



Conferencia Delegación Colombiana



Preansa

Tipología estructural de puentes carreteros chilenos

Ing. Jose Luis Seguel

Enero 2016
Santiago, Chile

Temario

- 1. Diseño puentes chilenos
- 2. Estructura típica
- 3. Pasarelas peatonales
- 4. Aislación sísmica
- 5. Puentes singulares



1. Diseño Puentes Chilenos

Característica de Chile:

- Largo (mas de 4.300 km) y angosto (ancho promedio 177 km).
- 2 cordilleras existentes: de los Andes (oriente) y de la Costa (poniente) + depresión intermedia (centro).
- Distintas características geográficas de norte a sur de Chile.
- Ríos manejables en zona central, con grandes crecidas.

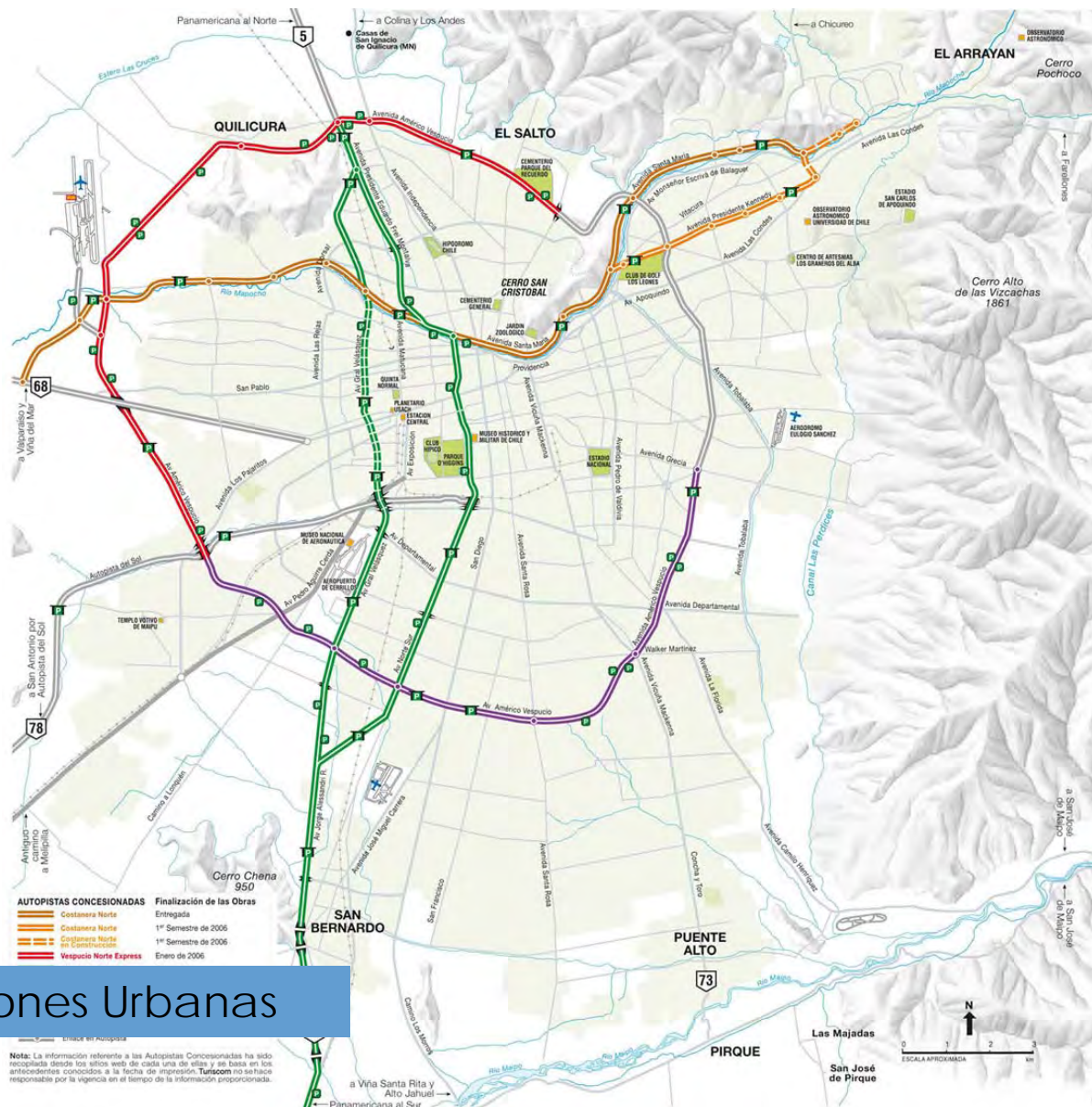




1. Diseño Puentes Chilenos

Ubicación de principales puentes

- Carretera Panamericana: Ruta 5
- Otras carreteras principales: Ruta 1, Ruta 7
- Concesiones urbanas Santiago:
 - AC, VN, CN, VS
- Concesiones rurales
 - Rutas longitudinales en Ruta 5
 - Rutas transversales:
 - R68, R78, Los Libertadores, etc.
- Otros caminos importantes en Chile.



Concesiones Urbanas

1. Diseño Puentes Chilenos

Puentes en Chile

Cantidad = 12.000 a 12.500 aprox.

Pasos desnivel y pasarelas = 4.750 a 5.000

Puentes = 7.250 a 7.500

Puente MOP = 6.800 a 6.950

Puentes Concesiones = 450 a 550

(no se consideran puentes bajo tuición Serviu, EFE y otros particulares)

Fuente: Puente para Chile 2020. MOP, año 2009.

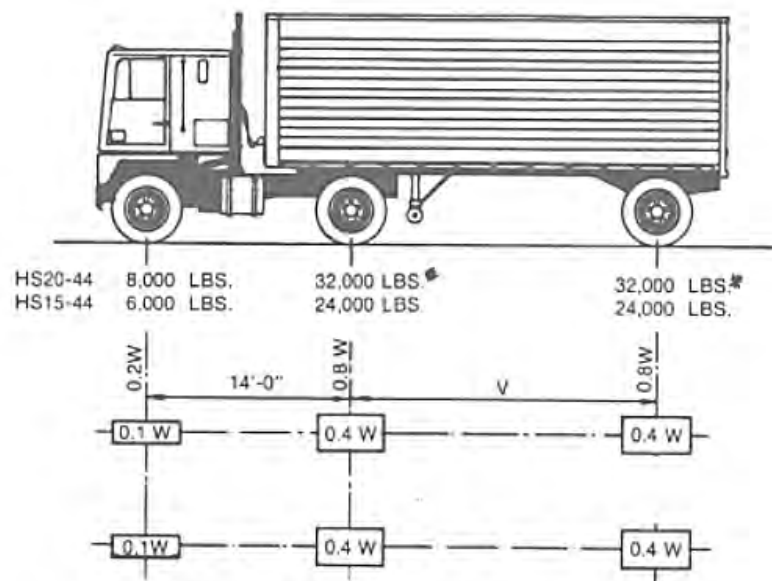
1. Diseño Puentes Chilenos

- AASHTO "Standard Specifications for Highway Bridges" 2002, 17th Edition.
- AASHTO "LRFD Bridge Design Specifications" 2007, 4th Edition.
- Manual de Carreteras Volumen 3 y Volumen 4. Dirección de Vialidad, MOP Chile. 2015
- "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary" ACI 318-05.
- "Nuevos Criterios Sísmicos para el Diseño de Puentes en Chile". Departamento de Proyectos de Estructuras, MOP. 2010.

1. Diseño Puentes Chilenos

Carga Móvil

- Camión AASHTO: HS 20-44 + 20 %
- Camión AASHTO LRFD: HL 93



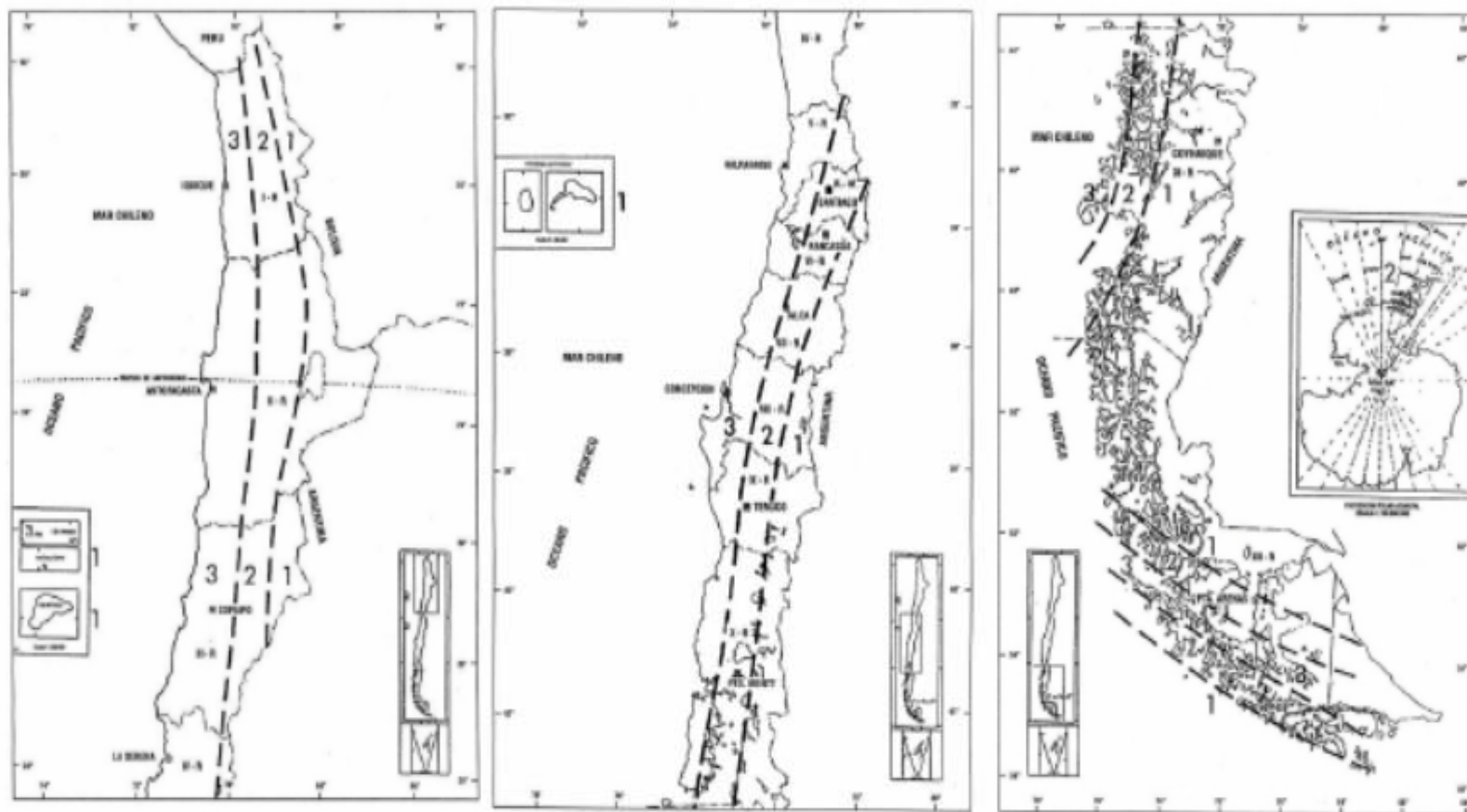
1. Diseño Puentes Chilenos

Filosofía Diseño Sísmico:

- Sismos pequeños: estructuras sin daños.
- Sismos mediana intensidad: daños solo en elementos no estructurales.
- Sismo gran intensidad: Daños en la estructura, pero sin colapso.

1. Diseño Puentes Chilenos

- Métodos de calculo (los 3 principales)
 - Método coeficiente sísmico
 - Método coeficiente sísmico modificado por respuesta elástica
 - Método Modal espectral
- Zonas Sísmicas chilenas: I, II y III
- Espectros definidos en Manual de Carreteras; alternatively, se realizan “Estudio de Riesgos Sísmicos” (se obtiene espectro de diseño)
- Programa de cálculo SAP2000



Zonas sísmicas en Chile

Zona Sísmica	a_g	A_g
1	0,30g	0,20g
2	0,40g	0,30g
3	0,50g	0,40g

1. Diseño Puentes Chilenos

Hidráulica e Hidrología

- Periodo retorno $T = 200$ años
- Revancha 1.0 m sobre nivel aguas máxima
- Socavación Total = general + local
- Combinación de carga = Sismo + 100% socavación total

1. Diseño Puentes Chilenos

Proyectos

- Revisión de los proyectos por el Departamento de Estructuras, MOP.
- Proyectos deben ser firmado por un ingeniero civil chileno.
- Entrega al MOP de memorias de calculo, planos, modelos de cálculo y especificaciones técnicas.

2. Estructura Típica

Las estructuras viales más comunes en Chile corresponde a **Puentes con vigas longitudinales**, con losa colaborante de hormigón armado, de 1 o más tramos, simplemente apoyadas.

Las vigas longitudinales por lo general son:

- Vigas prefabricadas pretensadas
- Vigas postensadas
- Vigas de acero

2. Estructura Típica

Características principales:

- Luces entre 15.0 m a 48.0 m
- Número de tramos: variable, desde 1 tramo
- Alturas de vigas de 0.70 m a 2.50 m
- Separación entre vigas entre 1.5 m y 3.7 m (existen casos con valores menores: vigas sin separación entre las alas, y mayores).
- Espesor losa colaborante: 20 cm mínimo
- Pavimento de asfalto: 5 cm mínimo

2. Estructura Típica

Características principales:

- Uso de placas de apoyo bajo las vigas (Gestático = 10 kg/cm²; Gsísmico = 13 kg/cm²)
- Junta de dilatación entre tramos (desplazamiento longitudinal 5.0 a 10.0 cm)
- Alternativamente, loseta de continuidad cada 3 o 4 tramos (máximo 160 m aprox.)
- Barras antisísmicas (sismo vertical).
- Facilidad constructiva por repetición de labores (todos los tramos iguales).

2. Estructura Típica

Características principales:

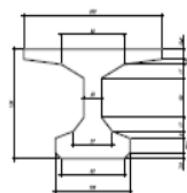
- Materiales más comunes:
 - Hormigón losa: H30 NCh 170 ($f'c=250 \text{ kg/cm}^2$)
 - Hormigón Viga: H40 a H55 NCh 170
 - Acero pretensado 270 ksi baja relajación ($f_{pu}=18980 \text{ kgf/cm}^2$)
 - Acero hormigón armado: A630-420H NCh 204 ($f_y=2400 \text{ kg/cm}^2$)
 - Acero estructural: ASTM A36, A572 Gr 50

2. Estructura Típica

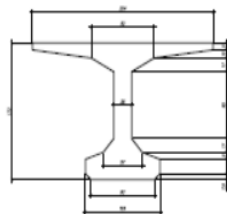
Características principales:

- Vigas pre o postensadas:
 - Tramos simplemente apoyados.
 - Construcción en planta prefabricados o in situ.
 - Mayor peso (montaje, transporte)
 - Transporte especial para luces mayores.
 - Para pretensados, sección transversales predefinidas por fabricantes.

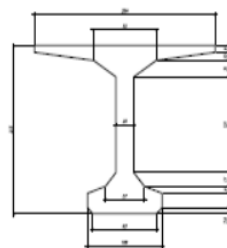
GEOMETRIA VIGAS PRETENSADAS



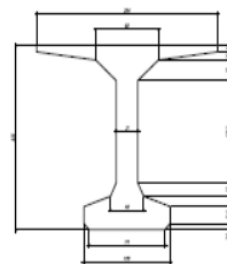
DEFINICION GEOMETRICA
VIGA RN-80
0.836 T/m
ESC: 1/20



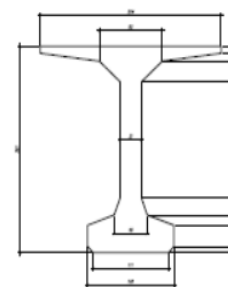
DEFINICION GEOMETRICA
VIGA RN-100
0.966 T/m
ESC: 1/20



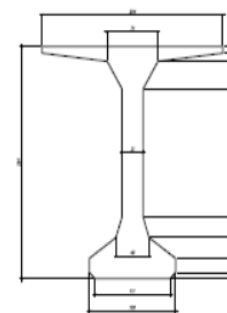
DEFINICION GEOMETRICA
VIGA RN-123
1.062 T/m
ESC: 1/20



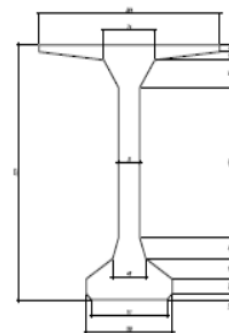
DEFINICION GEOMETRICA
VIGA RN-135
1.272 T/m
ESC: 1/20



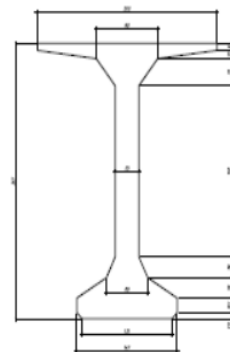
DEFINICION GEOMETRICA
VIGA RN-151
1.388 T/m
ESC: 1/20



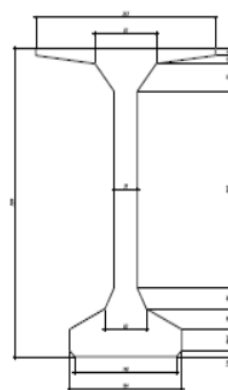
DEFINICION GEOMETRICA
VIGA RN-170
1.458 T/m
ESC: 1/20



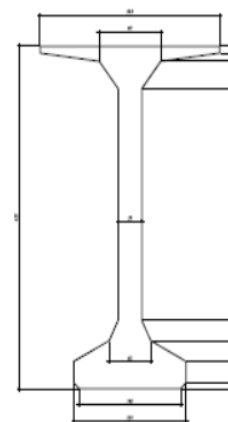
DEFINICION GEOMETRICA
VIGA RN-186
1.53 T/m
ESC: 1/20



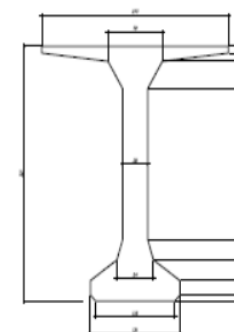
DEFINICION GEOMETRICA
VIGA RN-201
1.790 T/m
ESC: 1/20



DEFINICION GEOMETRICA
VIGA RN-225
2.060 T/m
ESC: 1/20



DEFINICION GEOMETRICA
VIGA RN-250
2.185 T/m
ESC: 1/20



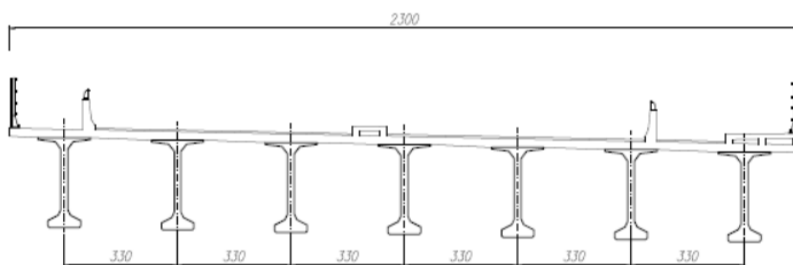
DEFINICION GEOMETRICA
VIGA RN-186 ESPECIAL (ANCHA)
ESC: 1/20

Secciones transversales vigas

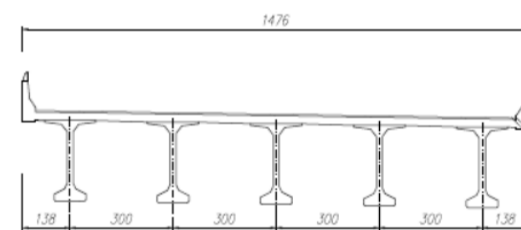
2.Estructura Típica

Características principales:

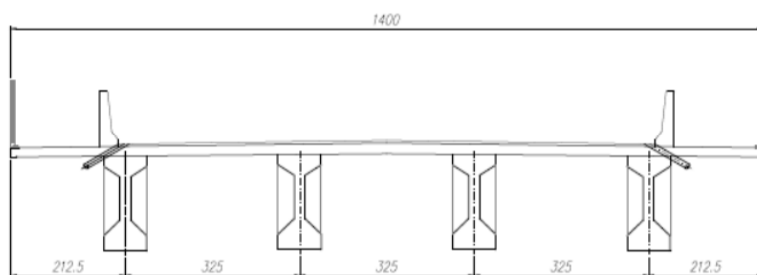
- Vigas de acero:
 - Tramos simplemente apoyados, tramos continuos, tramos con inercia variable.
 - Luces más largas
 - Menor peso de viga (tablero mas livianos)
 - Se pueden transportar por secciones
 - Construcción en maestranza
 - Precio del acero relevante (variable)



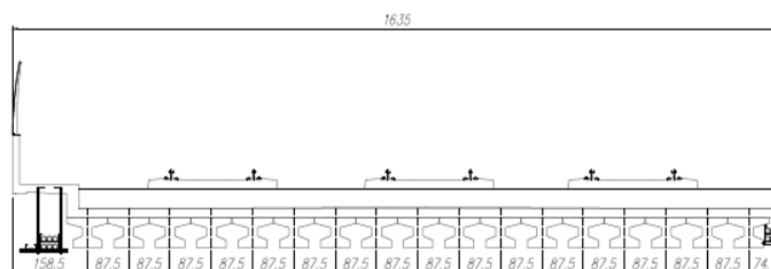
SECCION TABLERO VIGAS PRETENSADAS (7 VIGAS)



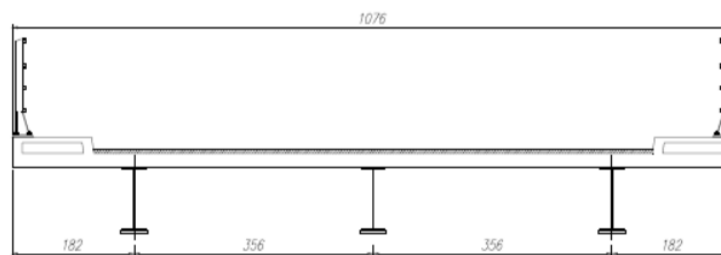
SECCION TABLERO VIGAS PRETENSADAS (5 VIGAS)



SECCION TABLERO VIGAS POSTENSADAS (4 VIGAS)



SECCION TABLERO FERROVIARIO VIGAS POSTENSADAS



SECCION TABLERO VIGAS DE ACERO

Tableros tipos



Puente Quilimari Oriente, IV R



Puente Cachapoal, VI R



Puente Pilmaiquén, X R



Puente Antivero, VII R



Puente Llacolén, VIII R



Puente Longaví, VII R



Puente Mafil 3, X R



Puente Patricio Ríos Oriente, X R



Puente San Pedro, X R



P.I. Loreto, Ruta 78, V R



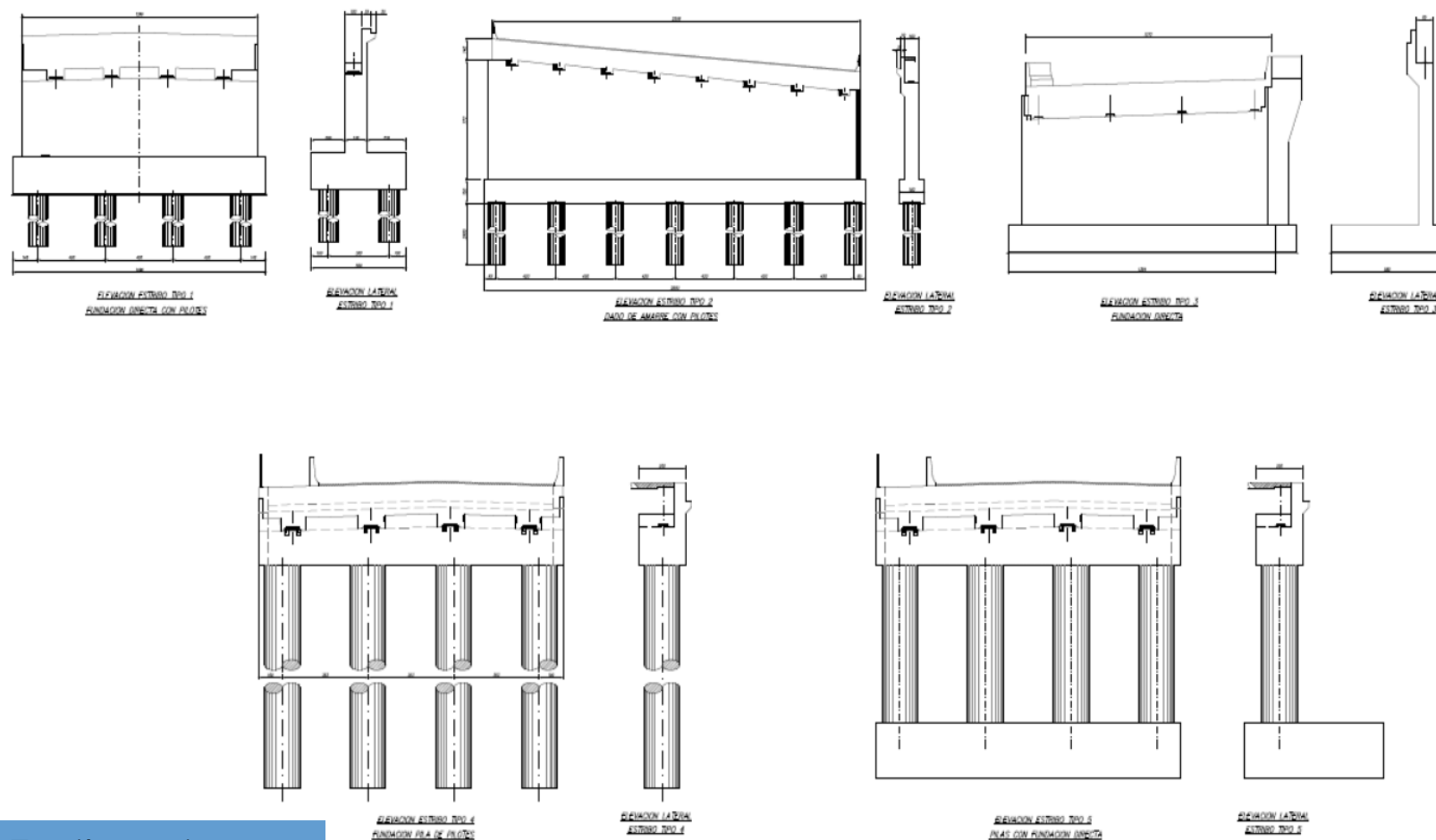
Puente Tranapunte, IX R



2.Estructura Típica

Tipos de Estribos:

- Muros llenos:
 - Muros alas 90°
 - Muros alas 180°
- Estribos transparente
 - Con o sin muros de contención
- Muros cargaderos
- Pila pilote



Estribos tipos



P.I 2da Transversal, VS, RM



P.S. Acceso Nor Oriente en R5, RM

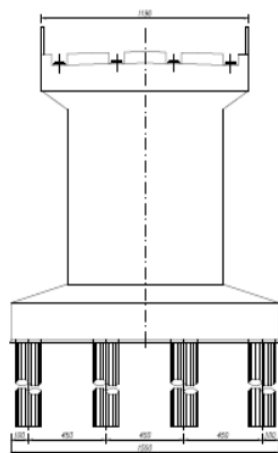


P.S. Atravieso FFCC, Ruta 160, VIII R

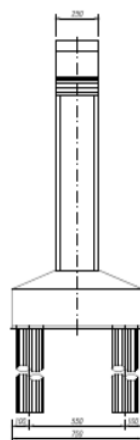
2.Estructura Típica

Tipos de Cepas:

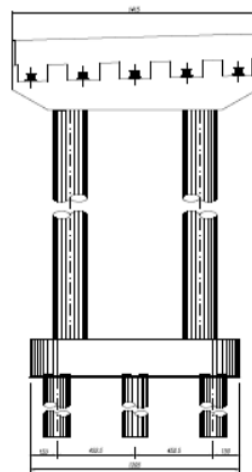
- Muros llenos
- Marcos
- Columnas
- Pila pilotes



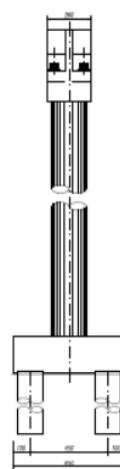
ELEVACION CEPAS TIPO 1



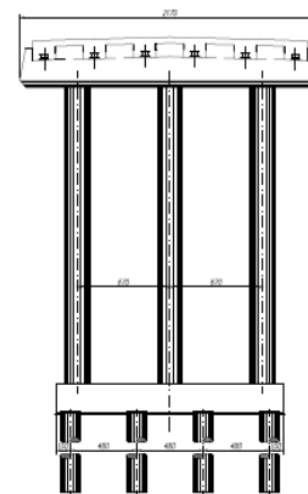
ELEVACION LATERAL CEPAS TIPO 1



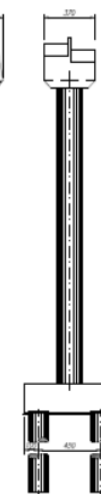
ELEVACION CEPAS TIPO 2



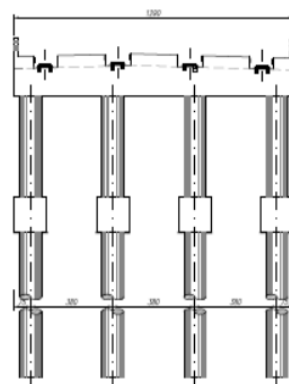
ELEVACION LATERAL CEPAS TIPO 2



ELEVACION CEPAS TIPO 3



ELEVACION LATERAL CEPAS TIPO 3

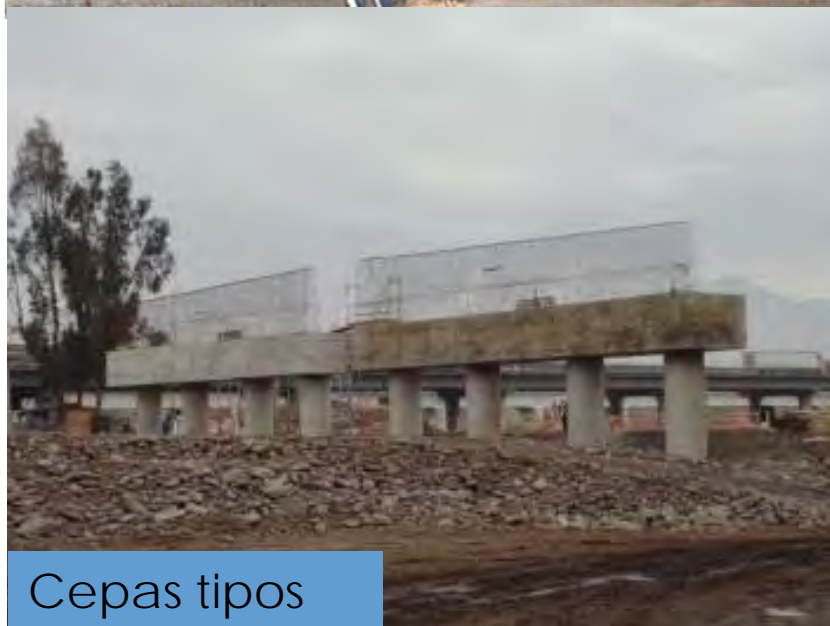


ELEVACION CEPAS TIPO 4



ELEVACION LATERAL CEPAS TIPO 4

Cepas tipos



Cepas tipos

3. Pasarelas Peatonales

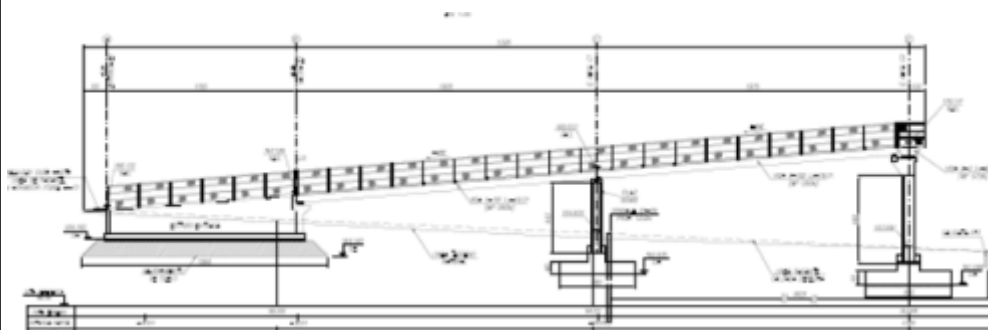
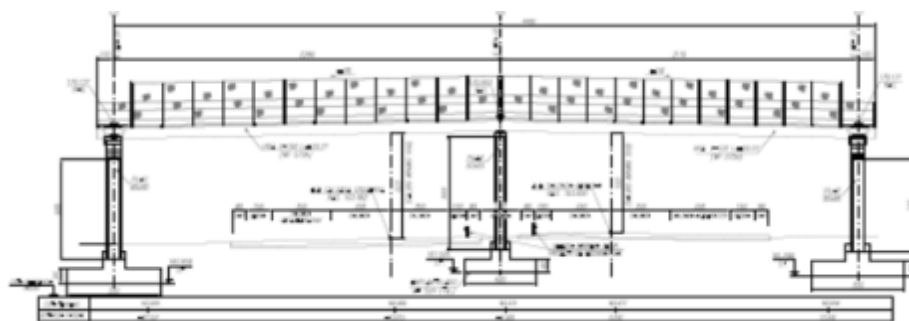
Características:

- Vigas pretensadas, tipo cajón
- Largos entre 10.0 a 40.0 m
- Ancho libre 2.0 m
- Alturas entre 0.45 m a 1.60 m
- Pendiente rampa 8%
- Carga peatonal: 415 kg/m² AASHTO Standard; 440 kg/m² AASHTO LRFD.
- Continuidad en todos los tramos con loseta
- Junta de dilatación en estribos

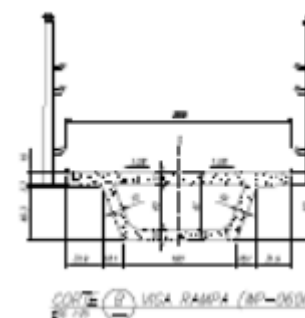
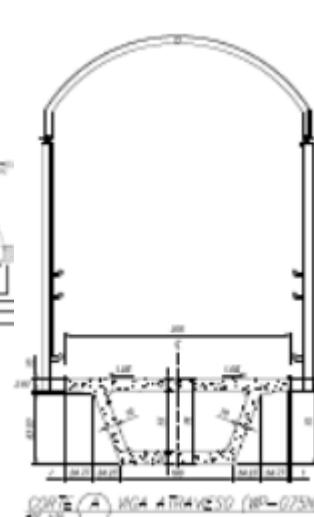
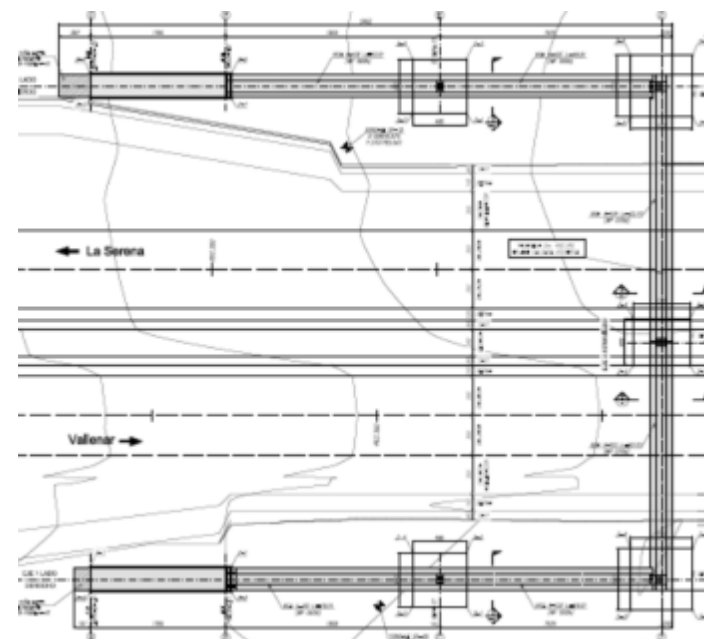
3. Pasarelas Peatonales

Características:

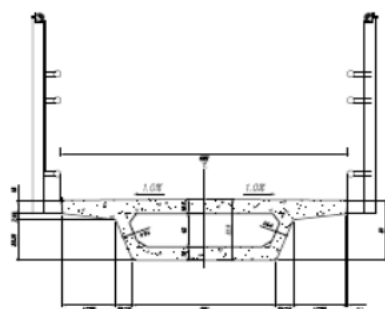
- Análisis dinámico: modal espectral
- Pilares prefabricados
- Fundaciones in situ (directa , o con pilote)
- Otras tipologías: vigas doble t pretensadas, vigas doble de acero, vigas continuas postensadas.



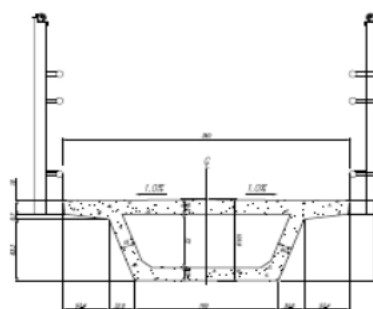
Pasarela prefabricada tipo



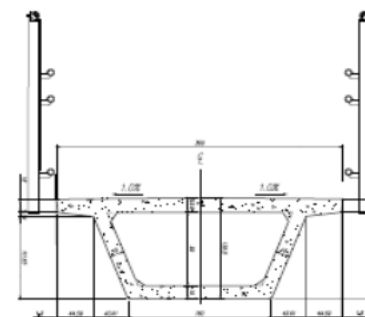
GEOMETRIA VIGAS PRETENSADAS (PASARELAS PEATONALES)



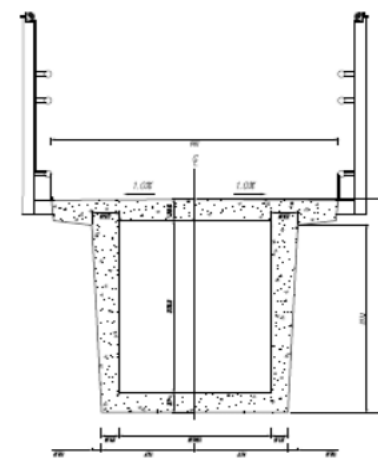
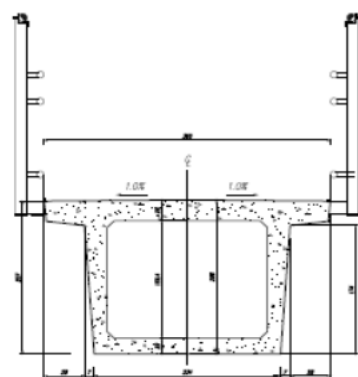
VIGA PRETENSADA (WP-045N)
ESC. 1:25



VIGA PRETENSADA (WP-060N)
ESC. 1:25



VIGA PRETENSADA (WP-75N)
ESC. 1:30



VIGA PRETENSADA (H=160)
ESC. 1:25

Secciones transversales pasarelas

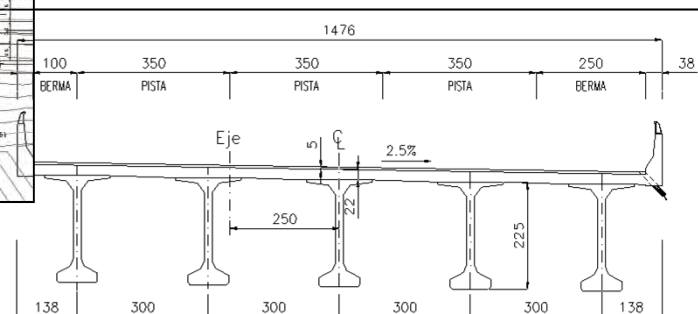


Varios tipos de pasarelas

4. Aislación Sísmica

Puente Rio Claro Poniente, VII R. 2011

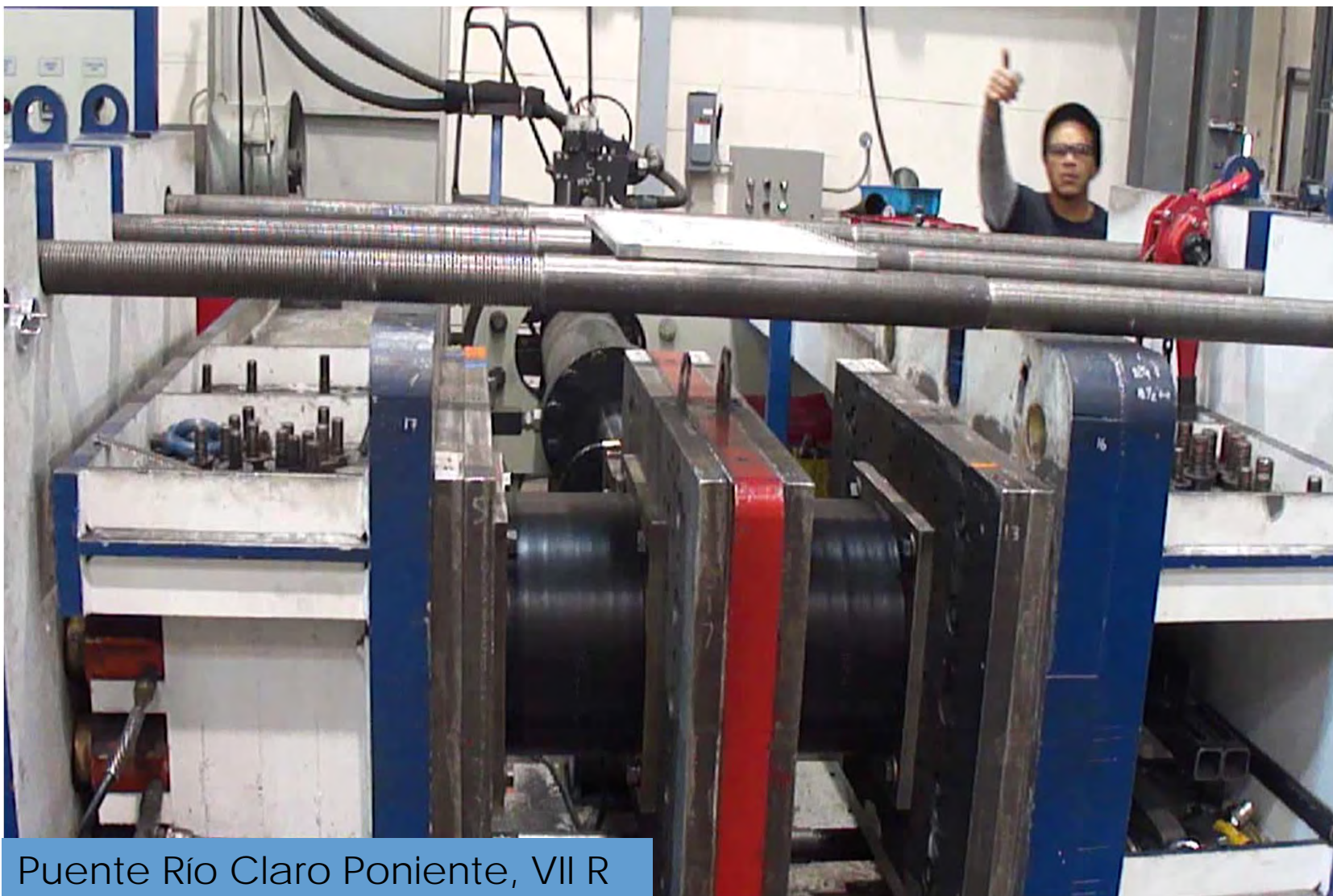
- Longitud 124.50 m, en 3 tramos
- Ancho tablero 14.76 m, con vigas pretensadas, simplemente apoyadas, 2.25 m altura y separación 3.00 m.
- Altura de cepas, 21.50 m aprox.
- Loseta de continuidad sobre cepas
- Suelo tipo II; zona sísmica 3
- Socavación total = 4.36 m aprox. (100% de la socavación según PSS Manual de Carreteras Vol. 3)



info@jlsingenieria.cl



Puente Río Claro Poniente, VII R



Puente Río Claro Poniente, VII R

4. Aislación Sísmica

Puente Río Claro Poniente, VII R. 2011

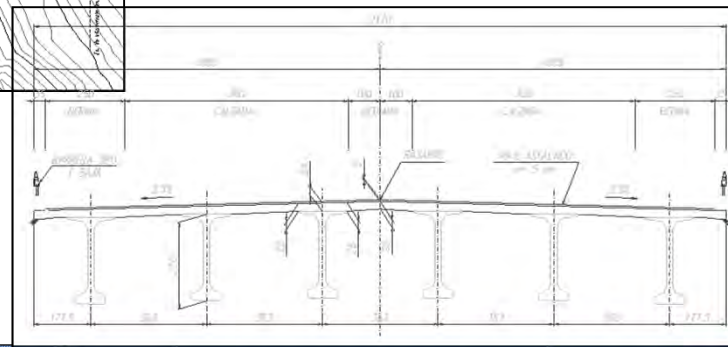
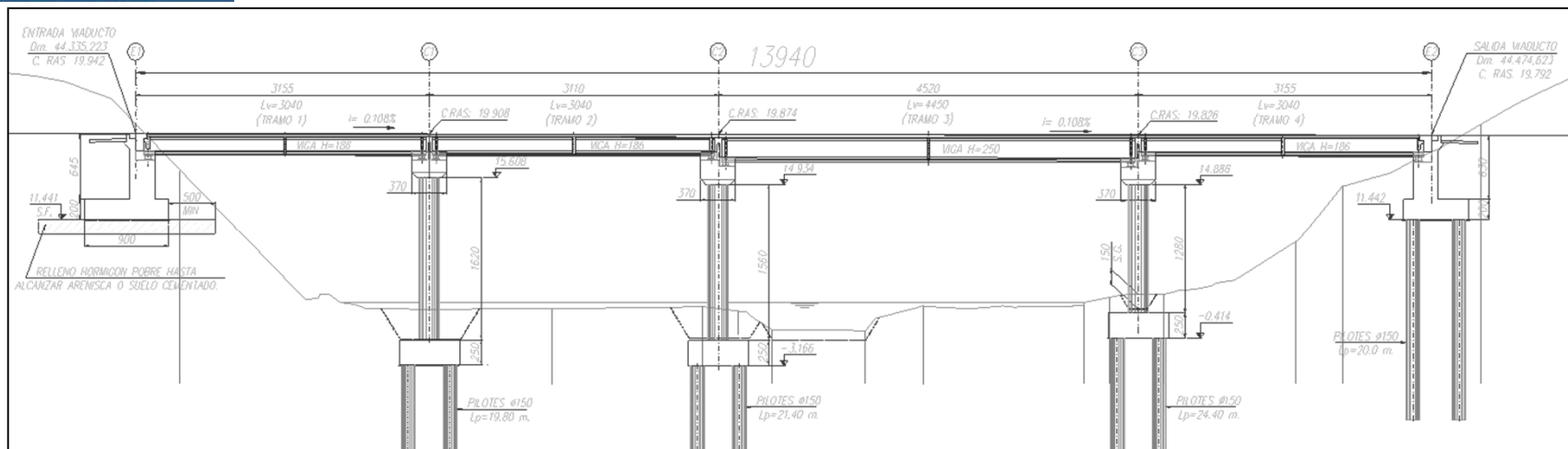
Comparación resultados con y sin Aislación Sísmica
Puente Río Claro Poniente:

	SIN AISLACION	CON AISLACION
T eff (seg)	1.55	2.10
K placa apoyo (T/m)	752	130
Amortiguamiento	5%	10%
D máx. (cm)	11.0	9.0 (-19%)
M máx en Col. Cepa (T-m)	976.42	825.23 (-15%)

4. Aislación Sísmica

Viaducto Las Cruces, Ruta 160, VIII R. 2014.

- Longitud: 139.40 m, en 4 tramos
- Ancho tablero 21.70 m, con vigas pretensadas, simplemente apoyadas, de 1.86 m y 2.50 m de altura, separadas a eje a 3.63 m.
- Altura cepas: 16.00 m aprox.
- Loseta de continuidad sobre cepas
- **Suelo tipo IV; zona sísmica 3**
- Socavación total= 3.00 m aprox. (100% de la socavación según PSS Manual de Carreteras Vol. 3)



Viaducto Las Cruces, VIII R



Viaducto Las Cruces, VIII R



Viaducto Las Cruces, VIII R

4. Aislación Sísmica

Viaducto Las Cruces, Ruta 160, VIII R. 2014.

Comparación resultados con y sin Aislación Sísmica
Puente Río Claro Poniente:

	SIN AISLACION	CON AISLACION
T eff (seg)	1.80	2.40
K placa apoyo (T/m)	585	149
Amortiguamiento	5%	20%
D máx. (cm) *	25.4	15.8 (-38%)
M máx en Col. Cepa (T-m)	4400	2754 (-37%)

5. Puentes singulares

- **Viaducto Malleco, IX R**, que se destaca por la esbeltez de sus cepas, ubicándose en el kilómetro 577 de la Ruta 5 Sur; longitud de 356 m, altura de 74 m al fondo de la quebrada; ancho de calzada de 18.3 m.

Esta estructura está sustentada por 3 vigas longitudinales de acero continuas; sus cepas están conformadas por pilares, cuyo diámetro se desarrolla entre 1.4 y 2.2 m, en su centro.



Viaducto Malleco, IX R

5. Puentes singulares

- **Puente General Ibañez**, puente colgante ubicado en el camino que une Puerto Aysén con Puerto Chacabuco, en la XI región, longitud de 210 m, con doble vía y viga rigidizadora.



Puente General Ibáñez, XI R

5. Puentes singulares

- **Puente General Carrera**, ubicado en la camino longitudinal Austral Sur, en el desagüe del Lago General Carrera, XI región.

Esta estructura colgante tiene una longitud de 130 m, más 2 tramos laterales de accesos de 15 m cada uno, un ancho de calzada de 4.0 m y pasillos de 0.4 m.



Puente General Carrera XI R

5. Puentes singulares

- **Puente Yelcho**, ubicado en la XI región, cuya estructura constituye el primer puente del tipo atirantado construido en Chile.

Este puente posee una luz libre de 150.0 m y un ancho de calzada de 5.0 m.



Puente Yelcho, XI R

5. Puentes singulares

- **Puente Amolanas, IV R**, es el más alto del país, presenta pilas de altura de hasta 100.6 m y una longitud de 268 m.

Tiene un sistema de protección sísmica, formado por apoyos deslizantes sobre las cepas y amortiguadores viscoelásticos de 300 ton en los estribos, que actúan longitudinalmente absorbiendo las vibraciones sísmicas; el desplazamiento máximo de éstos es 200 mm y velocidad máxima de 1.2 m/s.



Puente Amolanas, IV Región



Puente Amolanas, IV Región

5. Puentes singulares

- **Puente Juan Pablo II, VIII R:** es el puente carretero más extenso de Chile, con una longitud de 2.310 metros y atraviesa en sentido transversal el río Bio Bio.

Se construyó en 70 partes de 33 metros, cada una de ellas con un ancho de 21.9 m.



Puente Juan Pablo II, VIII R

5. Puentes singulares

- **Puente Canal de Chacao, X Región:** El proyecto contempla el diseño y construcción de un puente sobre el Canal de una estructura continua de 2.635 m de longitud total, con tramos de 340 m el lado norte y 140 m el lado sur, tramos centrales de 1.100 m y 1.055 m.

La infraestructura del puente está compuesta por tres pilas de gran altura, dos fundadas en el mar mediante pilotes como son las pilas central (sobre la Roca Remolinos) y norte, así como una fundada en forma directa sobre una meseta baja de la ribera sur.



Puente Chacao, X R (en construcción)

5. Puentes singulares

- **Viaducto El Salto, V R**, se ubica en el km 105.335 del Troncal Sur, Viña del Mar y permite el paso a nivel de la vía en una zona que presenta una quebrada pronunciada, pasando sobre el Estero Marga-Marga, para llegar a los Túneles Gemelos. Se trata de una estructura de 8 vanos proyectada con vigas de acero continuas, apoyadas en cepas y en los estribos. Primer puente con aislación sísmica en Chile (aprox. 1994).



Viaducto El Salto, V R

5. Puentes singulares

- **Viaducto Marga Marga, V R**, se ubica en el km 101.700 del Troncal Sur, Viña del Mar, y permite el paso a nivel de la vía en una zona que presenta una quebrada muy pronunciada, pasando sobre el Estero Marga-Marga, para continuar por el Troncal Sur hacia la localidad de Quilpué.

Se trata de una estructura de 9 vanos proyectada con vigas pretensadas, apoyadas en cepas y en los estribos.



Viaducto Marga-Marga, V Región

5. Puentes singulares

- **Puente Huasco, III R:** puente carretero de 4 vías con 205,5 m de longitud y 22,3 m de ancho, con una altura de 35 m.

En esta estructura se aplicó la técnica de voladizos sucesivos, tecnología aplicada en base a dovelas unidas con cables postensados.



Puente Huasco, III Región

5. Puentes singulares

- **Pasarela Huérfanos, Región Metropolitana:** pasarela atirantada con 3 vanos, 109 m de longitud total y una altura promedio de 29 m, el vano central de 57 m. de longitud.



Pasarela Huérfanos, Santiago, RM

5. Puentes singulares

- **Puente Treng Treng, IX R**, puente atirantado asimétrico de 240 m de longitud en construcción, con un mástil de 66.7 m de altura.

Se caracterizará por sus dos mástiles, Treng Treng y Kay Kay, que representan a la serpiente de la tierra y la serpiente del mar, respectivamente, en una eterna lucha entre ambas que ha moldeado el paisaje al desatar fuerzas al mismo tiempo destructivas y creadoras.



Puente Treng Treng, IX R (en construcción)



Conferencia Delegación Colombiana



Preansa

Tipología estructural de puentes carreteros chilenos

Ing. Jose Luis Seguel

Enero 2016
Santiago, Chile