	2do orden	2605	■ Momentos	1er orden	2400	2do orden	2605	Sin Péndolas	33345
	■ Axiles	24412	2do orden	24285		■ Axiles	24412	2do orden	24285	Sin Péndolas	34500

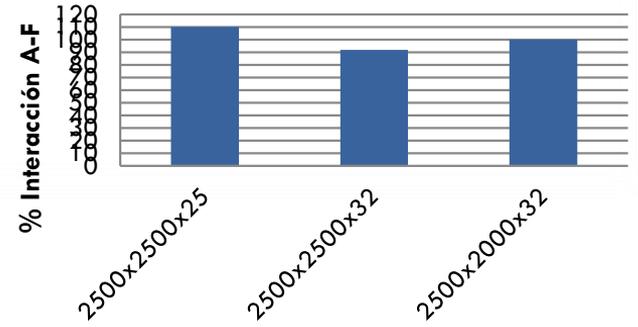
# Tablero de acceso



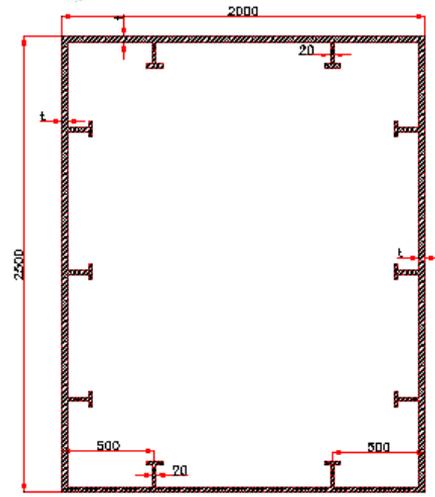
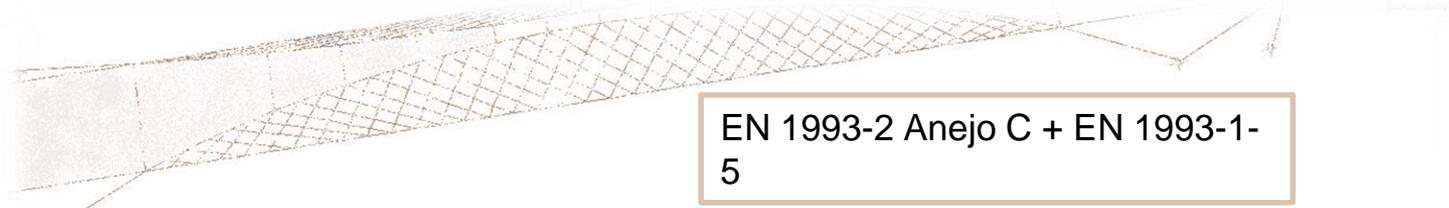
- TM-1 (t=32mm)
- TM-2 (t=25mm)
- TM-3 (t=20mm)



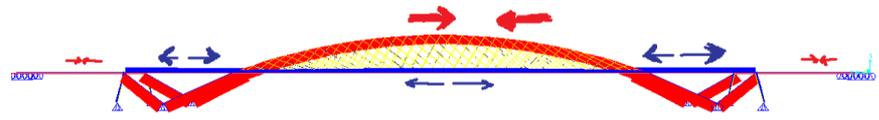
"Tablero Acceso"



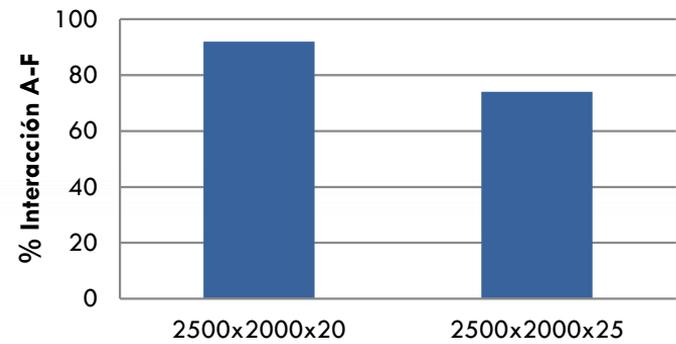
# Tablero Intermedio



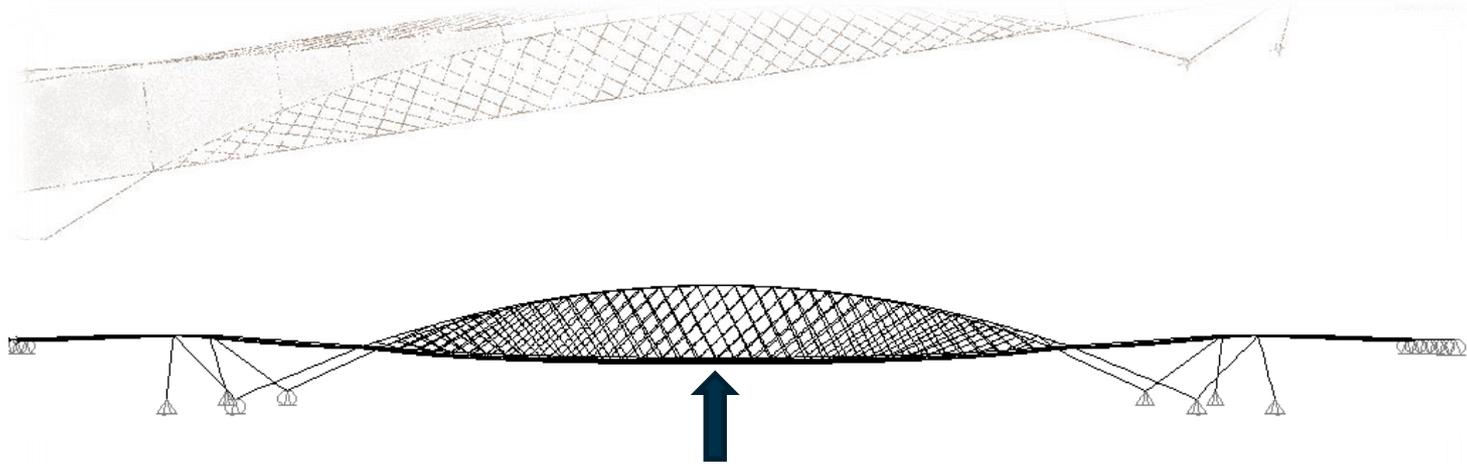
- TM-1 (t=32mm)
- TM-2 (t=25mm)
- TM-3 (t=20mm)



"Tablero Intermedio"



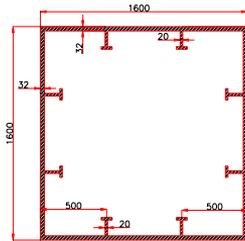
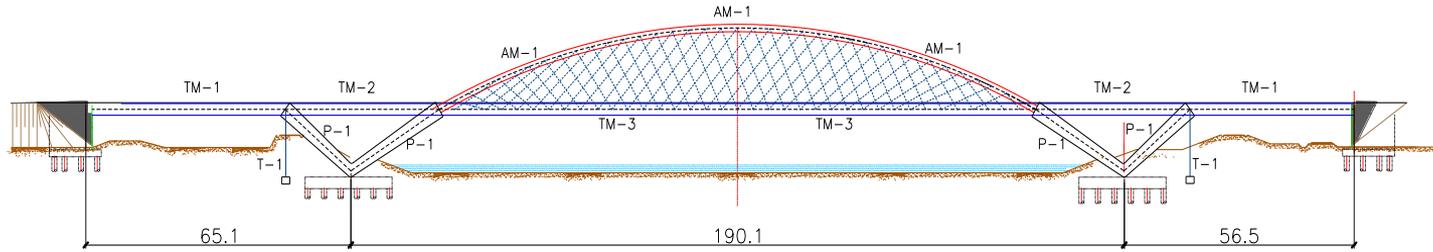
## ELS deformaciones-IAP



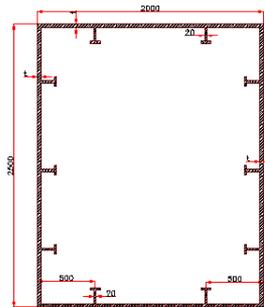
Carga permanente  
 $\Delta z = -198 \text{ mm}$   
Contraflecha de ejecución

Sobrecarga frecuente  
 $\Delta z = -135 \text{ mm}$   
 $\Delta \text{máx} = L/1000 = 190 \text{ mm}$

# Secciones transversales y vista longitudinal



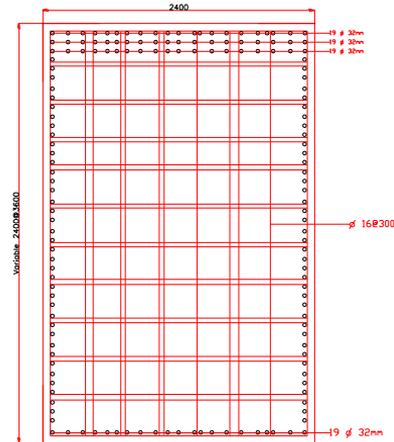
AM-1



TM-1 (t=32mm)

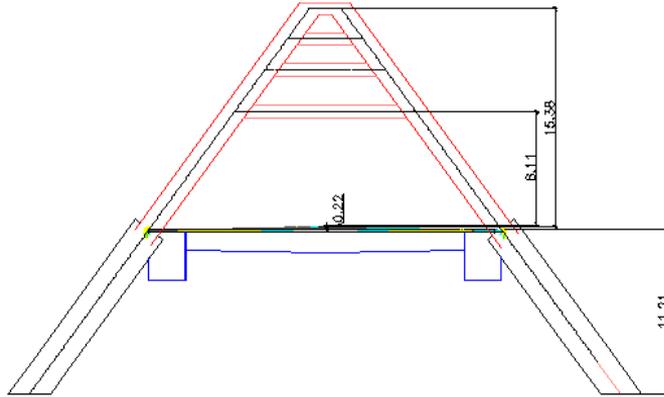
TM-2 (t=25mm)

TM-3 (t=20mm)

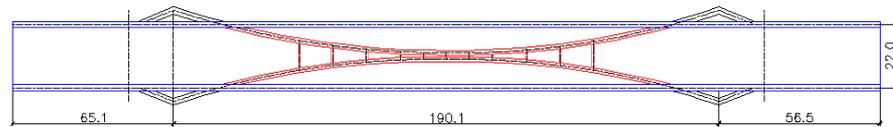


P-1

# Planta y Proyección Transversal



PROYECCIÓN TRANSVERSAL



PLANTA LONGITUDINAL



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE  
VALPARAÍSO

pucv.cl

# DETALLAMIENTO DE UNIONES PARA EL MÉTODO DE REFUERZOS DE PUENTES DE LUCES MEDIAS POR CONVERSIÓN EN ARCO ATIRANTADO, PLANOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICA.

**Alumno:** Alvaro Benjamin Rojas Escalante  
**Profesor Guía:** Matías Valenzuela Saavedra

Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería en Construcción

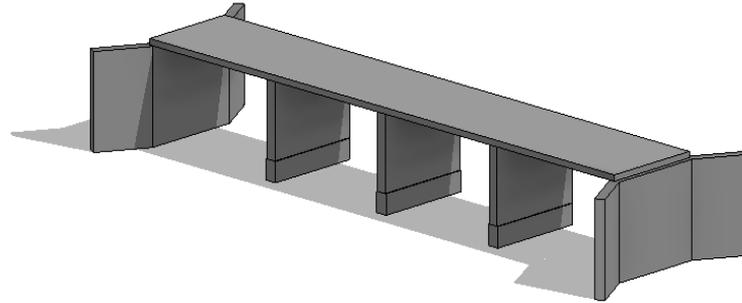
Valparaíso, Agosto

## Nuevo Método de Rehabilitación.

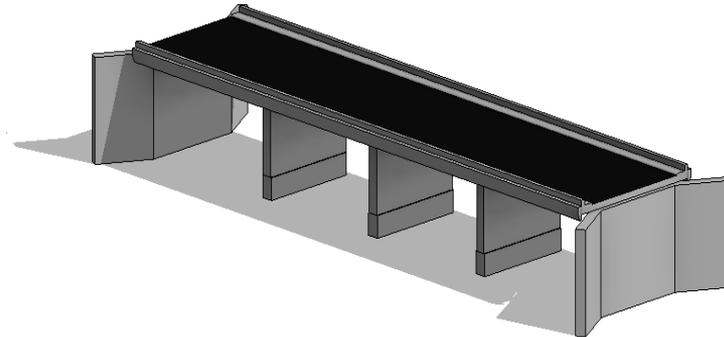
“Método de Refuerzos de Puentes de Luces Medias por Conversión en Arco Atirantado”

- Matías Valenzuela en la Universidad Politécnica de Cataluña (2012)
- Bajo costo frente a las alternativas de reparación de cepas y la construcción de un nuevo puente.
- Modificación del esquema estático
- Excelente rendimiento para el la construcción de nuevos puentes

# Método de Refuerzo Mediante Arco Atirantado

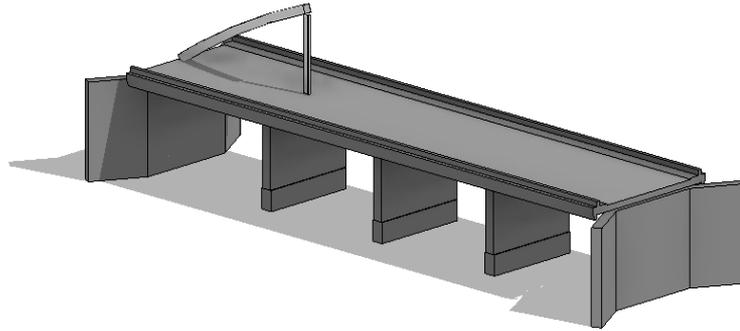


*Esquema puente original.*

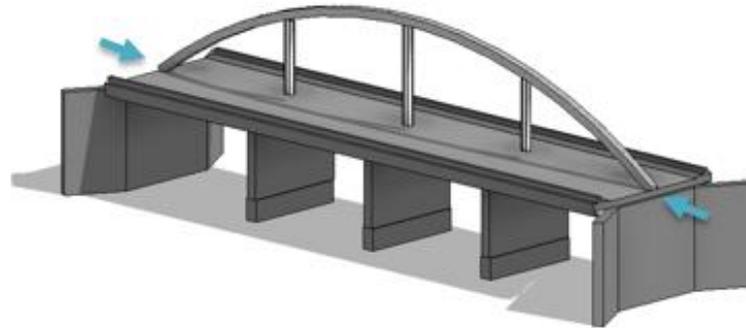


*Ampliación del ancho del tablero*

## Método de Refuerzo Mediante Arco Atirantado

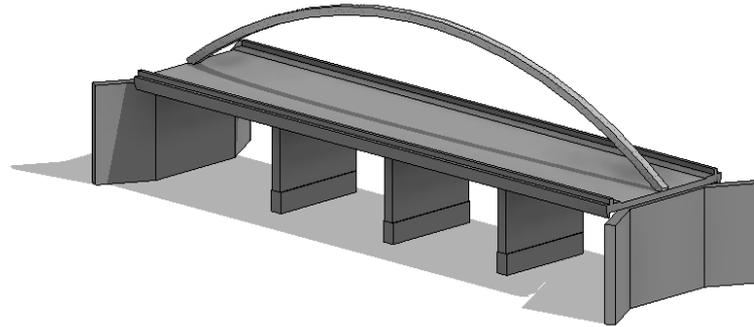


Colocación de los segmentos del arco.

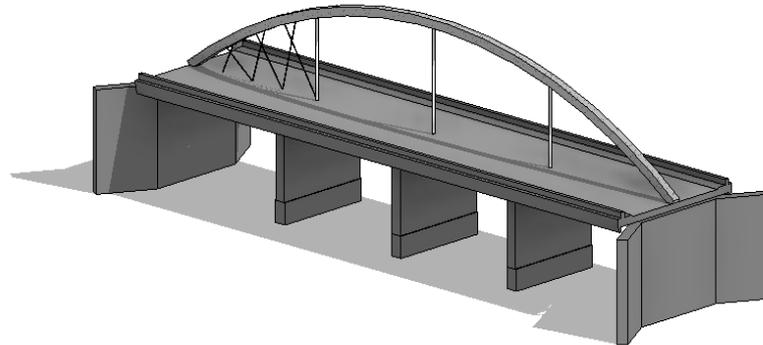


Incorporación del pretensado exterior.

# Método de Refuerzo Mediante Arco Atirantado

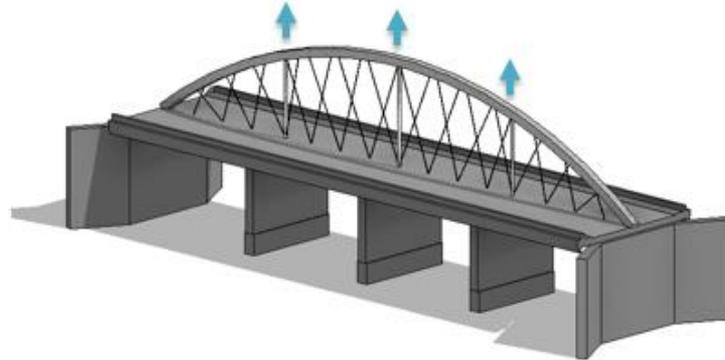


Retirado de las torres temporales

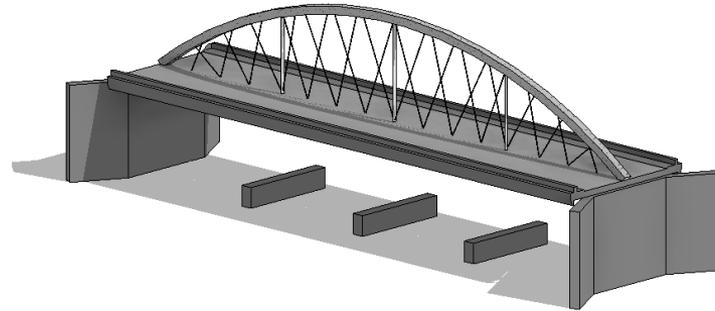


Colocación de las péndolas.

# Método de Refuerzo Mediante Arco Atirantado

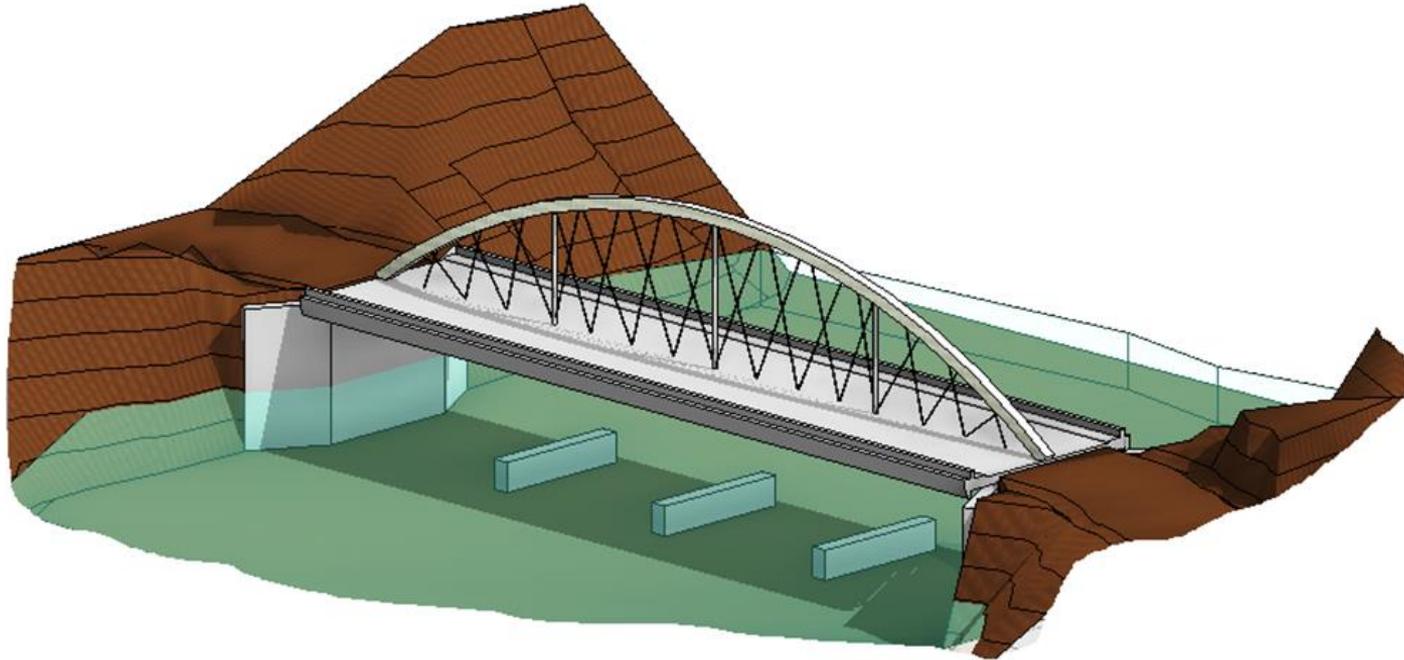


*Tensado de las péndolas verticales.*



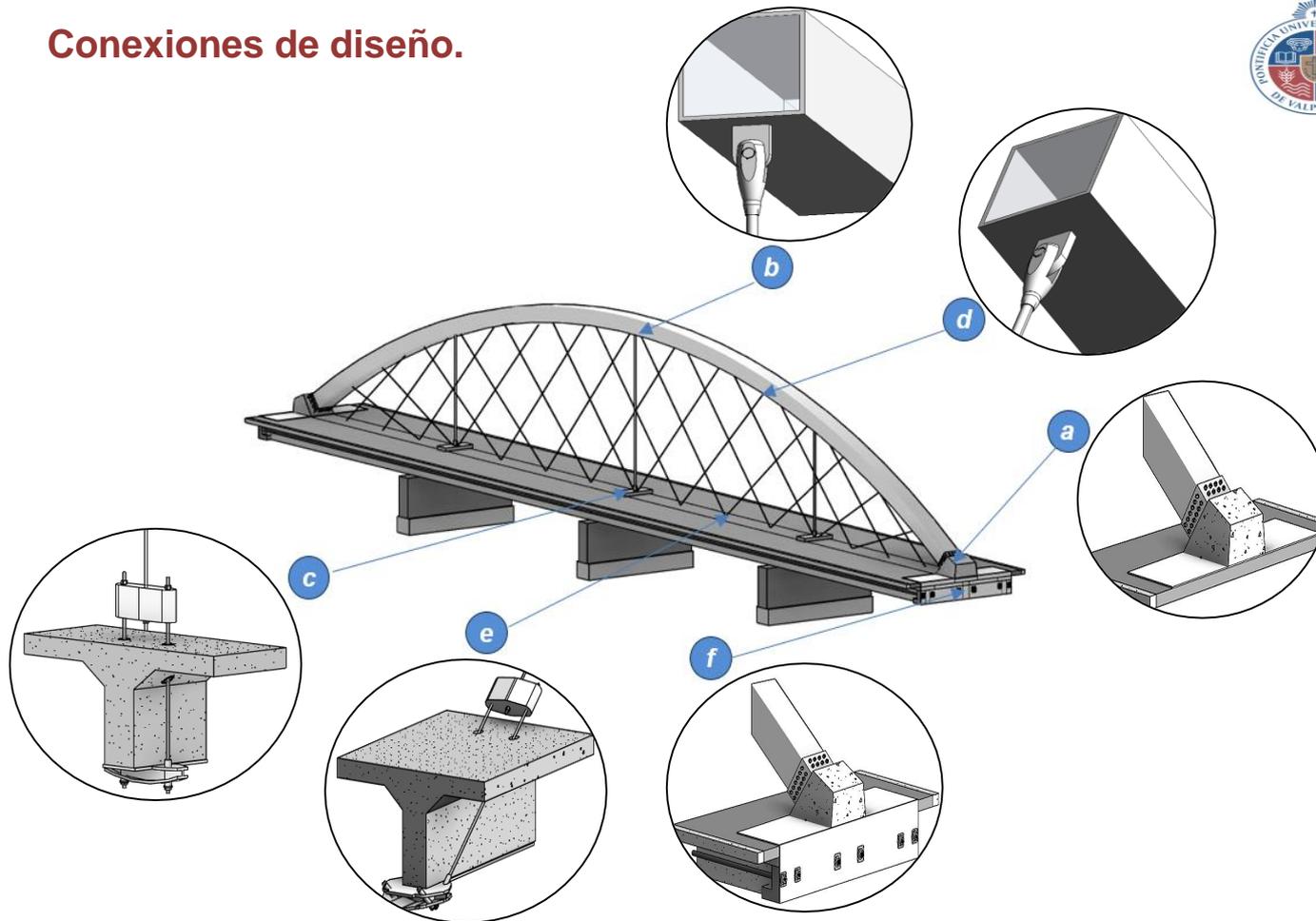
*Eliminación de la cepas.*

# Método de Refuerzo Mediante Arco Atirantado



*Esquema General*

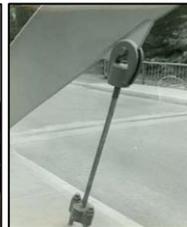
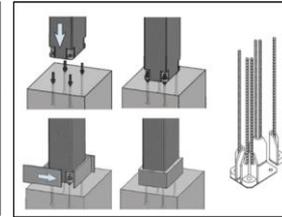
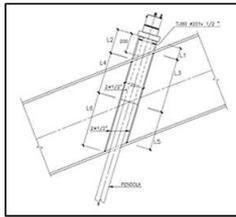
# Conexiones de diseño.



# CONEXIONES

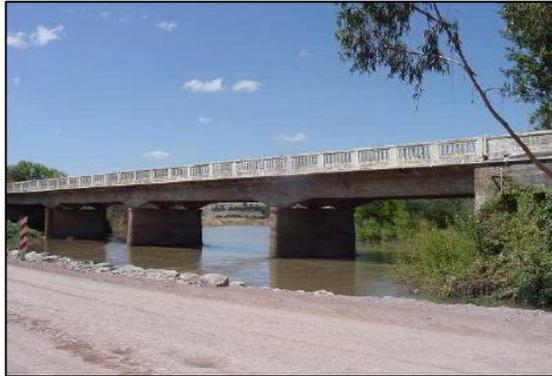
## Conexiones en puentes existentes.

- Compendio de diferentes conexiones de puentes atirantados.



## Caso de estudio: Puente San Luis

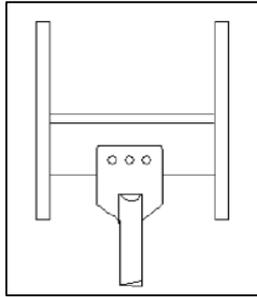
El puente tiene una longitud aproximada de 60 metros, compuesto por cuatro tramos, dos de 16,50 m y dos de 13,50 m. Su calzada es de 6 metros más dos pasillos de 0,70 metros cada uno.



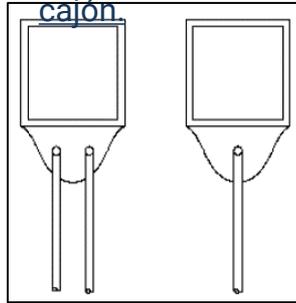
## Propuestas de conexión para este nuevo método

- **Iniciativa de M. Valenzuela (2012).**

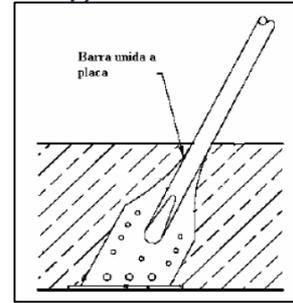
Arco y péndolas.



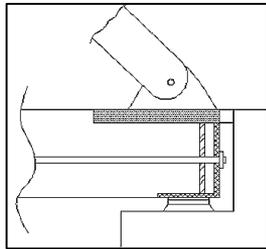
Para perfil



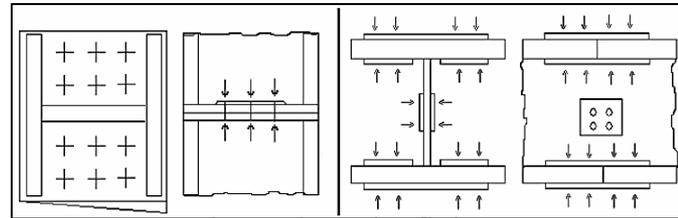
Para perfil



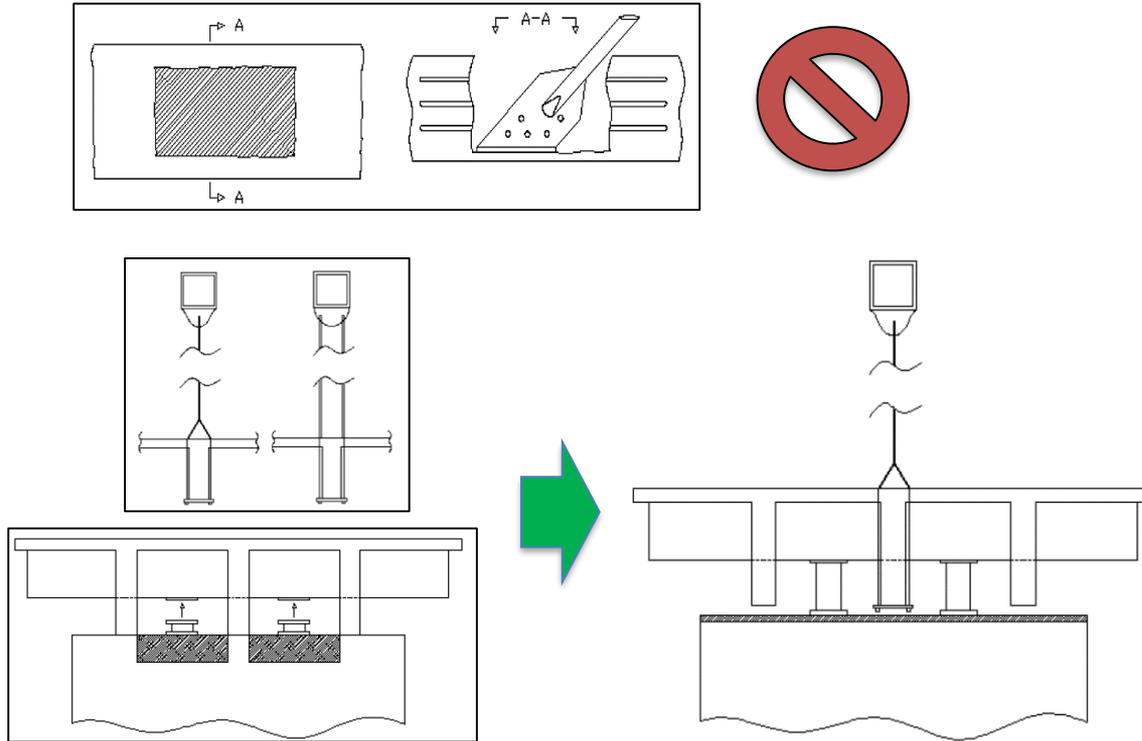
Pretensado exterior y Arco - Tablero



Arco y tablero (Viga de borde).

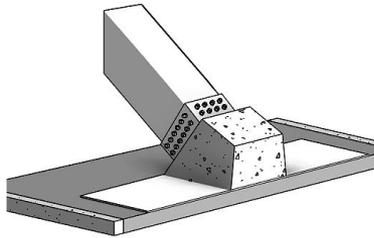


- **Iniciativa de M. Valenzuela (2012).**

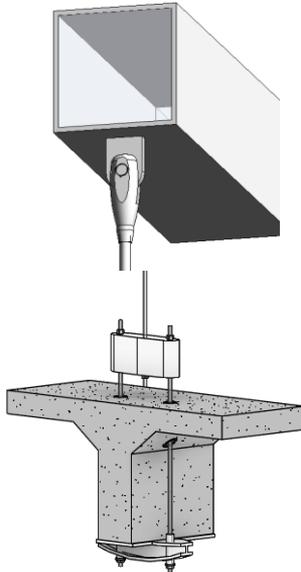


Esquema final de disposición de las péndolas en el sector de apoyo.

## Esfuerzos actuantes en las diferentes puntos de unión



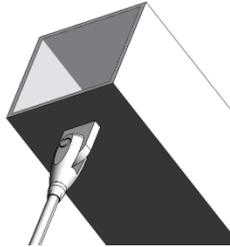
Arco-Tablero	Axil	Momento
	-7500 KN	-2000 KN



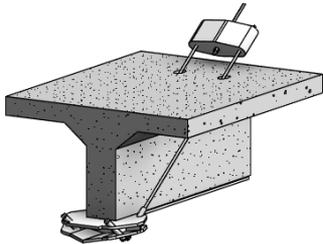
Péndola Vertical-Arco	Axil	Momento
	1500 KN	-

Péndolas Vertical-Tablero	Axil	Momento
	-7500 KN	-2000 KN

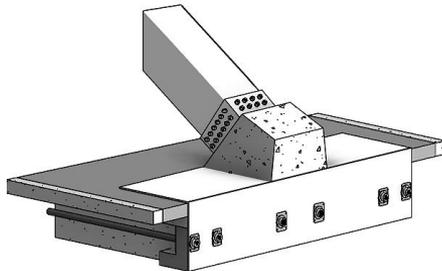
## Esfuerzos actuantes en las diferentes puntos de unión



Péndola Network-Arco	Axil	Momento
	300 KN	-

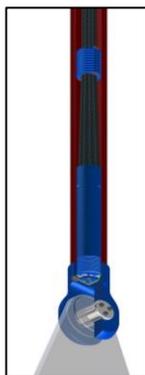
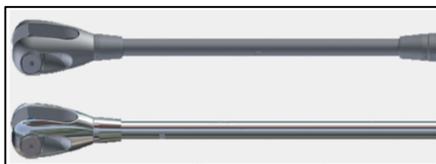
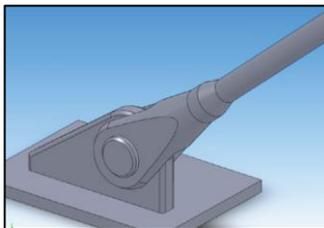


Péndola Network-Tablero	Axil	Momento
	300 KN	-



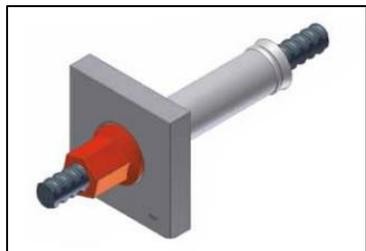
Pretensado Exterior	Axil	Momento
	-16000-18000 KN	-2000 KN

## Elementos de unión existentes en el mercado.



Categoría	Empresa	Tipo	Observación
Péndolas y Conectores	FREYSINET	Barra H Rod SS460	Si es opción, ya que de acuerdo a la ficha técnica cumplen con las características de resistencia.
		Barra H Rod S520	Si es opción, ya que de acuerdo a la ficha técnica cumplen con las características de resistencia.
		Barra H Rod+	Si es opción, ya que de acuerdo a la ficha técnica cumplen con las características de resistencia.
	BBR	BBR Pin Conector	No es opción, se aplica para cables.
	PEFEIRER	Conector homologado	Si es opción, aplicable para barras roscadas.
	BRIDON	Bobina Bloqueada Completa	No es opción, por la tipología del material (cable).
		Hebra Espiral	No es opción, por la tipología del material (cable).
	VSL	Anker Schroeder barras ASDO estructural TIE	Si es opción, aplicable para barras roscadas.
	DYWIDAG	Barras Roscadas	Si es opción, aplicable para barras roscadas.

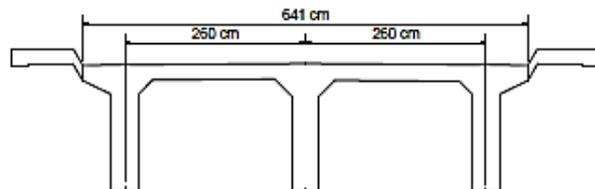
## Elementos de unión existentes en el mercado.



Categoría	Empresa	Tipo	Observación
Pretensado Exterior	BBR	BBR VT CONA CME	Si es opción.
	DYWIDAG	Barras roscadas	Si es opción.
		Barras lisas	Si es opción.
Cables Atirantados	BBR	BBR HiAm CONA	No es opción, por la tipología del material (cable).
		BBR Carbón	
Arco	CINTAC	Perfiles Cuadrados	Si es opción, ya que se requiere perfiles del tipo.
		Perfiles Rectangulares	No es opción.
	CTM Aceros	Perfiles Cuadrados	Si es opción, ya que se requiere perfiles del tipo.
		Perfiles Rectangulares	No es opción.

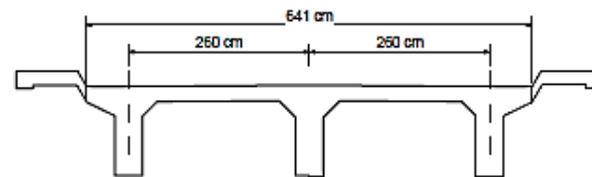
## PLANOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

SECCION TRANSVERSAL APOYO

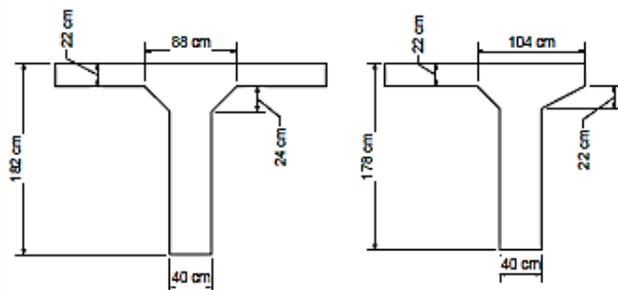


Escala : 1 : 75

SECCION TRANSVERSAL CENTRO DE LUZ

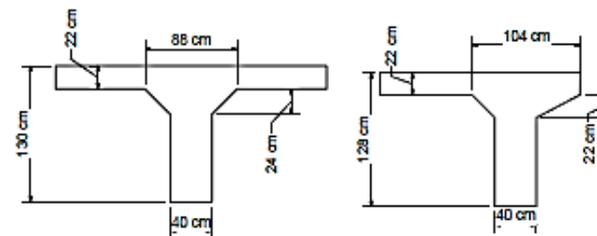


Escala : 1 : 75



Escala : 1 : 50

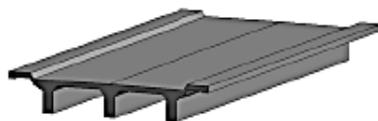
Escala : 1 : 50



Escala : 1 : 50

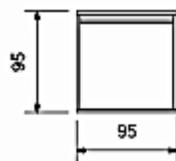
Escala : 1 : 50

VISTA TRIDIMENSIONAL



	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO	
	ESCUELA DE INGENIERIA EN CONSTRUCCION	
	MATERIA: ICC551-1 TALLER DE TITULACION	
VISTA LONGITUDINAL PUENTE SAN LUIS		
Docente guía: Matias Valenzuela Saavedra	Estudiante: Alvaro Benjamin Rojas Escalante	Plano: <b>1</b>
Escala: Como se indica		Fecha: 7 de Diciembre de 2018

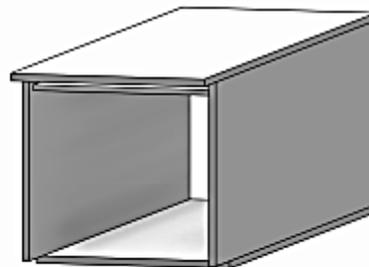
**SECCION ARCO**



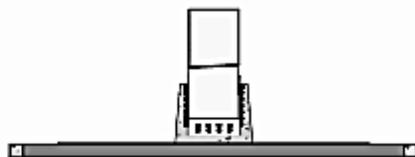
**VISTA PERFIL ARCO**



**VISTA ISOMETRICA**



**VISTA FRONTAL UNION**

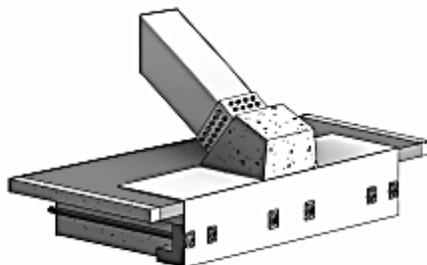


**VISTA PERFIL UNION**



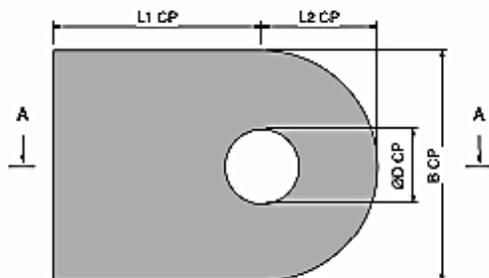
- Materialidad descrita en las especificaciones técnicas.
- Se considera un arco con flecha de 9.9 metros a centro de luz.
- Para su fabricación consultar con las diferentes empresas o maestranzas.

**VISTA ISOMETRICA**



	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO	
	ESCUELA DE INGENIERIA EN CONSTRUCCION	
	MATERIA: ICC551-1 TALLER DE TITULACION	
UNION ARCO - TABLERO		
Profesor guía: Matias Valenzuela Saavedra	Estudiante: Alvaro Benjamin Rojas Escalante	Plano: <b>2</b>
Escalas: 1 : 50	Fecha: 14 de Junio de 2019	

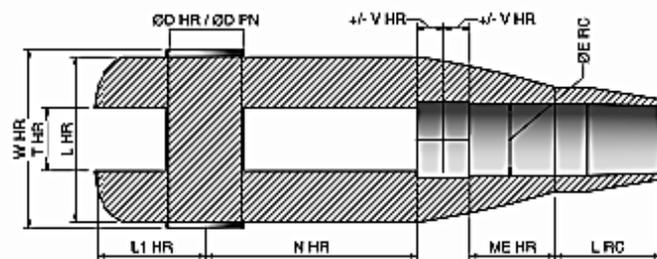
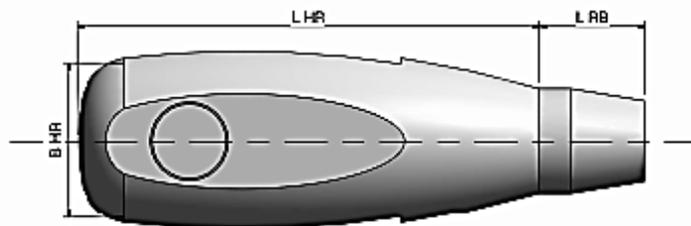
### HORQUILLA



### CORTE A-A



### PLACA DE CONEXIÓN



#### NOTA:

- Las propiedades mecánicas están descritas en las especificaciones técnicas.
- Materialidad de acero y/o acero inoxidable.
- Dimensiones estándar de acuerdo a cada uno de los proveedores.

$\pm V\ HR$  : Longitud óptima del ingreso o enroscado de péndola.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE  
VALPARAISO

ESCUELA DE INGENIERIA EN CONSTRUCCION

MATERIA: ICC551-1 TALLER DE TITULACION

### NOMENCLATURA DIMENSIONES

Profesor guía: Matias Valenzuela Saavedra	Estudiante: Alvaro Benjamin Rojas Escalante	Plano: <b>3</b>
Escalas: Como se indica	Fecha: 14 de Junio de 2019	

**HORQUILLA**


PENDOLA NETWORK - ARCO				PENDOLAS VERTICAL - ARCO			
Medida Nominal	FREYSSINET	DYWIDAG	VSL	FREYSSINET	DYWIDAG	VSL	
Horquilla HR	M33	M32	M42	M52	M65	M68	
	L HR	232	232	271	334	412	438
	B HR	98	98	114	139	172	182
	W HR	90	90	104	126	159	167
	T HR	33	33	38	44	59	59
	GD HR	38	38	44	54	66	70
	L1 HR	57	57	66	81	100	106
	ME HR	43	43	50	62	77	82
	N HR	114	114	134	166	210	225
	± V HR	18	18	21	25	25	25
	Peso [kg]	4.8	4.8	7.6	15	27	33

**PLACA DE CONEXIÓN**


PENDOLA NETWORK - ARCO				PENDOLAS VERTICAL - ARCO			
Medida Nominal	FREYSSINET	DYWIDAG	VSL	FREYSSINET	DYWIDAG	VSL	
Placa de Conexión PC	T CP	30	30	35	40	55	55
	B CP	119	119	138	169	206	219
	GD CP	38	38	44	54	66	70
	L1 CP	59	59	69	84	103	109
	L2 CP (min)	72	72	81	101	120	126

**REPRESENTACION DE LA INSTALACION**

**PIN**


PENDOLA NETWORK - ARCO				PENDOLAS VERTICAL - ARCO			
Medida Nominal	FREYSSINET	DYWIDAG	VSL	FREYSSINET	DYWIDAG	VSL	
Pin PN	M33	M32	M42	M52	M65	M68	
	GD PN	36	36	42	52	64	68
	L PN	85	85	97	120	151	157
Peso [kg]	0.81	0.81	1.2	2	5	5	

**TAPA ROSCA DE BLOQUEO**


PENDOLA NETWORK - ARCO				PENDOLAS VERTICAL - ARCO			
Medida Nominal	FREYSSINET	DYWIDAG	VSL	FREYSSINET	DYWIDAG	VSL	
Tapa Rosca de Bloqueo RC	M33	M32	M42	M52	M65	M68	
	GE RC	51	51	60	334	412	438
	L RC	80	80	95	139	172	182
Peso [kg]	0.4	0.4	0.7	126	159	167	

Nota: Todas las dimensiones en mm a menos que se indique lo contrario.

 Profesor guía:  
Matías Valenzuela Saavedra  
Estudiante:  
Alvaro Benjamin Rojas Escalante  
Fecha:  
14 de Junio de 2019

 PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
CATOLICA DE VALPARAISO

 ESCUELA DE INGENIERIA EN  
CONSTRUCCION  
MATERIA: ICC551-1 TALLER DE  
TITULACION

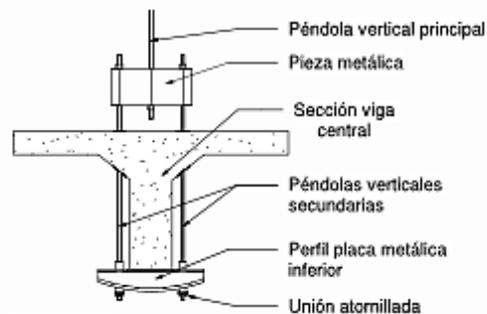
 COMPONENTES DE UNION  
PENDOLAS - ARCO

Plano:

4

Escalas: 1 : 1

VISTA FORNTAL

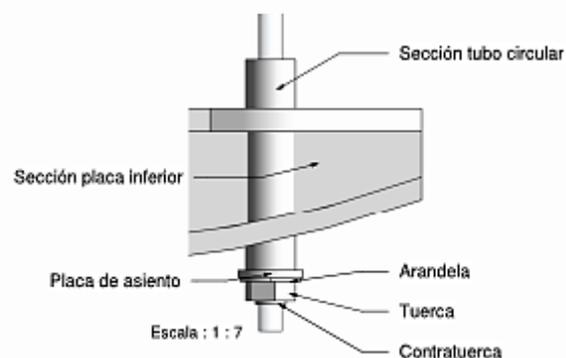


VISTA PERFIL

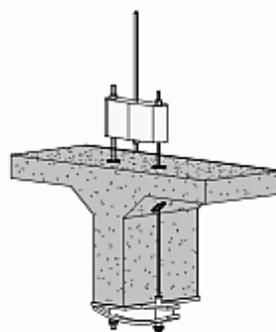


Escala : 1 : 50

UNION ATORNILLADA

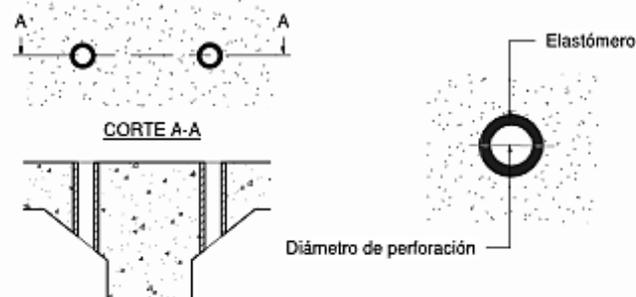


VISTA ISOMETRICA



- Se opta por péndolas tipo barra.
- Péndolas verticales:  $\varnothing = 0.08m$ .
- Acero = 1670 MPa
- La posición de las barras dependerá de la excentricidad entre ellas.
- Ubicación de la barra de la péndola es centrada al eje logitudinal de la viga.
- Unión atornillada.
- Al ser un tipo de unión especial, el perfil de la placa inferior deberá ser elaborada in situ.

DETALLE PERFORACION



Profesor guía:  
Matias Valenzuela Saavedra  
Estudiante:  
Alvaro Benjamin Rojas Escalante  
Fecha:  
14 de Junio de 2019



PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
CATOLICA DE VALPARAISO

ESCUELA DE INGENIERIA EN  
CONSTRUCCION  
MATERIA: ICC551-1 TALLER DE  
TITULACION

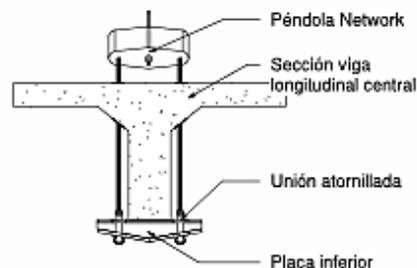
UNION PENDOLA  
VERTICAL-TABLERO

Escalas: Como se indica

Plano:

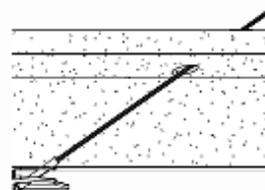
5

VISTA FRONTAL



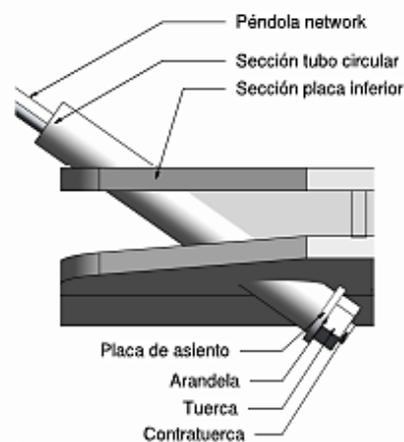
Escala : 1 : 50

VISTA PERFIL



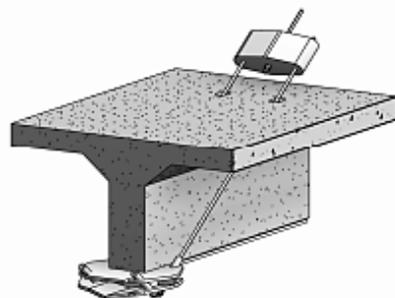
Escala : 1 : 50

UNION ATORNILLADA



Escala : 1 : 7

VISTA ISOMETRICA



- Se opta por péndolas tipo barra.
- Péndolas network  $\varnothing$  = Según proveedor
- Acero = 1670 Mpa
- La posición de las barras dependerá de la excentricidad entre ellas.
- Ubicación de la barra de la péndola es centrada al eje logitudinal de la viga.
- Unión atornillada.

Profesor guía:  
Matias Valenzuela Saavedra  
Estudiante:  
Alvaro Benjamin Rojas Escalante  
Fecha:  
14 de Junio de 2019



PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
CATOLICA DE VALPARAISO

ESCUELA DE INGENIERIA EN  
CONSTRUCCION  
MATERIA: ICC551-1 TALLER DE  
TITULACION

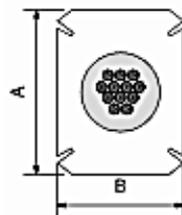
UNION PENDOLA  
NETWORK-TABLERO

Escalas: Como se indica

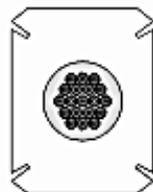
Plano:

6

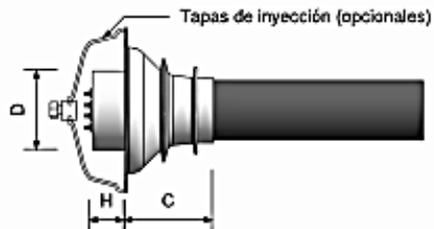
ANCLAJE 12C



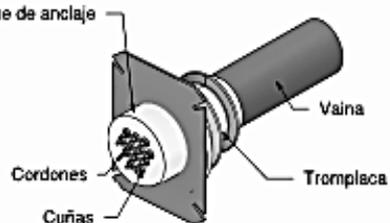
ANCLAJE 19C



NOMENCLATURA ANCLAJE



VISTA ISOMETRICA



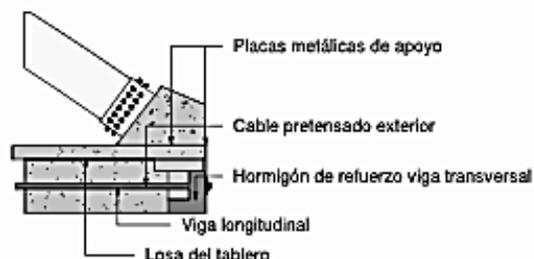
ANCLAJE DE LA GAMA C

Unidades Cordones	A	B	C	D	H
12C	240	200	105	150	65
19C	300	250	256	185	80

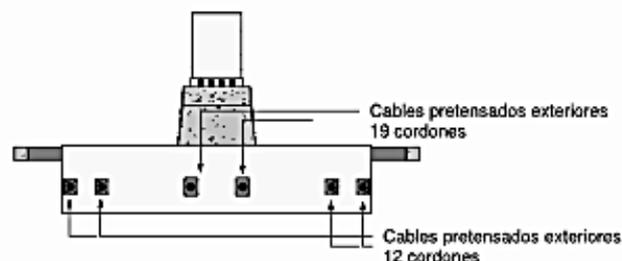
Nota: Todas las dimensiones en mm a menos que se indique lo contrario.

- El espaciamento mínimo entre los anclajes esta definido en los catálogos de la empresa proveedora.

VISTA PERFIL



VISTA FRONTAL



Profesor guía:  
Matias Valenzuela Saavedra

Estudiante:  
Alvaro Benjamin Rojas Escalante

Fecha:  
14 de Junio de 2019



PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
CATOLICA DE VALPARAISO

ESCUELA DE INGENIERIA EN  
CONSTRUCCION  
MATERIA: ICC551-1 TALLER DE  
TITULACION

PRETENSADO EXTERIOR

Escalas: Como se indica

Plano:

7

# Mantenimiento



# Patologías en Puentes Arco atirantado

## Principales causas de Fallo

El margen de seguridad para los tirantes en el puente de arco no es menos de 2.5, es decir, la tensión máxima en servicio es menos del 40% de la resistencia normal de los alambres de acero. Por lo tanto, es menos probable que los tirantes fallen debido a una resistencia insuficiente. Según la investigación, la falla de los tirantes se deben a:

---

Fallo por fatiga de tirantes

---

Corrosión de alambres de acero y anclajes

---

Fallo en los dispositivos de anclaje

---

Fallo en la protección

---

Problemas en tirantes cortos

# Patologías en Puentes Arco atirantado

## Corrosión de alambres de acero y anclajes



La corrosión del tirante resulta de la rotura de la protección, lo que hace que el agua, el oxígeno y algunas sustancias nocivas entren en contacto con el cable. Además, el medio ambiente y el estado de estrés también influyen en la corrosión del tirante.

# Patologías en Puentes Arco atirantado

## Fallo del dispositivo de anclaje



la corrosión del anclaje se puede dividir en corrosión externa y corrosión interna, que resultan de la protección ineficaz. Se muestra la corrosión encontrada en el anclaje de algunos tirantes

# Patologías en Puentes Arco atirantado

## Daños por vientos

WIND-INDUCED VIBRATION AND CONTROL OF H-SECTION HANGERS IN ARCH BRIDGES

Zhenqing Chen, Muguang Liu, Huawei Niu & Xugang Hua



En agosto de 2006, un tifón atacó el Puente Dongping, un puente de arco de acero casi terminado en ese momento. La velocidad del viento era de unos 25 m / s. Más de 20 perchas oscilaron violentamente en torsión durante 20 horas y las 13 pendolas más largas resultaron dañadas

# Patologías en Puentes Arco atirantado

## Daños por vientos



ECTMD

Eddy current tuned  
mass damper

**eddy current  
damper + tuned mass  
damper**

Instalados en las  
péndolas

WIND-INDUCED VIBRATION AND CONTROL OF  
H-SECTION HANGERS IN ARCH BRIDGES

Zhenqing Chen, Muguang Liu, Huawei Niu & Xugang Hua

# Colapso en Puentes Arco atirantado

## Xiao-nan-men Bridge in Yi-bin

El puente Xiao-nan-men puente de arco medio de hormigón armado con una longitud total de 387 m.



**PROBLEMS IN SUSPENDERS  
OF ARCH BRIDGES IN CHINA**

Jing Gao<sup>#</sup>, Bin Zhao<sup>+</sup> & Chunmiao Chen<sup>+</sup>

# Colapso en Puentes Arco atirantado

## Xiao-nan-men Bridge in Yi-bin

El puente Xiao-nan-men puente de arco medio de hormigón armado con una longitud total de 387 m.



Por la fractura del cable, se encontró que la corrosión del cable era realmente severa. Los diferentes colores del cable demostraron que algunos de ellos se rompieron antes del colapso. Por lo tanto, todos los demás tirantes tuvieron que ser reemplazados. En sustitución se eligieron los nuevos tirantes anticorrosión con protección PE.

# Colapso en Puentes Arco atirantado

## Kong-que-he Bridge in Xin-jiang, China

El puente Kong-que-he (puente del río Peacock) en Xin-jiang, era un puente de arco tubular de acero relleno de hormigón con un tramo principal de 150 m y un ancho de 24,5 m.



La inspección arrojó que 12 tirantes corroídos, lo que representa el 26% del total, de los cuales 9 se ubicaron en el lado aguas arriba

# Colapso en Puentes Arco atirantado

## Gong-guan Bridge in Wu-yi Mountain, Fujian, China

El puente Gong-guan, ubicado en el área escénica de Wu-yi-shan, Fujian, se abrió al tráfico el 20 de noviembre de 1999. Es un puente de arco de hormigón armado con tres vanos, 80m + 100m + 80m.



Cuando un autobús turístico y un camión sobrecargado pasaban por el puente, el tablero del primer tramo se derrumbó parcialmente como resultado de tirantes rotos.

# Puentes en Arco Atirantado

SUBTITULO

Octubre 2023

Matías A. Valenzuela.