



DISEÑO ESTRUCTURAL

Proyecto de puente en arco en Potrerillos

Carrera : Ingeniería Civil

Año : 2019

Autores :

**Bernal, Leonel
Cardozo, Tomás
Fratter, Antoine**

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

Contenido

Introducción.....	2
Puente actual	2
Alternativas de ubicación, tipología estructural y materiales.....	4
Ubicación.....	4
Tipología estructural y antecedentes.....	0
Materiales	2
Memoria de cálculo.....	5
Cargas	5
Peso Propio (D).....	5
Tren de cargas (L)	6
Cargas de Viento (W).....	8
Fuerza Sísmica (E).....	8
Combinaciones	11
Estados Límite	13
De Servicio.....	13
Último.....	17
Pre-dimensionamiento.....	17
Verificaciones por resistencia	18
Fundaciones	27
Sistema constructivo	30
Cómputo y presupuesto.....	32
Conclusión	36

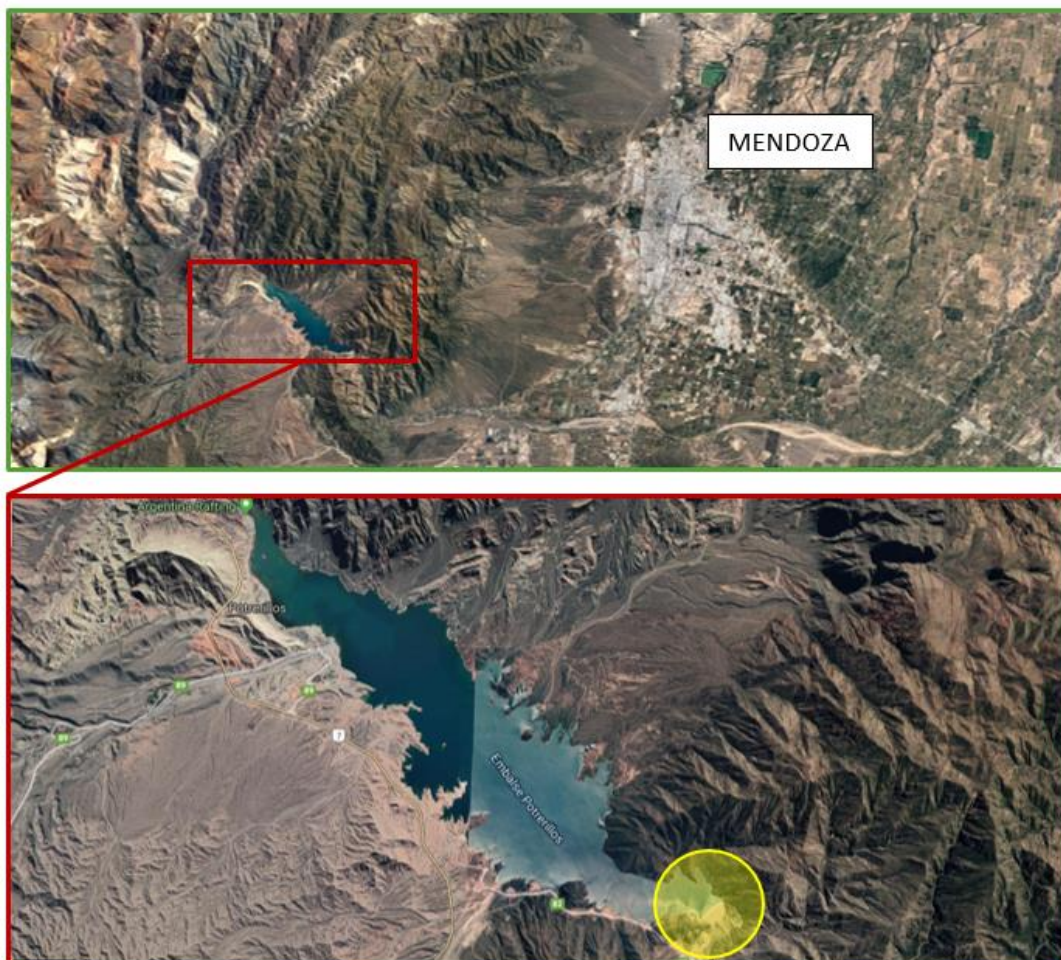
Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

Introducción

El siguiente trabajo se refiere al desarrollo de un proyecto estructural planteado por la cátedra de Diseño Estructural.

En el mismo, se nos encomendó que tenga como finalidad la resolución de un problema o un planteo alternativo de una estructura ya resuelta.

En nuestro caso, nos centramos en la solución de una problemática y elegimos la conexión de los márgenes norte y sur del Dique Potrerillos



En la actualidad existe un antiguo puente ferroviario reacondicionado para la circulación de automóviles, aunque nuestra propuesta se centrara en la construcción de una vía de comunicación totalmente nueva y con otra tipología estructural.

Puente actual

El puente actual se ubica a unos 20 km al oeste de la villa de potrerillos y atraviesa el Rio Mendoza. Se trata de un puente ferroviario del antiguo Ferrocarril Transandino de Acero Remachado.

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

El mismo está conformado por 2 tramos conectados por una pila central y apoyando a cada margen del río. Sus tramos son de aproximadamente 35m y 5m de ancho y está restringido para poder acceder a las propiedades ribereñas, pero solo aquellos que vayan en autos, camionetas o camiones pequeños



Actual Puente Ferroviario



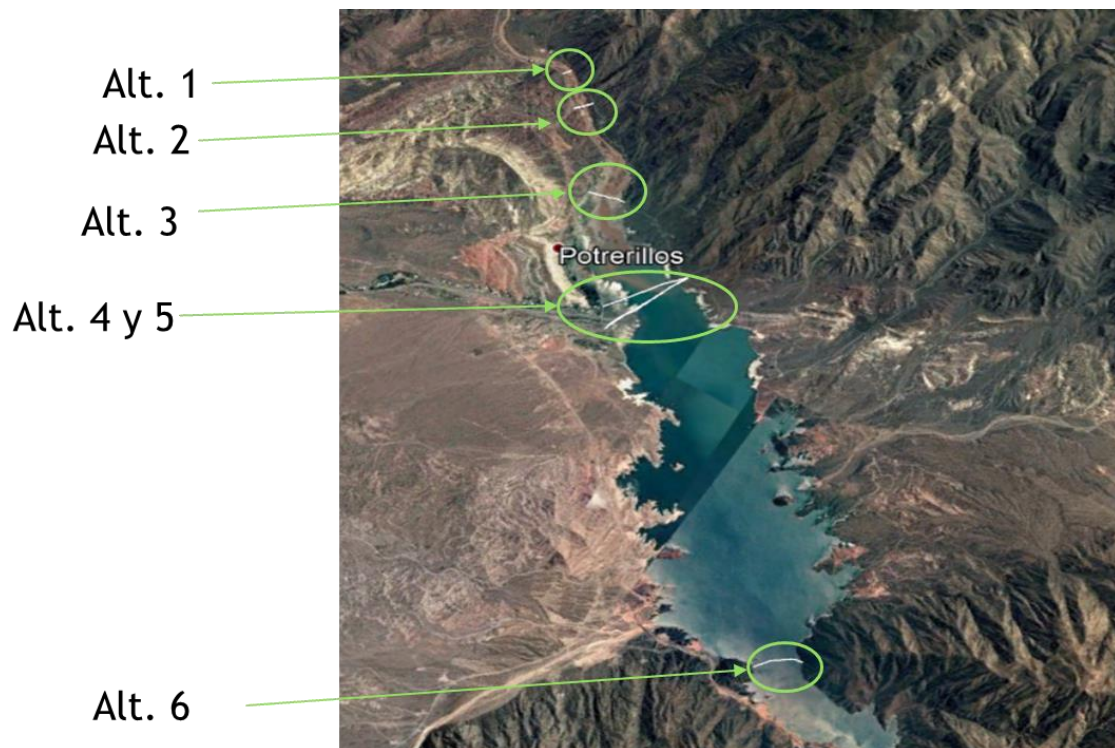
Sección transversal Puente ferroviario

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

Alternativas de ubicación, tipología estructural y materiales.

Ubicación

A continuación, mostraremos las opciones barajadas para la solución del problema antes mencionado.



Lo arriba señalado corresponde a alternativas de ubicación. La alternativa 1 sería una reestructuración del actual puente Ferroviario.

La alternativa 2 se ubica unos km aguas abajo, pero muy cercano al actual puente, y la alternativa 3, se encuentra en la zona de ensanchamiento del río y entrada al embalse.

Las alternativas 4 y 5 son planteadas desde el hotel potrerillos, y dan puentes de grandes dimensiones.

La alternativa 6, es la más cercana ingresando por el túnel desde Cacheuta y es una alternativa a tener en cuenta desde el punto de vista económico.

Por medio de unos cálculos estimativos mostramos:

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

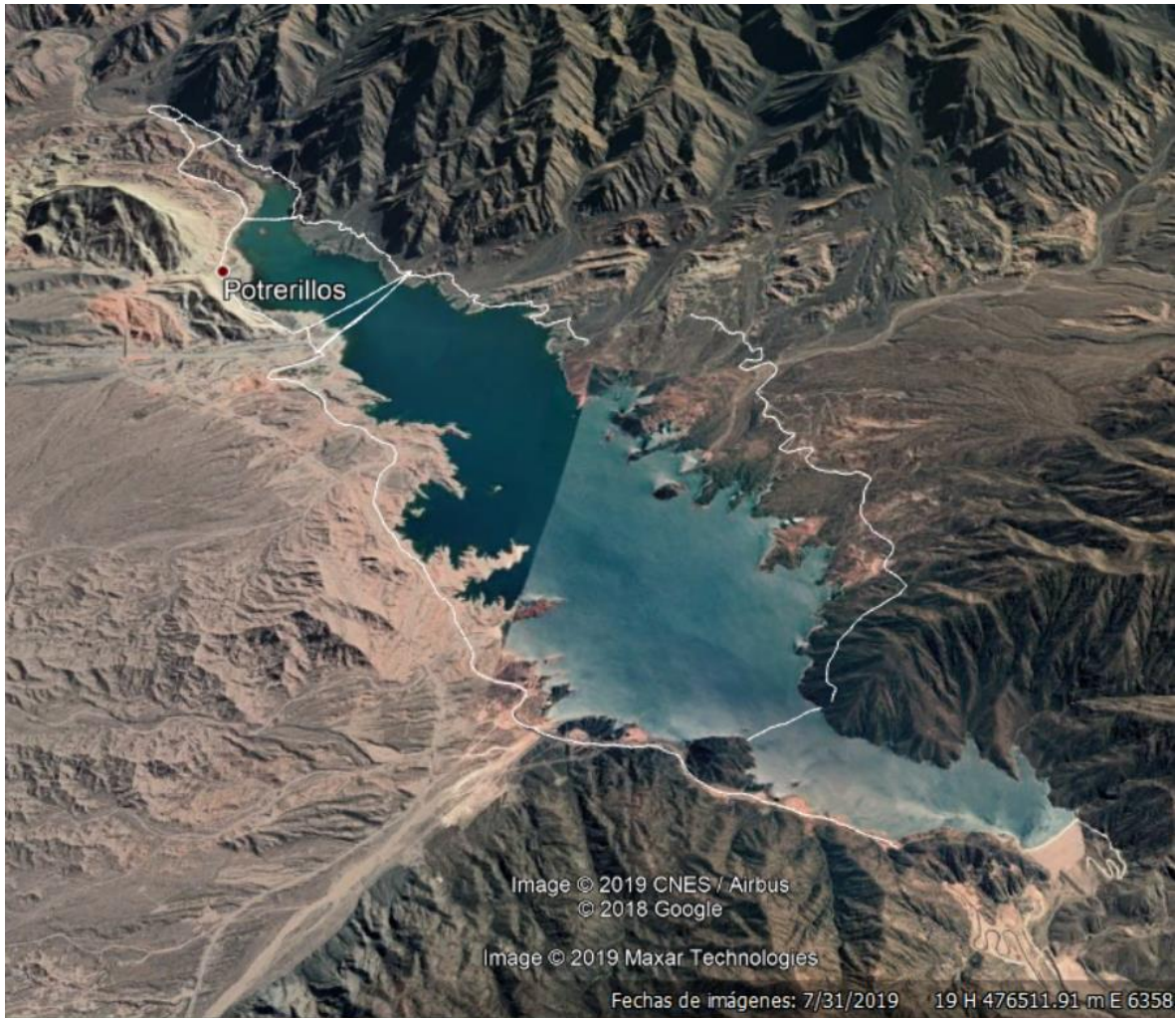
Alternativas de distancia							Se realizara un TBStripe con base y sub base granular \$580/m2	ancho puente = 30m usd15000 /m2
	Punto de salida	Punto de llegada	Distancia Total [km]	Long puente [km]	Long camino	L camino a pavimentar [km]	COSTO camino a pavimentar	costo de cosntruccion de puente [\$/m2]
ALTERNATIVA 0	Tunel	Aldea	22	0,095	21,905	8,7	\$ 313.200,00	\$ 42.750.000,00
ALTERNATIVA 1	Tunel	Aldea	21,2	0,1	21,1	8	\$ 288.000,00	\$ 45.000.000,00
ALTERNATIVA 2	Tunel	Aldea	20	0,25	19,75	7,1	\$ 255.600,00	\$ 112.500.000,00
ALTERNATIVA 3	Tunel	Aldea	16,8	0,5	16,3	4,5	\$ 162.000,00	\$ 225.000.000,00
ALTERNATIVA 4 Y 5	Tunel	Aldea	13,9	1,3	12,6	3,1	\$ 111.600,00	\$ 585.000.000,00
ALTERNATIVA 6	Tunel	Aldea	8,9	0,45	8,45	7,3	\$ 262.800,00	\$ 202.500.000,00
								1200
								36000
								450000

Estimado con la pagina GENERADOR DE PRECIOS.COM		Costos de operación de 1 vehiculo de cada tipo en cada camino			Costo total de operación Autos	Cost. Transporte suelo a deposito	COSTO TOTAL
1500 \$/M3		COSTO/ VEH [\$]					
Movimiento de suelos (m) - (m3)	costo MOV.S	Auto	Omnibus	Camion			
0	\$ -	\$ 12,00	25	30			
0	\$ -	\$ 262,86	547,625	657,15	\$ 834.790.209,28	\$ -	\$ 877.853.409,28
0	\$ -	253,2	527,5	633	\$ 804.112.002,55	\$ -	\$ 849.400.002,55
0	\$ -	237	493,75	592,5	\$ 752.664.078,21	\$ -	\$ 865.419.678,21
0	\$ -	195,6	407,5	489	\$ 621.186.049,36	\$ -	\$ 846.348.049,36
0	\$ -	151,2	315	378	\$ 480.180.627,11	\$ -	\$ 1.065.292.227,11
3100	697500	\$ 307.011.600,00	101,4	211,25	253,5	\$ 322.025.896,75	\$ 831.800.296,75
		hemos considerado aquí la distancia de transporte al deposito de aproximadamente 8km	En realidad desde el tunel no se permite el paso de omnibus y camiones				
						Dist a deposito [km]	
						8	

Nuestra opcion

A continuación, mostramos como hemos considerado el trazado en un perfil de Google Earth para determinar distancias:

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural



Se descartan las alternativas 1,2,4 y 5 y se analizan con mayor profundidad la 3 y 6

A continuación, enumeramos algunas ventajas y desventajas:

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Alternativa 3	Facilidad constructiva (no bajo agua) Camino existente	Long. Puente mayor Vuelta mas larga
Alternativa 6	Vuelta mas corta Puente de menor dimension	Mucho movimiento de suelo Camino inexistente Incidencia sobre paredon del embalse

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

Como conclusión, llegamos a que la alternativa 3 y 6 son bastante similares económicamente hablando, pero nos decantamos por la 3 debido a que en la 6 se necesita mucha maquinaria para el movimiento de suelo y no existe un camino de conexión hacia la aldea.

Tipología estructural y antecedentes

Por la alternativa elegida, teníamos una longitud de puente de entre 350m y 400m. Nos propusimos a buscar antecedentes.

Puente Lago San Roque

Ubicación: San Roque, Córdoba, Argentina

Longitud: 385m

Ancho: 26m (con 2 trochas por sentido)

Altura: 45m aprox



Puente en arco – Lago San Roque

Viaducto de Millau

Ubicación: Aveyron, Francia

Longitud: 2460m

Altura: 343m

Ancho: 55m aprox.

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural



Viaducto de Millau – Francia

Puente La Vicaria

Ubicación: Yeste, España

Longitud: 260m

Altura: 40m

Ancho: 11m

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural



Tomando como decisión final, gracias a las dimensiones vistas en los antecedentes, adoptar una tipología en arco con tablero intermedio.

El mismo estaría sostenido por tensores en los tramos donde el diseño lo permita y por columnas metálicas en los extremos.

Materiales

Según la tipología adoptada, nos decantamos por 2 materiales de construcción, elementos metálicos u hormigón.

A continuación, mostraremos algunas ventajas y desventajas de los materiales considerados para este proyecto:

Acero	}	<u>Ventajas:</u>	<u>Desventajas:</u>
		<ul style="list-style-type: none"> - Facilidad de transporte - Estructura menos pesada - Proceso constructivo mas sencillo 	<ul style="list-style-type: none"> - Necesidad de mano de obra calificada (soldadores) - Mayor costo de mantenimiento
Hormigon	}	<u>Ventajas:</u>	<u>Desventajas:</u>
		<ul style="list-style-type: none"> - Menor costo de mantenimiento - El hormigón se comporta excelente a compresión (Principio de funcionamiento del arco) 	<ul style="list-style-type: none"> - Estructura pesada - Dificultad de ser transportada - Obras auxiliares a realizar para el ensamblaje del arco

La elección del material no fue definida de primera instancia. Fue un proceso iterativo durante el modelado, primero con un material y luego con otro y al final optamos por realizar una sección mixta.

El tablero será todo en hormigón (aunque la carpeta de rodamiento será asfáltica), la estructura abajo que sostiene todo será en acero y será planteada como una estereoestructura.

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

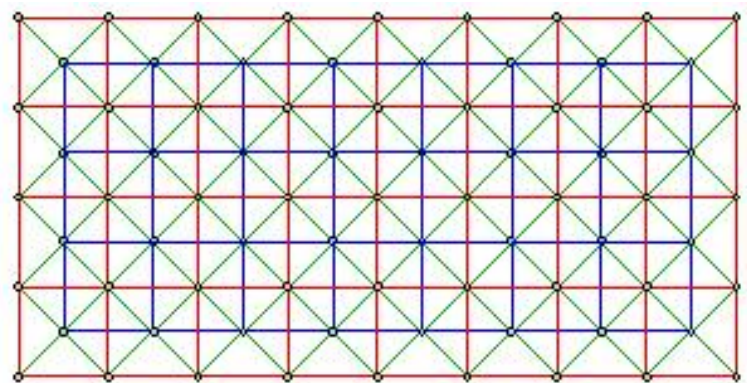


Grafico 2. Ilustración planta y lateral de las diferentes mallas. Como losa

- Malla externa Inferior
- Malla externa Superior
- Malla Interna Conectiva

El desafío más grande se nos presentó en la estructura del arco.

Inicialmente quisimos hacerlo metálico, pero debido al peso de los elementos considerados (por un pre dimensionado), nos daban deformaciones muy elevadas en el centro del vano, debiendo adoptar secciones exageradas para poder contrarrestarlas.

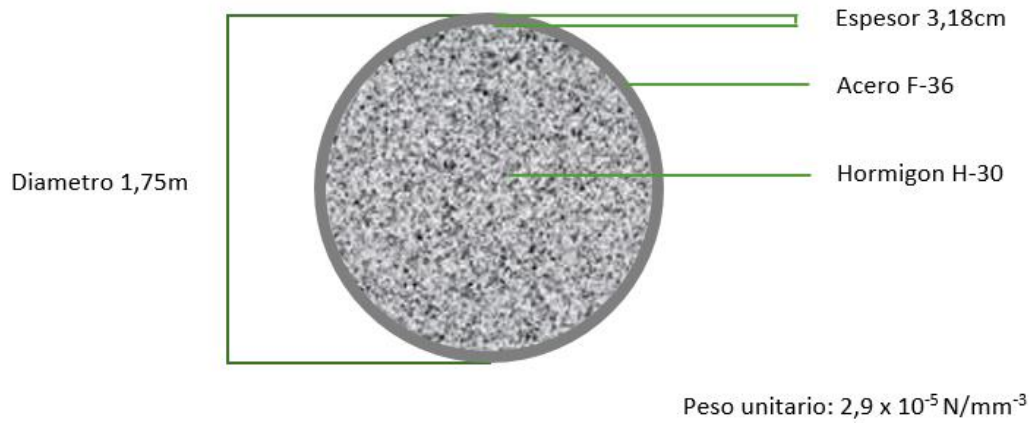
A continuación, mostraremos una imagen de cómo quedaría el modelo con una estructura de arco íntegramente metálica.



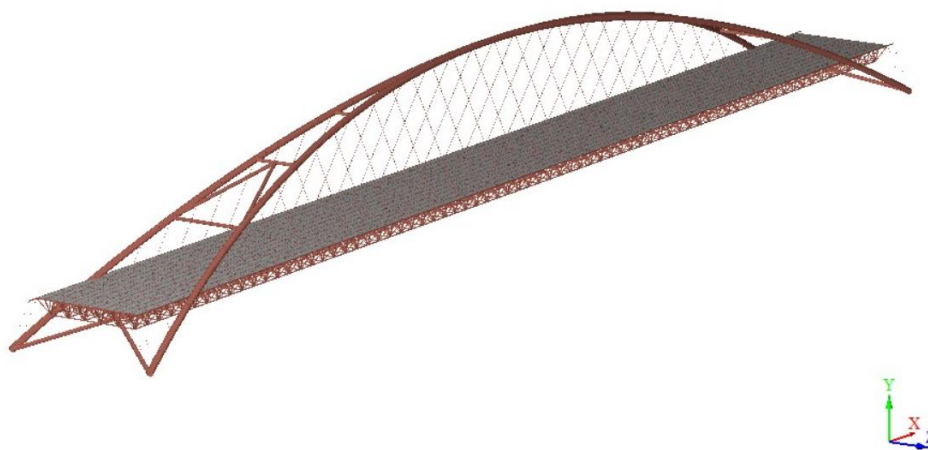
Tomamos como determinación, hacer una sección mixta de arco, para poder combinar las ventajas del hormigón con las del acero, quedando entonces:

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

Seccion mixta:



A continuación, veremos el modelo equivalente al anterior visto, pero con una sección mixta.



Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

Memoria de cálculo

A continuación, se describe brevemente el procedimiento de cálculo. Tratando de reflejar por escrito el proceso desarrollado durante el cursado. Antes de comenzar, vale la pena aclarar que el cálculo es un proceso eminentemente iterativo. Sin embargo, se puede definir mediante subtítulos un avance más o menos lineal, teniendo en cuenta que las partes se encuentran estrechamente relacionadas unas con otras.

Cargas

Se considera:

- Peso Propio (D)
- Vivas o tren de cargas (L)
- Viento (W)
- Sismo (E)

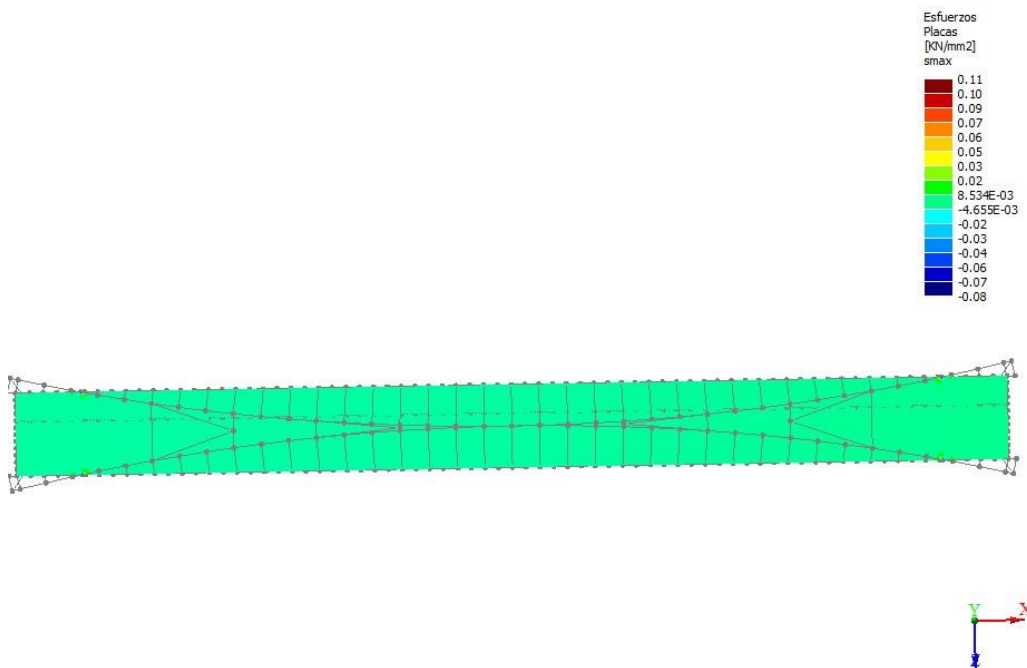
Peso Propio (D)

Según la sección 3.5 del Reglamento CIRSOC 801, REGLAMENTO ARGENTINO PARA EL DISEÑO DE PUENTES CARRETEROS, la carga permanente deberá incluir el peso propio de todos los componentes de la estructura, accesorios e instalaciones de servicio unidas a la misma, relleno de tierra, superficie de rodamiento, repavimentaciones y ensanches previstos.

Se considera:

- Peso propio de los arcos
- Peso propio de la estereoestructura
- Peso propio del tablero
- Peso propio de los tensores
- Peso obra muerta

Se muestran las tensiones en las placas debido a la carga D:

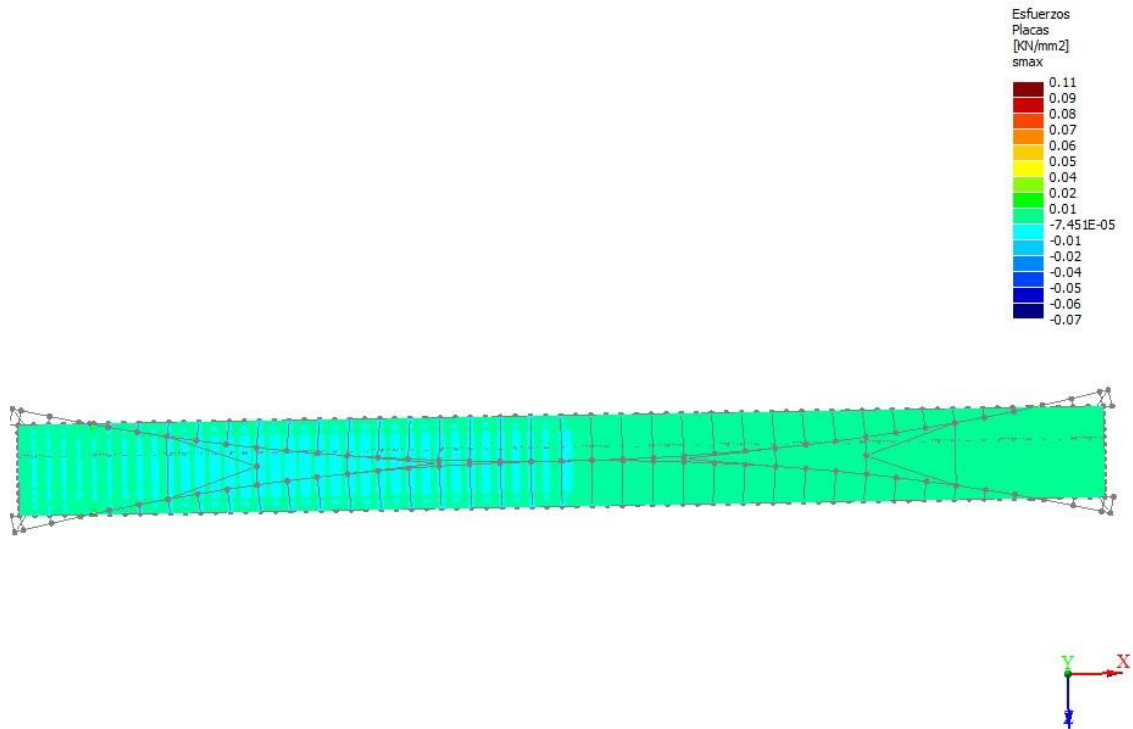


Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

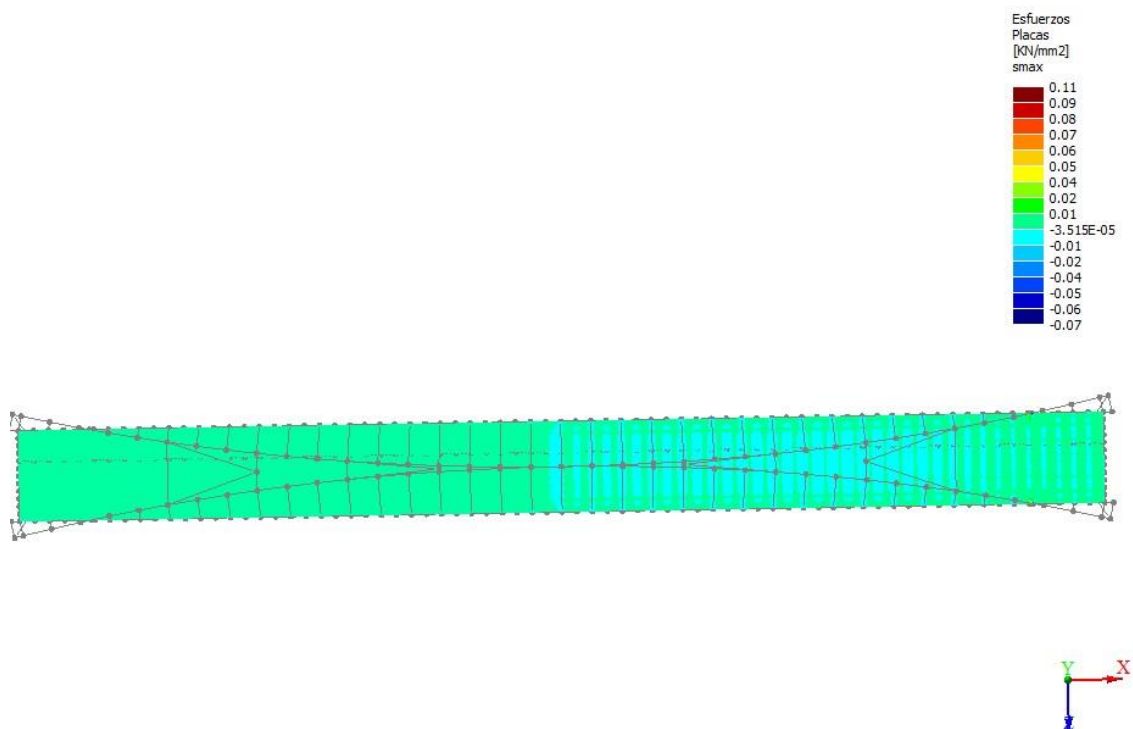
Tren de cargas (L)

Se distingue:

- muchedumbre compacta sobre la primera mitad del puente 600kg/m²

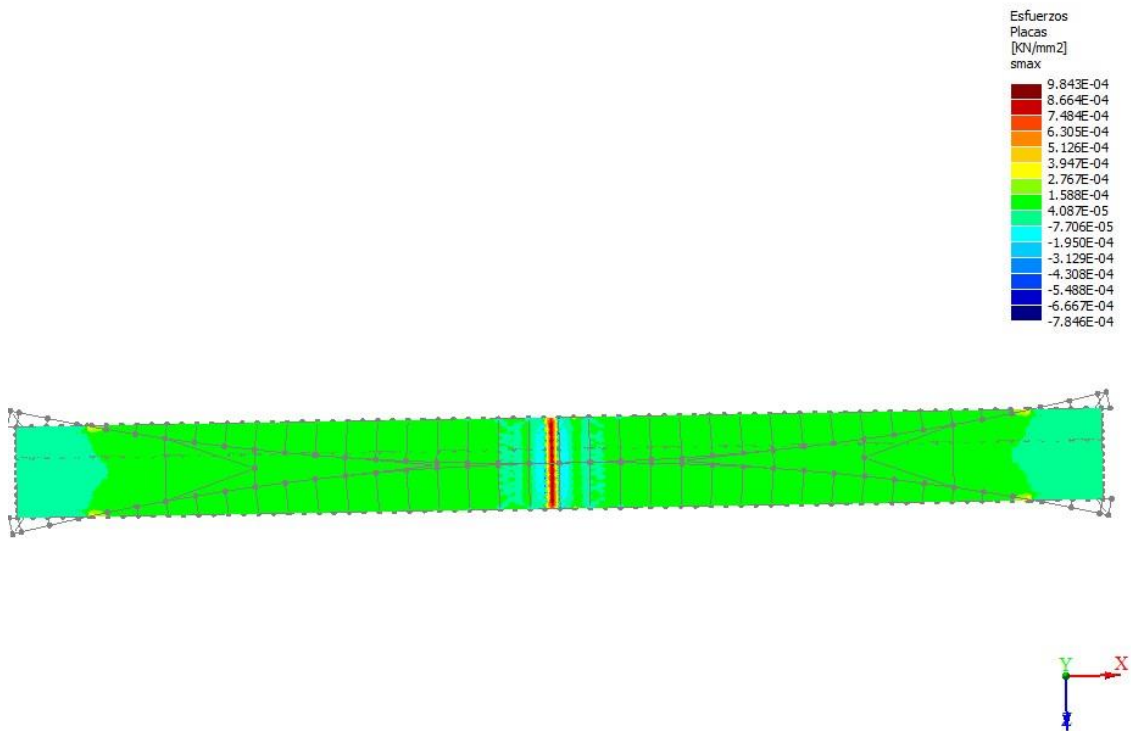


- muchedumbre compacta sobre la otra mitad 600kg/m²

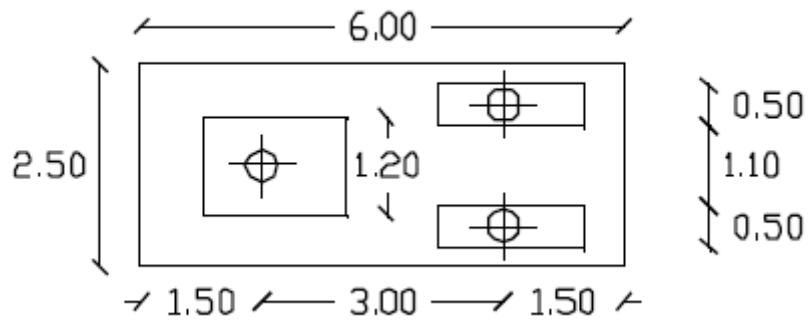


Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

- 4 aplanadoras A-30 en el centro de la luz 4x30 t



- 4 aplanadoras A-30 en un extremo de la luz 4x30 t



Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

Se analiza el coeficiente de impacto y resulta $\varphi = 1$.

Tabla n°2 – Coeficiente de impacto.

Tipo de estructura	Coeficiente de impacto.
1) Tablero de la calzada, incluyendo viguetas transversales y longitudinales, nervios, columnas y péndolas.	1,4
2) Vigas principales o pórticos nervados que parcial o íntegramente forman parte de la estructura del tablero o que estén directamente vinculados a ésta: $l < 10m$ $l = 10m$ $l = 30m$ $l = 50m$ $l \geq 70m$	1,4 1,3 1,2 1,1 1,0
3) Vigas principales vinculadas al tablero solamente mediante vigas transversales, es decir, cuando la losa de la calzada no apoya directamente sobre la viga principal, pórticos, losas y puentes losas: $l < 10m$ $l = 10m$ $l = 30m$ $l \geq 50m$	1,3 1,2 1,1 1,0
4) Estructuras en arco: a) Puentes en arco de sección discontinua (vigas aisladas, vigas huecas, sección nervada, etc.) $l < 50m$ $l = 50m$ $l \geq 70m$ b) Bóvedas en sección llena: $l < 50m$ $l \geq 50m$	1,2 1,1 1,0 1,1 1,0
5) Alcantarillas cualquier luz: Tapada menor de 0,20m. Tapada entre 0,20m y 0,40m. Tapada entre 0,40m y 0,60m. Tapada entre 0,60m y 0,80m. Tapada mayor de 1,00m.	1,4 1,3 1,2 1,1 1,0

Cargas de Viento (W)

Se distingue:

- Puente vacío: $250 \text{ kg/m}^2 \times 2.5m = 625 \text{ kg/m}$
- Puente lleno: $150 \text{ kg/m}^2 \times (2m + 2.5m) = 675 \text{ kg/m}$

De todas maneras, se comparó con la Fuerza Sísmica y resultó menor.

Fuerza Sísmica (E)

Para encontrar la fuerza sísmica nos remitimos a trabajar con el IMPRES-CIRSOC 103 Parte I. También nos apoyamos con el programa computacional RAM Advanse 9

Lo primero que realizamos fue armar el espectro de diseño, correspondiente al tipo espectral SD y zona sísmica 4. El tipo espectral se obtiene de los resultados del estudio de suelo y de la tabla 2.2 del INPRES-CIRSOC 103 Parte I.

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

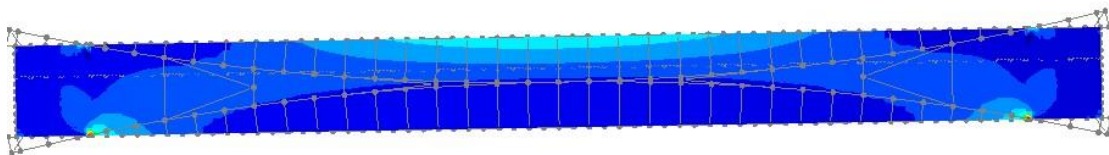
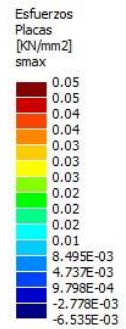
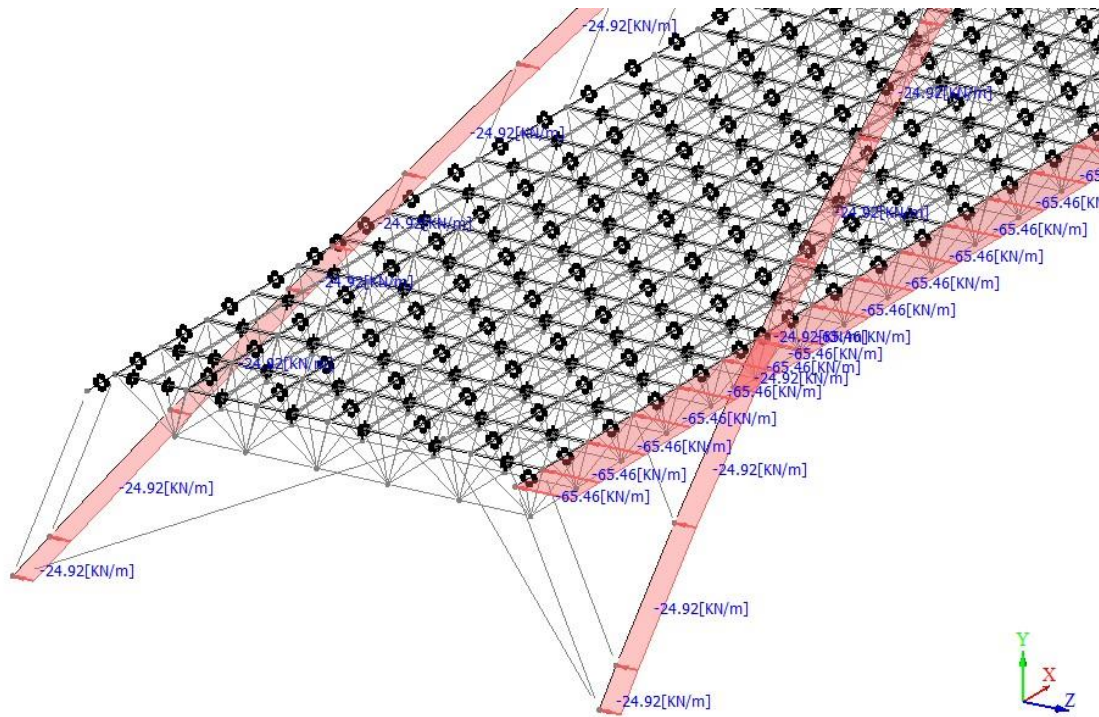
Elemento	E Oeste	Pila 4	Pila 2	Estribo E
Sondeo	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4
Estrato	0,00 - 5,00	0,00 - 6,00	0,00 - 4,00	0,00 - 11,00
Clasificación	GP	GP	GP	GP
N	N > 50	N = 24	N = 13/28	N = -
Densidad	$\gamma = 1,750$	$\gamma = 1,700$	$\gamma = 1,700$	$\gamma = 1,700$
Fricción	$\phi = 37^\circ$	$\phi = 35^\circ$	$\phi = 35^\circ$	$\phi = 36^\circ$

Tabla 2.2. Clasificación del sitio – Influencia del suelo

Tipo espectral	Sitio	DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELOS	PROPIEDADES DE SUELO PROMEDIO		
			Velocidad media de la onda de corte, V_{sm} (m/s)	Nº de golpes medio del ensayo de penetración normalizado N_m	Resistencia media al corte no drenado S_{um} (kPa)
Tipo 1	S _A	Formación de roca dura, con presencia superficial y escasa meteorización.	>1500	-	-
	S _B	Formación de roca dura con pequeña capa de suelo denso y/o roca meteorizada <3m	760 a 1500	-	-
	S _C	Formación de roca blanda o meteorizada que No cumple con S _A y S _B . Gravas y/o arenas muy densas. Suelo cohesivo pre-consolidado, muy duro. Gravas y/o arenas de densidad media.	360 a 760	>50	>100
Tipo 2	S _D	Suelo cohesivo consistente, de baja plasticidad. Gravas y/o arenas de baja densidad.	180 a 360	15 a 50	50 a 100
Tipo 3	S _E	Suelo cohesivo blando de baja plasticidad.	<180	<15	< 50
	S _F	Suelos dinámicamente inestables. Requieren estudios especiales.			

Se aplica el Método Estático. La fuerza sísmica se carga en el modelo como una fuerza estática linealmente distribuida en toda la longitud de cada uno de los dos arcos (24.92 kN/m) y en el borde extremo del cordón superior de la estereoestructura (65.46 kN/m).

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo Facultad de Ingeniería
Bernal – Fratter - Cardozo		Cátedra: Diseño Estructural



Para encontrar el valor del coeficiente sísmico de diseño C , tenemos que analizar los periodos que movilizan más masa en cada dirección y optar por las siguientes fórmulas:

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

$$C = 2,5 C_a \gamma_r / R \quad \text{para } T \leq T_2$$

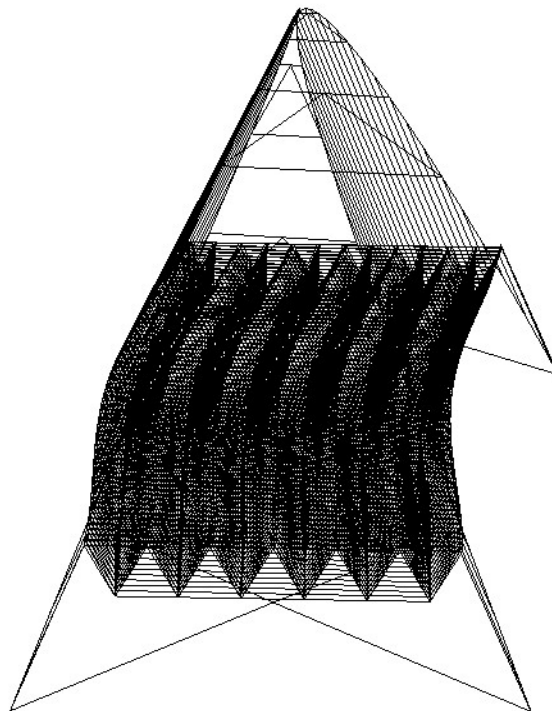
Estableciendo $\gamma_r=1,3$, $R=1,5$ y $C_a=0,4$

$$C = S_a \gamma_r / R \quad \text{para } T \geq T_2$$

$$C \geq 0,8 a_s N_v / R \quad \text{para zonas sísmicas 3 y 4}$$

Con el espectro de diseño pasamos a calcular los valores de $T_1=0.14s$ y $T_2=0.71s$

Se obtuvo el período correspondiente al 1° modo de vibrar, del modelo computacional: $T = 1.69s$. Se muestra la deformada correspondiente. Resulta $C_s = 0.36$



Combinaciones

Para Estado Límite Servicio:

- $D + L$

Para estado Límite Último:

- $1.4D$
- $1.2D + 1.6L$
- $D + f_1L + E$

Se adopta un factor $f_1 = 0,2$. De la tabla:

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

Tabla 3.3 Factor de simultaneidad para sobrecargas de uso y accidentales

Carga de ocupación o de uso (L)	f_1
La sobrecarga de servicio sólo actúa excepcionalmente, por ejemplo en techos o azoteas accesibles sólo con fines de mantenimiento.	0
La probabilidad de ocurrencia de la sobrecarga es reducida, por ejemplo locales donde no es frecuente la aglomeración de personas o cosas: edificios para vivienda, hoteles, oficinas, etc.	0,25
La probabilidad de ocurrencia de la sobrecarga es intermedia, por ejemplo locales en los que es frecuente la aglomeración de personas o cosas: edificios públicos, grandes tiendas, templos, cines, teatros, escuelas, hoteles, etc.	0,50
La probabilidad de ocurrencia de la sobrecarga total es elevada, por ejemplo: depósitos, edificios para archivos, etc.	0,75
Normalmente está presente la totalidad de la sobrecarga de servicio, por ejemplo: tanques, silos, depósitos destinados a estar llenos la mayor parte del tiempo, etc.	1,00
Verificación local de partes de la construcción, salvo que la sobrecarga sea equilibrante	1,00
Cocheras	(*)
Otros casos	0,20

La componente vertical del Sismo resulta: 0,26D.

$$E_v = \frac{C_a}{2} \gamma_r D$$

Se muestran las cargas y combinaciones cargadas al modelo:

The screenshot shows a software window titled "Estados de carga" with two main sections: "Condiciones" and "Combinaciones".

Condiciones:

Nro	ID	Descripción	Categoría	Duración
1	D	Carga Muerta	DL	Permanente
2	Lmizq	Muchedumbre Compacta: en primera mitad	LL	Permanente
3	Lmder	Muchedumbre Compacta: en segunda mitad	LL	Permanente
4	W1	Viento con puente vacío	WIND	Permanente
5	W2	Viento con puente lleno	WIND	Permanente
6	La1	A-30 a 3m del apoyo izq	LL	Permanente
7	La2	A-30 a 7m del apoyo izq	LL	Permanente
8	La48	A-30 a 178m del apoyo izq	LL	Permanente
9	K	Fza horizontal unitaria al centro del tablero	EQ	Permanente
10	Eh	Fuerza horizontal Cs = 0,16	EQ	Permanente

Combinaciones:

Formula: $Eh+Ev = 1.26D+0.2Lmizq+0.2Lmder+0.2La48+Eh$

Nro	ID	D	Lmizq	Lmder	W1	W2	La1	La2	La48	K	Eh	Tipo
1	Comp	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	Servicio
2	Corte	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	Servicio
3	Flex	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	Servicio
4	Grav1	1.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	No asignado
5	Grav2	1.2	1.6	1.6	0	0	0	0	1.6	0	0	No asignado
6	Eh+Ev	1.26	0.2	0.2	0	0	0	0	0.2	0	1	Sismo amp. acero
7	Eh-Ev	0.74	0.2	0.2	0	0	0	0	0.2	0	1	Sismo amp. acero

Buttons: Aceptar, Cancelar, Ayuda

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

Estados Límite

De Servicio

Condición de deformación vertical

Del CIRSOC 801:

2.5.2.6.2. Criterios para flechas

Los criterios de este Artículo se deben considerar opcionales, con excepción de:

A falta de otros criterios, para los puentes vehiculares de acero y/u hormigón se pueden adoptar para las flechas los siguientes límites:

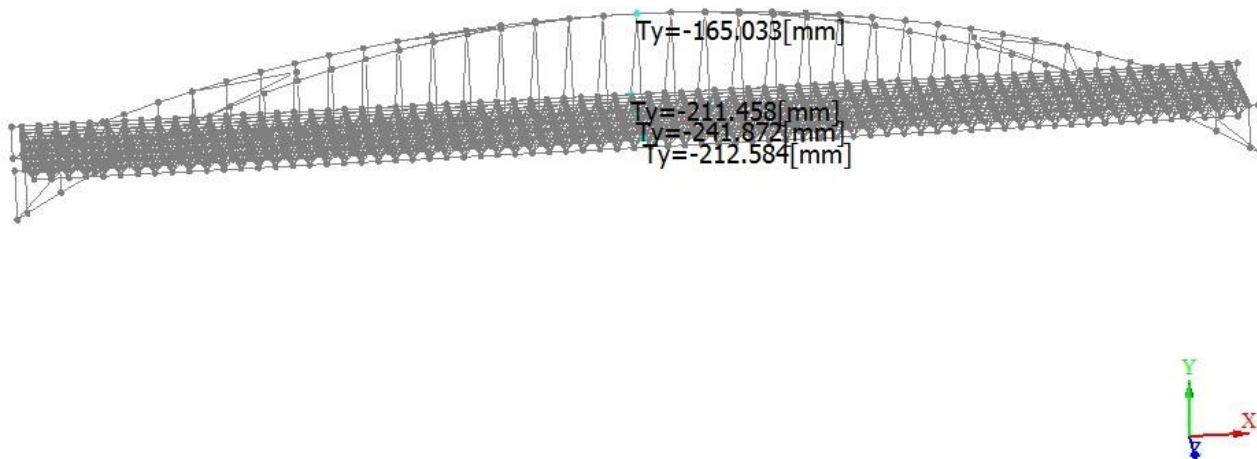
- Carga vehicular, general ***Luz/800,***
- Cargas vehiculares y peatonales ***Luz/1000,***
- Carga vehicular sobre voladizos ***Luz/300, y***

Se adopta una flecha admisible de $Luz/1000 = 367m/1000 = 367 \text{ mm}$.

Sección combinada

Se prueba con secciones tubo circular de acero f36, sin encontrar resultados satisfactorios. Se prueba con una sección compuesta con por dos tubos circulares de acero f36 y hormigón H-60 entre medio, resultando muy alta en costo. Finalmente, de prueba y adopta una sección compuesta por un único tubo circular de acero f36 y rellena de hormigón H-30. Se muestran los resultados en el modelo.

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería
		Cátedra: Diseño Estructural



Se muestran los cálculos de la sección combinada, transformada a sección equivalente de acero. Para el cálculo se utilizó la guía de la cátedra.¹

Diámetro real [m]	Espesor real ["]	espesor de H° [m]	Flecha [mm]	Peso unitario [N/mm ³]	long ef de pandeo [m]	fcr [MPa]
1,75	1,25	0,88	165	2,87765E-05	45,00	340,03

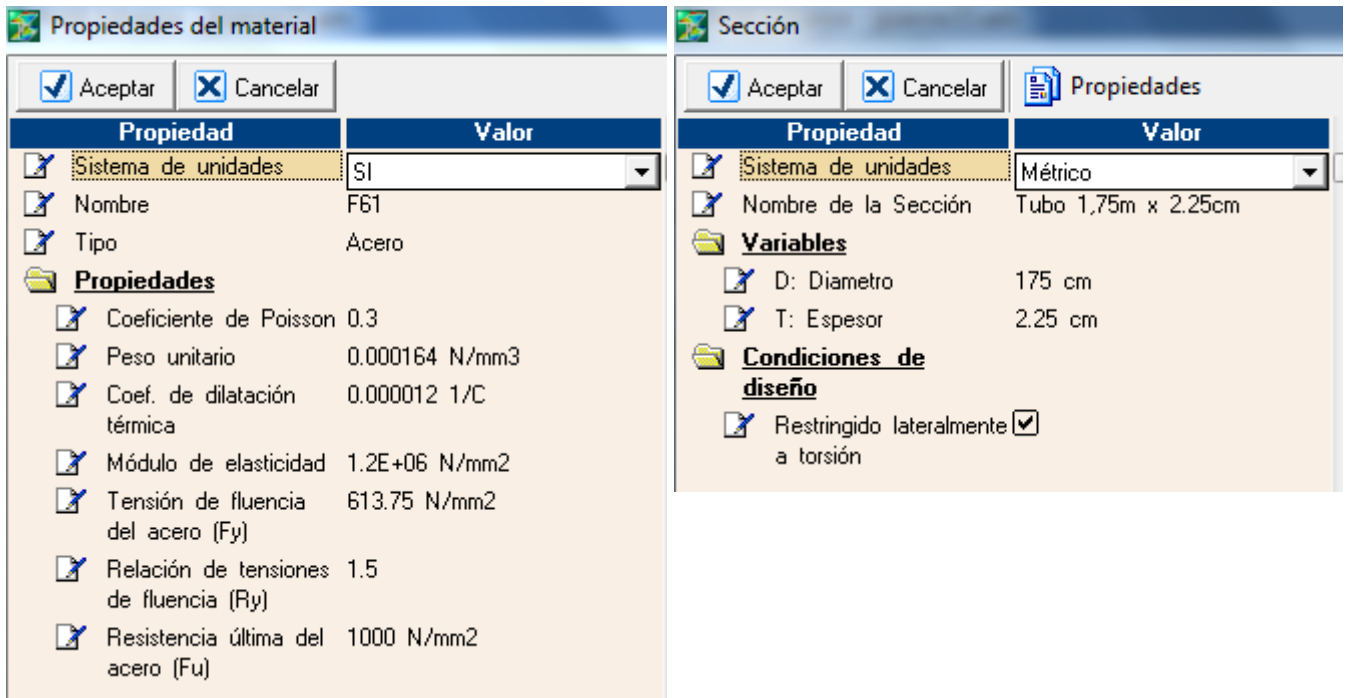
f _y equivalente [MPa]	E equivalente [Mpa]	A equivalente [cm ²]	I equivalente [cm ⁴]	Diámetro equivalente [m]	espesor equivalente [cm]	Peso unitario equivalente [N/mm ³]
613,75	1206612,589	4589,23	183018188,10	6	2,25	1,64E-04

Error del Área cargada al modelo	Error del I cargado al modelo	\$/m	Pu [kN]	Condición de Resistencia	rendimiento por Resistencia
8%	-3%	\$ 445.725,38	2816633,576	Verifica	2,63%

¹ http://fing.uncu.edu.ar/catedras/dis_estructural/Construccion%20Mixta-Guia%20y%20Ejercicio-2012.pdf

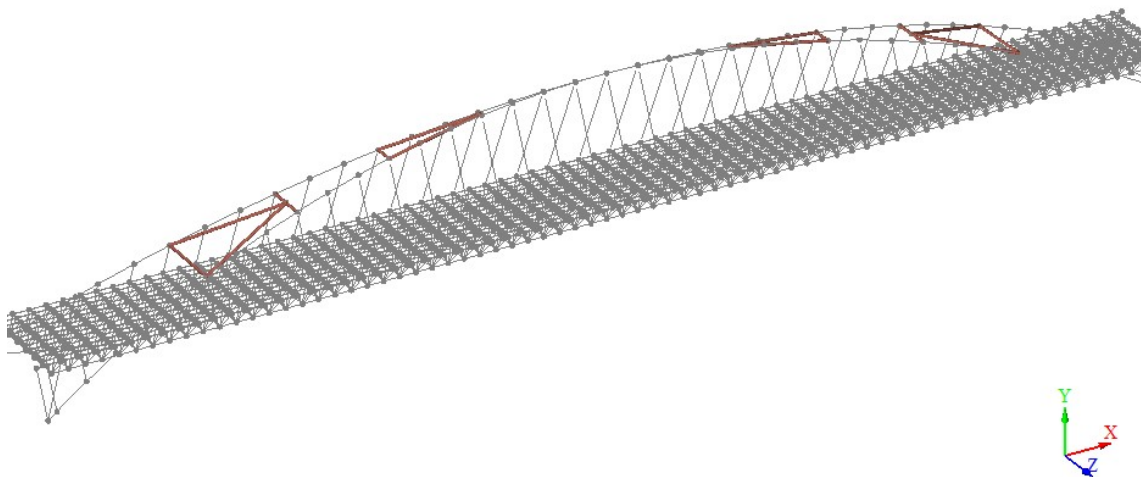
Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural
Bernal – Fratter - Cardozo		

Se creó el material y la sección equivalente para poder trabajar con el modelo:



Necesidad de rigidizadores K

Para poder realizar los cálculos de los cuadros anteriores, hubo que definir una longitud de pandeo del arco. Para ello se dispusieron de rigidizadores K a lo largo del arco, cada 30m. Para el cálculo de la longitud efectiva de pandeo se adoptó un coeficiente $k=1,5$, considerando las condiciones de contorno, entre empotrada y articulada.



Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

Condición de deformación horizontal

Se toma un criterio similar al de los edificios, y se adopta un desplazamiento admisible del 1%.

Tabla 6.4. Valores límite de la distorsión horizontal de piso θ_{sk}

Condición	Grupo de la construcción	
	A _o o A	B
D	0,01	0,015
ND	0,015	0,025

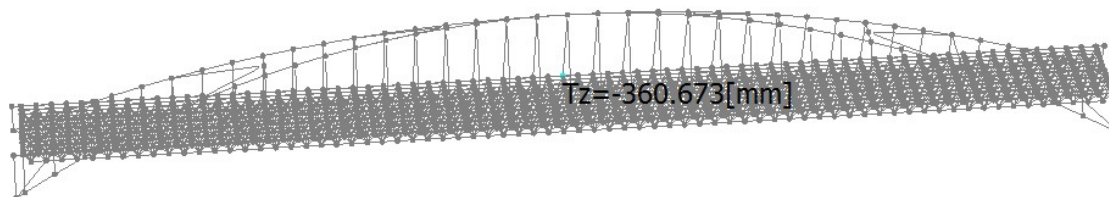
El desplazamiento horizontal admisible resulta: $366\text{m}/100 = 3\ 660\ \text{mm}$.

Necesidad de vincular el tablero con los arcos y de colocar cruces San Andrés

Se corre el modelo y resultan desplazamientos horizontales muy elevados. Se toma la decisión de:

- Efectuar el modelo con placas de carga y no con áreas de carga, de manera tal que se manifieste la contribución de la losa del tablero.
- Vincular el tablero a los arcos.
- Rigidizar los arcos debajo del tablero con cruces San Andrés.

Se muestran los resultados del modelo, es casi 10 veces menor que el admisible:



Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

Último

Del modelo se extraen los esfuerzos correspondientes al estado límite último de cada elemento estructural. Se declara en cada caso la combinación correspondiente. Se muestran los resultados en los cuadros dentro del título siguiente *Verificaciones por resistencia*.

Pre-dimensionamiento

Desde el inicio se fue realizando un pre-dimensionamiento de cada elemento estructural.

- Para que el arco trabaje a compresión y no a flexión se respetó la relación luz/flecha > 8.
- De la flecha admisible, se atribuyó: 1/3 al arco y 2/3 a los tensores. Y se predimensionaron los tensores por deformación. Para los tensores se adoptaron los cordones C1900 de Acindar. Se colocó a cada tensor la cantidad de cordones necesaria para que cada tensor tenga la misma rigidez, y así homogeneizar los esfuerzos de flexión en el borde del cordón superior de la estereoestructura.

Cordón de siete alambres baja relajación

Características

Formado por alambres de alto carbono cableado y posteriormente tratado termomecánicamente con un proceso de baja relajación. El cordón se compone de seis alambres arrollados helicoidalmente alrededor del séptimo alambre denominado "alma de cordón" y de diámetro mayor que constituye el eje longitudinal del mismo. Se utilizan en estructuras de hormigón pre y postensado.

Propiedades mecánicas

Norma IRAM-IAS U500-03

Designación del cordón ^(*)	Designación comercial	Diámetro nominal del cordón	Área nominal de la sección transversal del cordón ^(**)	Peso por unidad de longitud ^(***)	Carga al 1% del alargamiento total (mínima) ^(****)	Carga de rotura (mínima)	Alargamiento de rotura bajo carga sobre 600 mm (mín.)
		mm	mm ²	kg/m	Q1 kN	Qt kN	At %
C1900	Grado 270	9,5	54,84	0,434	92	102	3,5
C1900	Grado 270	12,7	98,70	0,778	166	184	3,5
C1900	Grado 270	15,2	140,00	1,134	235	261	3,5

(*) Los valores de designación corresponden aproximadamente a la resistencia a la tracción nominal del cordón expresada en MPa.

(**) Son valores teóricos dados a título indicativo.

(***) Los valores del peso por unidad de longitud están calculados considerando que la densidad del acero es 7,85 kg/dm³.

(****) La carga al 1% del alargamiento total se considera equivalente a la carga al 0,2% de deformación permanente.

El proceso de fabricación garantiza también el cumplimiento de la norma ASTM A 416.

Carga inicial	Relajación máxima a 1.000 hs y 20 °C
%	%
70	2,5

Porcentaje de relajación

Resulta en una tensión de fluencia de 1 673 MPa y un módulo elástico de 19 000 MPa.

- Se predimensionó el arco por resistencia, obteniendo la fuerza de compresión como M/f.
- Se hizo un cálculo aproximado del período de la estructura, aplicando una fuerza unitaria al centro del tablero y considerando la estructura como una de un único grado de libertad y la masa concentrada en el mismo punto de aplicación de la fuerza.

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

Además, se simplificaron los cálculos asumiendo que la estereoestructura aportaba una rigidez a flexión del doble de la de la losa. No se lograron resultados confiables.

- Se hizo un cálculo aproximado del período de la estructura, aplicando una fuerza unitaria al centro del tablero y considerando la estructura como una de un único grado de libertad y la masa concentrada en el mismo punto de aplicación de la fuerza. Con ayuda del modelo. Resultó un período de aproximadamente 3s. Tampoco resultó aproximado al período obtenido por el software.
- Se predimensionaron las fundaciones con las reacciones $R_{horizontal} = q \cdot l^2 / (8 \cdot f)$; $R_{vertical} = q \cdot l / 2$

Verificaciones por resistencia

Para el dimensionado de los perfiles metálicos empleados en la estereoestructura, columnas de extremos y rigidizaciones, extrajimos los esfuerzos máximos del programa RAM Advanse 9

Los mismos fueron:

Estereoestructura						
Sentido transversal	cord sup	cerca de tensor	Pu =	900	kN	1,2D+1,6L
			Mu =	30	kNm	
		centro	Pu =	11	kN	1,2D+1,6L
			Mu =	27	kNm	
	cord inf		Tu =	2470	kN	1,2D+1,6L
			Mu =	16	kNm	
Sentido longitudinal	cord sup	borde	Pu =	240	kN	1,2D+1,6L
			Mu =	76	kNm	
		centro	Pu =	90	kN	1,2D+1,6L
			Mu =	56	kNm	
	cord inf	borde	Tu =	925	kN	1,2D+1,6L
			Mu =	5	kNm	
		centro	Tu =	560	kN	1,2D+1,6L
			Mu =	3	kNm	
Diagonales	cerca de tensor		Tu =	1740	kN	1,2D+1,6L
			Mu =	23	kNm	
	centro		Pu =	710	kN	1,2D+1,6L
			Mu =	11	kNm	
Columna extremo	borde	Pu =	1800	kN	1,2D+1,6L	
		Tu =	0	kN		

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

Rigidizaciones					
Rigidizadores en arco	Verificación por resistencia				
	Transversales	Pu =	2500	kN	D+0,2L+Eh+Ev
		Mu=	5600	kNm	
		Vu=	5000	kN	
	Diagonales	Pu =	2500	kN	D+0,2L+Eh+Ev
		Mu=	170	kNm	
Vu=		100	kN		
Diagonales bajo tablero	Verificación por resistencia				
	Transversales	Pu =	9150	kN	D+0,2L+Eh+Ev
		Mu=	1525	kNm	
		Vu=	160	kN	

Para interpretar los esfuerzos extraídos, adoptamos la siguiente convención:

Sentido longitudinal → perfiles en dirección del tránsito

Sentido transversal → perfiles perpendiculares a la dirección del tránsito

Cordón superior → compresión

Cordón inferior → tracción

Para el dimensionado y verificación de perfiles metálicos nos remitimos al Reglamento CIRSOC 301 - REGLAMENTO ARGENTINO DE ESTRUCTURAS DE ACERO PARA EDIFICIOS.

Empleando:

Capítulo D - BARRAS TRACCIONADAS

Capítulo E - COLUMNAS Y OTRAS BARRAS COMPRIMIDAS

Capítulo F - VIGAS Y OTRAS BARRAS EN FLEXIÓN

Capítulo H – BARRAS SOMETIDAS A SOLICITACIONES COMBINADAS Y TORSIÓN

Utilizando planillas de cálculo, realizamos:

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

SENTIDO TRANSVERSAL															
TRACCION				FLEXION						SOLICITACION COMBINADA FLEXION Y TRACCION (CAP H.1.1)					
SENTIDO TRANSVERSAL	Pn=	3089,16	kN	Perfil											
	Pn=		kN	IPW	d	257	mm	Mn=	Mp	324	kNm	<1,5My	0,94247721	<1,0	
	Tu/Pn(0,9)	0,888411233		w10x45	bf	204	mm		My	289,8					
	fluencia (0,9)				tf	15,7	mm		1,5 My	434,7					
	rotura(0,75)				hw	194	mm					0,94247721	<1,0	VERDADERO	
					Ag	85,81	cm2								
					Peso	67	Kg/m								
	Diseño flu	Pd	2780,244		ix	10323	cm4		Mn	292,281187					
	Diseño rot				rx	10,97	cm		Mr	233,289					
	Solicitacion	Pu =	2470		Sx	805	cm3		Cb	1					
					Zx	900	cm3		Lb	500	cm				
	Amin	76,2345679			ly	2223	cm4		Lp	236	cm				
					ry	5,11	cm		Lr	991	cm				
					1,5Sy	327	cm3		Fr	289,8					
					Zy	333	cm3	Mu=		16					
					Fy	360									
					E	2,00E+05									
COMPRESION				FLEXION						SOLICITACION COMBINADA FLEXION Y COMPRESION (CAP H.4.1)					
	Pn=	1704,6	kN	Perfil	d	150	mm	Mn	Mp	111,6	kNm	<1,5My			
	Pu=	900	KN	6x25	bf	150	mm		My	98,64					
esbeltez	λcx	0,00E+00	Fcrx	360	tf	12	mm		1,5 My	147,96		0,88665507	<1,0	VERDADERO	
	λcy	0,00E+00	Fcry	#iDIV/0!	hw	150	mm								
	k	1	cm		Ag	47,35	cm2								
	L	0	cm		Peso	37	Kg/m								
	rx	6,86	cm		ix	2223	cm4		Mn	119,456769					
	ry	3,86			rx	6,86	cm		Mr	79,734					
					Sx	274	cm3		Cb	1					
					Zx	310	cm3		Lb	0	cm				
Amin	29,4117647				ly	712	cm4		Lp	179	cm				
					ry	3,86	cm		Lr	905	cm				
					1,5Sy	108	cm3		Fr	291					
	PU/(0,85)Pn	0,621156594			Zy	140	cm3	Mu=		30					
					Fy	360									
					E	2,00E+05									

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

SECCION LONGITUDINA												
TRACCION				FLEXION						SOLICITACION COMBINADA FLEXION Y TRACCION (CAP H.1.1)		
LONGITUDINAL	fluencia rotura	Pn=	3089,16 kN	Perfil						Plastificacion		
		Pn=	3089,16 kN	IPW	d	257 mm	Mn	Mp		324 kNm	<1,5My	0,34958073 <1,0 VERDADERO
		Tu/Pn(0,9)	0,332704612	rresponde caso a, seccion H.1 w10x45	bf	204 mm		My		289,8		
		Tu/Pn(0,75)	# VALOR!		tf	15,7 mm		1,5 My		434,7		
	fluencia (0,9) rotura(0,75)				hw	194 mm						
					Ag	85,81 cm2						
					Peso	67 Kg/m		Mn		292,618967		
					ix	10323 cm4		Mr		234,255		
		Pu=	925		rx	10,97 cm		Cb		1		
					Sx	805 cm3		Lb		500 cm		
	Amin	28,5493827			Zx	900 cm3		Lp		236 cm		
					ly	2223 cm4		Lr		991 cm		
					ry	5,11 cm		Fr		291		
					1,5Sy	327 cm3						
					Zy	333 cm3	Mu=		5			
				Fy	360							
				E	2,00E+05							
COMPRESION				FLEXION						SOLICITACION COMBINADA FLEXION Y COMPRESION (CAP H.4.1)		
	Pn=	1704,6	Perfil								0,6957241 <1 VERDADERO	
	Pu=	240	IPW	d	150 mm	Mn	Mp		111,6 kNm	<1,5My		
	Amin	7,407407407	6x25	bf	150 mm		My		98,64			
	Pu/(0,85*Pn)	0,165641758		tf	12 mm		1,5 My		147,96			
esbeltez	λcx	0,00E+00	Fcrx	360	hw	150 mm						
	λcy	0,00E+00	Fcry	# DIV/0!	Ag	47,35 cm2						
	k	1 cm		Peso	37 Kg/m		Mn		119,456769			
	L	0 cm		ix	2223 cm4		Mr		79,734			
	rx	6,86 cm		rx	6,86 cm		Cb		1			
	ry	3,86		Sx	274 cm3		Lb		0 cm			
	Fcr	360		Zx	310 cm3		Lp		179 cm			
	Fcr	# DIV/0!		ly	712 cm4		Lr		905 cm			
	Fcr	360		ry	3,86 cm		Fr		291			
	Fcr	360		1,5Sy	108 cm3							
				Zy	140 cm3	Mu=		76 kNm				
				Fy	360							
	r=	# VALOR!		E	2,00E+05							
	Pd=	1448,91	VERDADERO									

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

DIAGONAL													
TRACCION				FLEXION						SOLICITACION COMBINADA FLEXION Y TRACCION (CAP H.1.1)			
Diagonales	fluencia rotura	Pn=	2613,6 kN	Perfil									
		Pn=	kN	Seccion Tubo	d	257 mm	Mn=	Mp	173,4156 kNm	<1,5My	0,70267861	<1,0	
		Tu/Pn(0,9)	0,739720437	rresponde caso a, seccion H.1	D219,1x11,10	bf	204 mm		My	129,5244			
		Tu/Pn(0,75)	#iDIV/O!			tf	15,7 mm		1,5 My	194,2866			
	fluencia (0,9) rotura(0,75)					hw	194 mm						
						Ag	72,6 cm2						
						Peso	57 Kg/m						
	Diseño flu	Pd	2352,24	VERDADERO		ix	3945,07 cm4		Mn	-613,254013			
	Diseño rot					rx	7,37 cm		Mr	46,6015839			
						Sx	359,79 cm3		Cb	1			
	Solicitacion	Pu =	1740			Zx	481,71 cm3		Lb	866 cm			
						ly	3945,07 cm4		Lp	38,8888889 cm			
	Amin	53,7037037				ry	7,37 cm		Lr	172,222222 cm			
						1,5Sy	539,685 cm3		Fr	129,5244			
						Zy	481,71 cm3	Mu=		23 kNm			
						Fy	360						
						E	2,00E+05						
	COMPRESION				FLEXION						SOLICITACION COMBINADA FLEXION Y COMPRESION (CAP H.4.1)		
		Pn=	910,9889666 kN		Perfil								
		Pu=	710 kN		Seccion Tubo	d	257 mm	Mn	Mp	173,4156 kNm	<1,5My	0,88210688	<1,0
				D219,1x9,53	bf	204 mm		My	129,5244				
					tf	15,7 mm		1,5 My	194,2866				
esbeltez	λcx	1,586853317	Fcrx	125,4805739	hw	194 mm							
	λcy	1,586853317	Fcry	125,3800752	Ag	72,6 cm2							
	k	1 cm			Peso	57 Kg/m							
	L	866 cm			ix	3945,07 cm4		Mn	-252,857058				
	rx	7,37 cm			rx	7,37 cm		Mr	104,69889				
	ry	7,37			Sx	359,79 cm3		Cb	1				
					Zx	481,71 cm3		Lb	866 cm				
					ly	3945,07 cm4		Lp	38,8888889 cm				
Amin	66,6209616				ry	7,37 cm		Lr	172,222222 cm				
					1,5Sy	539,685 cm3		Fr	291				
					Zy	481,71 cm3	Mu=		11 kNm				
	Fcr	125,4805739			Fy	360							
	Fcr	125,3800752			E	2,00E+05							
	Fcr	125,3800752											
	r=	24,4941789											
	Pd=	774,3406216	VERDADERO										
	Pu/Pn(0,85)	0,916909148											

COLUMNAS DE EXTREMO													
Columna extremo	COMPRESION				FLEXION						SOLICITACION COMBINADA FLEXION Y COMPRESION (CAP H.4.1)		
	columna 1	Pn=	1147,440471	kN	Perfil								
Pu=		750	kN	Seccion Tubo	d	150	mm	Mn	Plastificacion				
Pu/Pn(0,85)		0,768974917		D355,6x6,35	bf	150	mm		Mp	278,928	kNm	<1,5My	0,76926173 <1,0
λcx		1,366876998	Fcrx		tf	12	mm		My	215,172			
λcy		1,366876998	Fcry	164,6964936	hw	150	mm		1,5 My	322,758			
k		1	cm	168,9830808	Ag	69,67	cm2		Pnadeo Lat tor				
L		1250	cm		Peso	54,69	Kg/m		Mn	-674,797475			
rx		12,35	cm		lx	10626,3	cm4		Mr	173,9307			
ry		12,35			rx	12,35	cm		Cb	1			
					Sx	597,7	cm3		Lb	1250	cm		
					Zx	774,8	cm3		Lp	38,8888889	cm		
Amin		53,57448248			ly	10626,3	cm4		Lr	172,222222	cm		
					ry	12,35	cm		Fr	291			
					1,5Sy	896,55	cm3						
Fcr		164,6964936			Zy	774,8	cm3	Mu=	0,1	kNm	el momento es despreciable		
Fcr		168,9830808			Fy	360							
Fcr		164,6964936			E	200000							
r=	35,35533906												
Pd=	975,3244004	VERDADERO											
columna 2	COMPRESION				FLEXION						SOLICITACION COMBINADA FLEXION Y COMPRESION (CAP H.4.1)		
	Pn=	2480,035	kN	Perfil									
	Pu=	1800	kN	Seccion Tubo	d	150	mm	Mn	Plastificacion				
	Pu/Pn(0,85)	0,853877892		D355,6x6,35	bf	150	mm		Mp	278,928	kNm	<1,5My	0,8542958 <1,0
	λcx	0,16402524	Fcrx	355,9688532	tf	12	mm		My	215,172			
	λcy	0,16402524	Fcry	11734,93617	hw	150	mm		1,5 My	322,758			
	k	1	cm		Ag	69,67	cm2		Pnadeo Lat tor				
	L	150	cm		Peso	54,69	Kg/m		Mn	191,43025			
	rx	12,35	cm		lx	10626,3	cm4		Mr	173,9307			
	ry	12,35			rx	12,35	cm		Cb	1			
					Sx	597,7	cm3		Lb	150	cm		
					Zx	774,8	cm3		Lp	38,8888889	cm		
	Amin	59,48967276			ly	10626,3	cm4		Lr	172,222222	cm		
					ry	12,35	cm		Fr	291			
					1,5Sy	896,55	cm3						
	Fcr	355,9688532			Zy	774,8	cm3	Mu=	0,1		el momento es despreciable		
	Fcr	11734,93617			Fy	360							
Fcr	355,9688532			E	200000								
r=	4,242640687												
Pd=	2108,02975	VERDADERO											

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

Rigidizadores														
COMPRESION				FLEXION				SOLICITACION COMBINADA FLEXION Y COMPRESION (CAP H.4.1)						
cruces de san andres	Pn=	15202,8501	kN	Perfil				Plastificacion						
	Pu=	9150	kN	Seccion Tubo	d	150	mm	Mn	Mp	15082,56	kNm	<1,5My	0,78895969	<1,0
	Pu/Pn(0,85)	0,70807157		D1828,8x12,7	bf	150	mm		My	11761,56				
	lcy	1,1357362	Fcrx	209,813137	tf	12	mm		1,5 My	17642,34				
	lcy	1,1357362	Fcry	244,763782	hw	150	mm							
	k	1	cm		Ag	724,59	cm2		Pnadeo Lat tor					
	L	5400	cm		Peso	568,8	Kg/m		Mn	-209090,921				
	rx	64,21	cm		lx	2987450	cm4		Mr	9507,261				
	ry	64,21	cm		rx	64,21	cm		Cb	1				
					Sx	32671	cm3		Lb	5400	cm			
					Zx	41896	cm3		Lp	38,8888889	cm			
					ly	2987450	cm4		Lr	172,222222	cm			
	Amin	513,061577			ry	64,21	cm		Fr	291				
					1,5Sy	49006,5	cm3							
					Zy	41896	cm3		Mu=	1525		el momento es despreciable		
Fcr	209,813137			Fy	360			Pu =	9150	kN				
Fcr	244,763782			E	200000			Mu=	1525	kNm				
Fcr	209,813137							Vu=	160	kN				
r=	152,735065		Pd=	12922,42256	VERDADERO									

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

ARCO														
ARCO PUENTE	COMPRESION				FLEXION						SOLICITACION COMBINADA FLEXION Y COMPRESION (CAP H.4.1)			
	Pn=	273511,341	KN			Perfil					Plastificacion			
Pu=	130690	KN			SE ADOPTA		mm	Mn		Mp	55978,3768	kNm	<1,5My	0,59103478 <1,0
Pu/Pn(0,85)	0,56214466				UNA		mm			My	44077,4621			
l _{cx}	0,26489541	F _{crx}	595,985192		SECCION EQUIVALENT	e eq	2,54	mm		1,5 My	66116,1931			
l _{cy}	0,26489541	F _{cry}	7670,80966			D eq	6000	mm						
k	1	cm				Ag eq	4589,23	cm ²		Pnadeo Lat tor				
L	3000	cm				Peso eq	7527,60	Kg/m		Mn	4456057,59			
r _x	199,699598	cm				I eq	183018188,10	cm ⁴		Mr	39122,1023			
r _y	199,699598	cm				r eq	199,699598	cm		Cb	1			
						Sx	71816,80806	cm ³		Lb	3000	cm		
						Zx	91207,34624	cm ³		Lp	22,8106444	cm		
						ly	183018188,1	cm ⁴		Lr	11,4053222	cm		
A _{min}	2579,81143					ry	199,699598	cm		Fr	544,748554			
						1,5Sy	107725,2121	cm ³						
						Zy	91207,34624	cm ³		Mu=	160920			
F _{cr}	595,985192					Fy	613,75							
F _{cr}	7670,80966					E	200000			Pu =	9150	kN		
F _{cr}	595,985192									Mu=	1525	kNm		
r=	110,792468	Pd=	232484,64	VERDADERO						Vu=	160	kN		

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

Y a modo de resumen obtenemos el siguiente cuadro:

Cuadro resumen de perfiles		
Ubicación	Perfil	
Sentido transversal	Cordon sup	IPW - 10x45
	Cordon inf	IPW - 6x25
Sentido longitudinal	Cordon sup	IPW - 10x45
	Cordon inf	IPW - 6x25
Diagonales		Tubo de acero - 219,1x 9,53
Rigidizaciones	Arco	Tubo de acero - 1828,8x 12,7
	Tablero	Tubo de acero - 1828,8x 12,7
Columnas Extr.		Tubo de acero - 355,6x 6,35
Arco		A medida

Fundaciones

Se obtienen los resultados del estudio de suelo:

Tensiones del terreno según fórmula del estudio de suelo (Calvente - foja 25)

Profundidad	Radio pilote	σ_{rotura} (s/est. suelo)		σ_{adm} (s/est. suelo)
		kg/cm^2	t/m^2	
Df	R			
cm	cm	kg/cm^2	t/m^2	t/m^2
1500	100	61	610	174,3
1600	100	64,9	649	185,4
1700	100	68,8	688	196,6
1800	100	72,7	727	207,7
1900	100	76,6	766	218,9
2000	100	80,5	805	230,0
2100	100	84,4	844	241,1

Se propone un sistema de fundación superficial, con una altura de fundación de 10m. Con los datos del estudio de suelo se extrapola para obtener la σ_{rotura} a dicha profundidad. Resulta $\sigma_{rotura} = 117,1 t/m^2$.

Primero se prueba una zapata aislada en cada apoyo, resultan de tal dimensión que conviene vincularlas. Se prueba con una zapata corrida.

Se adopta $B = 28m$ y $L = 70m$. Verifica la tensión en el suelo, pero no el Corte por acción de viga en el plano y-x. Se prueba con distintas dimensiones y profundidades, sin verificar en ningún caso.

Se decide modificar la relación luz/flecha, para que las reacciones horizontal y vertical resulten similares. Se adopta una flecha de 102,5m, y una zapata corrida de 50m x 60m. Verifica la

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

tensión en el suelo, el Corte, la Flexión (colocando armadura), y el aplastamiento.

Dimensiones del arco	
luz =	410 m
ancho =	30 m
flecha =	102,5 m

Cargas					
D =	1,45	t/m ²	L =	0,61	t/m ²

Predimensionamiento de las Reacciones					
Ry =	8918	t	Ry =	3750	t
Rx =	8918	t	Rx =	3750	t

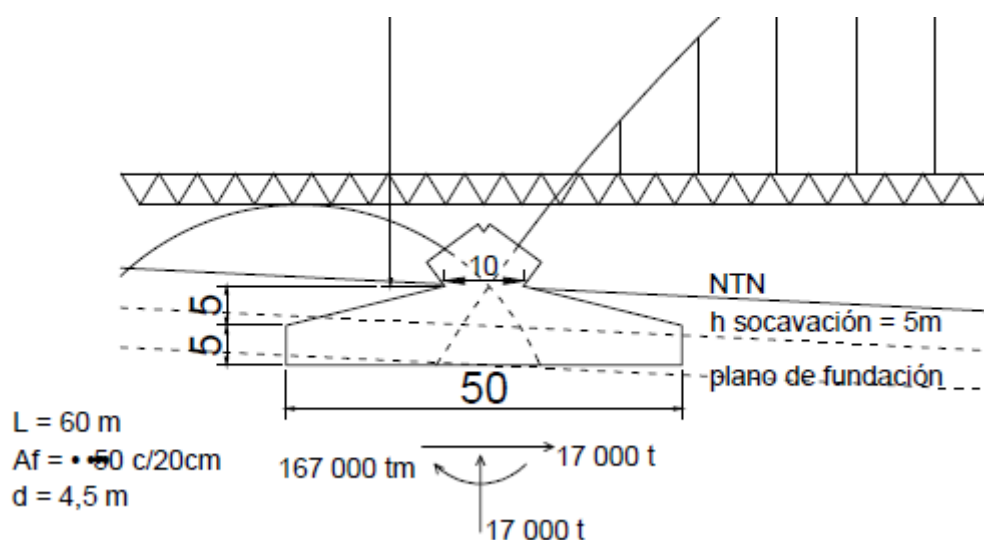
Combinación 1,2D+1,6L		Base			
Ry =	16701	t	B =	50	m
Rx =	16701	t	L =	60	m
			hf =	5	m
			heff =	4,5	m
			hsocavación =	5	m
			D base =	36000	t
			H° =	30	MPa
			e =	10	m
			a =	15	m
			Área eff =	1800	m ²
				60%	
			σ eff =	9,28	t/m ²

Verificación al Corte					
Acción de Viga					
Plano y-x		Plano y-z			
Vu =	13918	t	Vu =	13918	t
Vc =	20540	t	Vc =	24648	t
φ =	0,75		φ =	0,75	
Vd =	15405	t	Vd =	18486	t
Acción de Losa					
Vu =	13075	t			
Vc =	58576	t			
bo =	34	m			
Vs =	0	t			
	cant	60			
	φ =		mm		
	As =	0,00	cm ²		
	separación =	0,563	m		
φ =	0,75				
Vd =	43932	t			

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

Verificación a Flexión														
Plano y-x					Plano y-z									
Mu =	111340,00	tm/m			Mu =	144973,96	tm/m			Mu =	116754,00	tm/m		
Mn =	185542,21	tm/m			Mn =	185542,21	tm/m			Mn =	185542,21	tm/m		
As =	98,17	cm ² /m			As =	98,17	cm ² /m			As =	98,17	cm ² /m		
	cant	5	1/m			cant	5				cant	5		
	φ =	50	mm/m			φ =	50	mm			φ =	50	mm	
	separación =	0,20	m/m			separación =	0,20	m			separación =	0,20	m	
φ =	0,9				φ =	0,9				φ =	0,9			
Md =	166987,99	tm/m			Md =	166987,99	tm/m			Md =	166987,99	tm/m		

Verificación Aplastamiento	
Pu =	16701 t
φ =	0,65
Pn =	510000 t
A1 = área columna	100,00 m ²
A2 = área proyectada	
raiz(A1/A2) =	máx 2



Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

Sistema constructivo

Para acceder al sitio donde se emplazará la obra es necesario realizarlo por un camino no pavimentado, el cual se indica a continuación:



Al tratarse de una zona alejada, no debemos realizar cortes de tránsito o de servicio de ningún tipo.

La problemática más grande a la que nos enfrentaremos será el traslado de los materiales hacia dicho lugar.

Planteamos ahora una serie de pasos del sistema constructivo:

- 1) Realizar el pedido de las piezas metálicas a emplear. Las secciones del arco deben realizarse a medida ya que están curvadas
- 2) Preparación del terreno e instalación del obrador. Al ser una obra alejada de la ciudad, se propone contratar gente local asentada en la villa potrerillos.
- 3) En el obrador, instalar una planta de hormigón, exigiendo una calidad $f'c = 30\text{MPa}$
- 4) Excavación de cimentaciones. Debido a que las mismas estarán en las márgenes del río, se propone hacerlas en los meses de invierno debido al nivel del embalse.
- 5) Construcción de terraplenes de contención para mantener un área seca donde se pueda operar con maquinaria.
- 6) Armado de armadura de bases. Encofrado de la sección de ménsulas.
- 7) Hormigonado de las bases. Debido a las dimensiones masivas de las mismas, se propone el hormigonado por capas de no más de 50 cm de espesor.
- 8) Construcción de torretas o pilotes de sostén de las piezas del arco, desde las mismas bases del arco.

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

- 9) Construcción de bases para el anclaje extras.
- 10) Hormigonado de las bases. Debido a las dimensiones masivas de las mismas, se propone el hormigonado por capas de no más de 50 cm de espesor.
- 11) Inserción de perfil metálico del arco durante el hormigonado de la ménsula.
- 12) Los tramos metálicos del arco se irán acoplado mediante una grúa de brazo extensible, colocándola en su lugar. Sera sostenida por tensores hacia las torretas y de las mismas saldrán tensores hacia las bases alejadas. Los arcos se sueldan in situ con una soldadura continua por el lado externo y luego se hormigonan con bomba. Se repite el procedimiento desde ambos lados hasta concluir con el ensamblaje del arco.
- 13) Si bien no se plantea armadura por el interior del arco, para asegurar continuidad entre las distintas etapas de hormigonado colocaremos hierros de espera.
- 14) Armado de la estereoestructura en módulos de 30x30m². Colocación simultánea desde ambos lados con grúas de brazo extensible y colocación de tensores. Siguiendo esta metodología, quedaran un total de 32 módulos, siendo unidos entre sí por soldaduras in situ.
- 15) Luego de completo ensamblaje de la estereoestructura, se procede a la colocación de las losas huecas de PREAR, y una capa de compresión superior de hormigón de 5 cm.
- 16) La carpeta de rodamiento, sobre la capa de compresión, será asfáltica y de 7 cm de espesor. La misma será construida en el tramo central, dejando lugar a las barandas y veredas laterales.
- 17) La obra muerta a realizar luego del pavimentado, será: construcción de veredas, colocación de new jerseys y barandas laterales e instalación de luminaria y señalización vial.
- 18) Luego de la finalización de la obra muerta, se ejecuta un tráfico de prueba a cargo de la empresa constructora.
- 19) Se procede al desarmado del terraplén de contención (si no estamos en época de baja, esperar al invierno).
- 20) Limpieza y repavimentado de los caminos de las márgenes.
- 21) Habilitación del tránsito al publico

Propuesta alternativa

Lo anterior expuesto corresponde a un proceso constructivo conforme al cálculo efectuado durante el cursado, pudiendo no ser la forma más óptima en cuando a tiempos de construcción.

Se propone una forma alterna de construcción, partiendo del punto 8, la cual se centra en la construcción del arco, estereoestructura y losa al mismo tiempo.

Para poder llevar a cabo esta alternativa, se deberían verificar las solicitaciones durante el izaje de los elementos.

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

Cómputo y presupuesto

Una vez realizado el dimensionado íntegro de la estructura, pasamos a detallar la cantidad de material necesaria para el armado del proyecto

Se utilizan planillas de cómputo Excel, con precios estimados de internet.

Las mismas se refieren a precios unitarios de los materiales, los cuales se consideran:

Materiales	Precio unitario
H-30	15000 \$/m ³
H-60	30000 \$/m ³
F36	5 \$USD/kg
ADN 420	3 \$/kg
Placa hueca PREAR	2000 \$/m ²
Baranda	500 \$/m
Luminaria	30000 % c/u
New Jersey	5000 \$/m
Vereda	400 \$/m ²

Una vez determinados los precios unitarios de los materiales, calculando la cantidad total necesaria de cada uno obtenemos las siguientes planillas:

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural
Bernal – Fratter - Cardozo		

ESTEREO- ESTRUCTURA	Designacion	distancia tot	N lineas	peso	Peso total
		[m]	()	[kg/m]	[kg]
Sentido longitudinal	Cord. Sup	360	11	37	146520,00
	Cord. Inf	360	11	67	265320,00
Sentido transversal	Cord. Sup	30	72	37	79920,00
	Cord. Inf	30	72	67	144720,00
Diagonales	Tipo 1	8,66	1420	57	700941,00
	Tipo 2	5,6	710	57	226632,00
Columnas Extr	Tipo 1	1,5	2	54,69	165,00
	Tipo 2	12,5	2	54,69	1368,00
Rigidizadores	Transversal	11,5	8	330,71	30426,00
	Diagonal	33	8	330,71	87308,00
	Cruces San Andres	55	4	568,8	125136,00
W(tot)					1808456,00
Precio tot [USD]					\$ 9.042.280,00

ARCO	Area	Distancia total	N lineas	peso	Peso total	Precio unit	Precio Tot
	[m2]	[m]	()	[kg/m]	[kg]	s/ item	[U\$D]
Acero	0,069315189	550	2	544,8173875	599299,1262	\$ 2.996.496,00	\$ 35.116.038,00
Hormigon	2,335966686	550	2	5839,916715	6423908,387	\$ 32.119.542,00	

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

BASES		L	b	h	Cantidad	Volumen	Precio unit	Precio Tot	Peso total
		[m]	[m]	[m]	()	[m3]	[\$/m3]	[\$]	[Kg]
	Zapata cuadrada	70	18	5	2	12600	252000000	\$ 356.400.000,00	30.240.000,00
	mensula	29	6	10	4	3480	104400000		8.352.000,00
							[USD]	\$ 5.940.000,00	38.592.000,00

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

TENSORES	Designación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Long [m]	3	7,42	11,5	15,25	18,66	21,76	24,55	27,02	29,21	31,08	32,67	33,96	34,96	35,68	36,1	36,25
	Long [%]	0,082758621	0,204689655	0,317241379	0,420689655	0,514758621	0,600275862	0,677241379	0,74537931	0,805793103	0,85737931	0,90124138	0,93682759	0,96441379	0,98427586	0,99586207	1
	cant C1900	6	15	23	30	37	43	48	53	57	61	64	66	68	69	70	70
	Área [cm2]	9	22,5	34,5	45	55,5	64,5	72	79,5	85,5	91,5	96	99	102	103,5	105	105
	f [cm]	3,386	5,353	6,627	7,569	8,406	9,062	9,574	10,06	10,433	10,793	11,055	11,227	11,396	11,479	11,562	11,562
	K [t/cm]	57	57,615	57,000	56,066	56,511	56,319	55,723	55,903	55,615	55,936	55,831	55,389	55,435	55,115	55,263	55,034
	Volumen [m3]	0,0027	0,016695	0,039675	0,068625	0,103563	0,140352	0,17676	0,214809	0,2497455	0,284382	0,313632	0,336204	0,356592	0,369288	0,37905	0,380625
	Peso [kg]	21,222	131,2227	311,8455	539,3925	814,00518	1103,16672	1389,3336	1688,39874	1962,99963	2235,24252	2465,14752	2642,56344	2802,81312	2902,60368	2979,333	2991,7125
	Precio [USD]	\$ 106,11	\$ 656,11	\$ 1.559,23	\$ 2.696,96	\$ 4.070,03	\$ 5.515,83	\$ 6.946,67	\$ 8.441,99	\$ 9.815,00	\$ 11.176,21	\$ 12.325,74	\$ 13.212,82	\$ 14.014,07	\$ 14.513,02	\$ 14.896,67	\$ 14.958,56
Precio total [USD]	\$ 539.621,00																

TABLERO		L	b	e	Cantidad	Volumen	Precio unit	Precio Tot	Precio Tot	Peso total
		[m]	[m]	[m]	()	[m3]	[\$/m2]o [\$/m3]	[\$]	[usd]	[Kg]
	Losa hueca PREAR	5	1,2	-	1800		3600000	\$ 3.600.000,00	\$ 55.384,62	3.780.000,00
	H° compresion	360	30	0,05		540	20000	\$ 10.800.000,00	\$ 166.153,85	1.296.000,00
	Asfalto	360	30	0,05		540	1500	\$ 16.200.000,00	\$ 249.230,77	1.296.000,00
								\$ 30.600.000,00	\$ 470.769,23	6.372.000,00

OBRA MUERTA		Pecio total	Pecio total	Pecio total
		[\$]	[\$]	[usd]
	Luminaria	1.080.000,00	\$ 4.644.000,00	\$ 71.446,15
	barrera	1.800.000,00		
	baranda	900.000,00		
vereda	864.000,00			

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

Considerando los precios de los materiales y suponiendo en base a ellos los precios de mano de obra y beneficios, tenemos:

COSTO TOTAL MATERIALES	\$	50.092.770,00	[USD]
COSTO TOTAL MATERIALES (SIN BASES)		15.230.645,00	[kg]
PESO TOTAL MATERIALES (SIN BASES) / m ²		1410,24	[kg/m ²]
COSTO TOTAL MANO DE OBRA (PORCENTAJE DEL COSTO MAT.)		60%	
COSTO BENEFICIOS (PORCENTAJE COSTO MAT.)		10%	
COSTO TOTAL OBRA	\$	85.157.709,00	

Conclusión

A modo de conclusión se resalta que:

- El Proyecto es aún plausible de mejoras, quizá con un segundo cálculo, en base al primero ya se podrían definir el diseño estructural óptimo. Aunque se considera que no está muy alejado del logrado hasta aquí.
- Desde el punto de vista estructural: una de las mejoras concretas es lograr aprovechar todo el tablero como tensor del arco y así evitar las grandes reacciones horizontales que se generan en las bases. Otro beneficio aparejado es que se podría materializar el puente simplemente apoyado (isoestático) y así evitar las cargas por temperatura.
- Otra mejora es elevar un poco la relación luz/flecha, y así también lograr disminuir la reacción horizontal.
- Desde un punto de vista económico: el ítem bases resultó ser el de mayor incidencia con respecto al costo total. Luego, la ubicación del proyecto estaría más sujeto a las condiciones del suelo del lugar que al perfil geométrico disponible. Por otro lado, es muy justificable el planteo de otras alternativas del sistema de fundaciones, por ejemplo, fundación profunda con pozos y vigas de vinculación.
- Finalmente, desde un punto de vista social, se considera que el proyecto goza de muy buena aceptación y factibilidad.

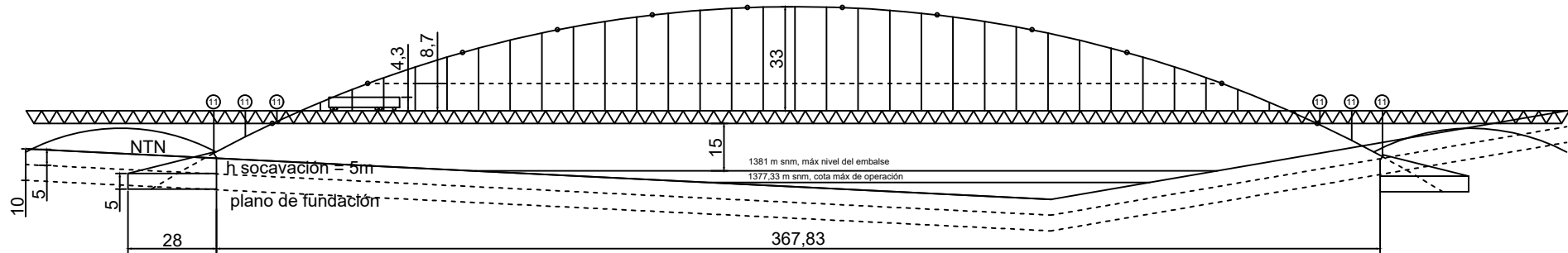
Correcciones:

1. El ángulo de los rigidizadores K es muy agudo, casi paralelo a los arcos. Ver si no conviene colocar solo travesaños.
2. Hacer modelo simple, y hacer trabajar al tablero como tensor.
3. El factor de participación f_1 de la carga L para la combinación con sismo no es 0,2. Buscar valor en CIRSOC 801, cerca de 0,5 en sentido transversal y 0,2 en sentido longitudinal.
4. Falta análisis de sismo en sentido longitudinal.
5. Colocar el tipo de tensiones que se muestran en las placas.

Trabajo Final: Puente en Arco	- 2019 -	UNCuyo
Bernal – Fratter - Cardozo		Facultad de Ingeniería Cátedra: Diseño Estructural

6. El coeficiente de impacto sí tiene incidencia en las placas localmente.
7. Fundaciones, si utilizo área efectiva el momento no genera tensiones porque estoy trasladando la fuerza al baricentro del área efectiva.

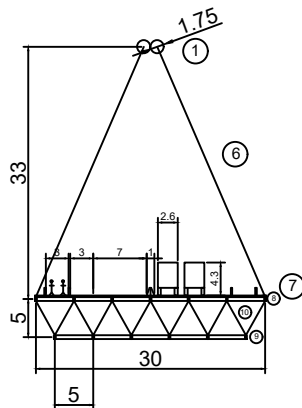
CORTE B-B



PLANILLA:

Designación	Tensores															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
cant C1900	6	15	23	30	37	43	48	53	57	61	64	66	68	69	70	70

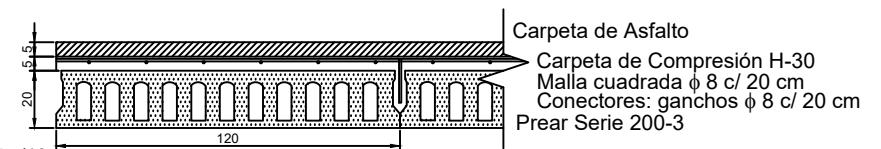
CORTE A-A



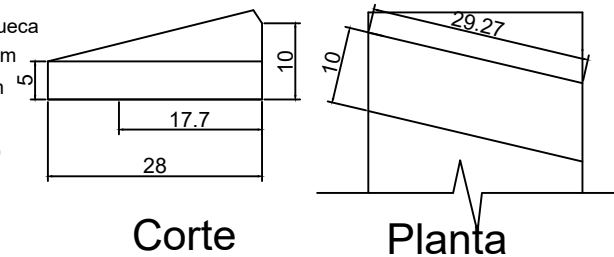
REFERENCIAS:

- ① Arco Mixta: Circular f36 1.75 m x 1.25", relleno de H-30
- ② Rigidizadores K Circular f36 1219.2 x 11.10 mm
- ③ Cruces San Andrés Circular f36 1828.8 x 12.70 mm
- ④ Ménsula H°A°: H-30 y ADN420, Af = ϕ 8 c/40cm, An = ϕ 25 c/10cm
- ⑤ Fundación H°A°: H-30 y ADN420, 28x70 m
- ⑥ Tensores Acindar C1900
- ⑦ Tablero Estereo Estructura con Placa hueca
- ⑧ Cordón Superior f36 IPW 6 x 25 mm
- ⑨ Cordón Inferior f36 IPW 10 x 45 mm
- ⑩ Diagonal f36 Circular 219.1 x 9.53 mm
- ⑪ Columnas debajo del tablero f36 Circular 355.6 x 6.35 mm

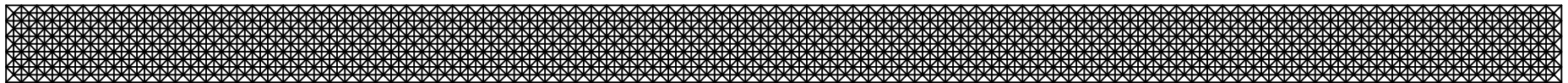
DETALLE LOSA DE TABLERO:



DETALLE MÉNSULA:



PLANTA TABLERO



PLANTA

