

Experiencias recientes en el diseño y construcción de puentes arco en la orografía andina



ACIES

Asociación Colombiana de Ingeniería Estructural

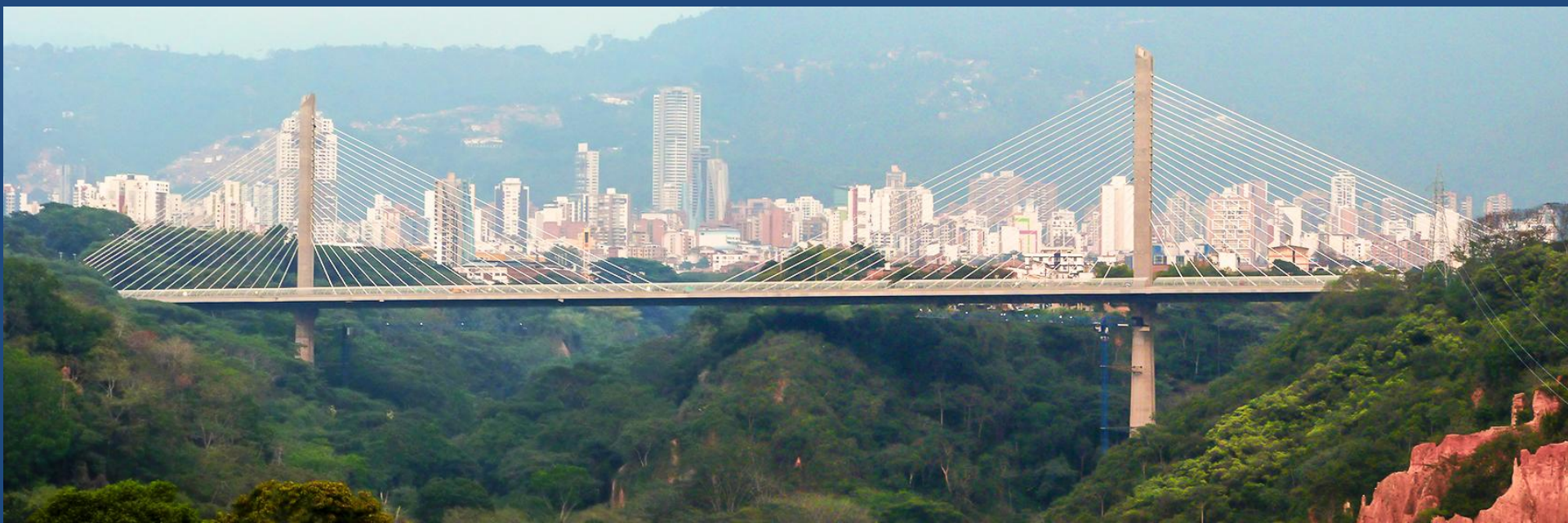
*Javier Muñoz-Rojas Fernández
Ingeniero Caminos, Canales y Puertos
Codirector de Carlos Fernández Casado S.L.*

CFC

an **ARX** company

11 Septiembre 2025







PARTE I. INTRODUCCIÓN. EL PROBLEMA DE LA CONSTRUCCIÓN DEL ARCO



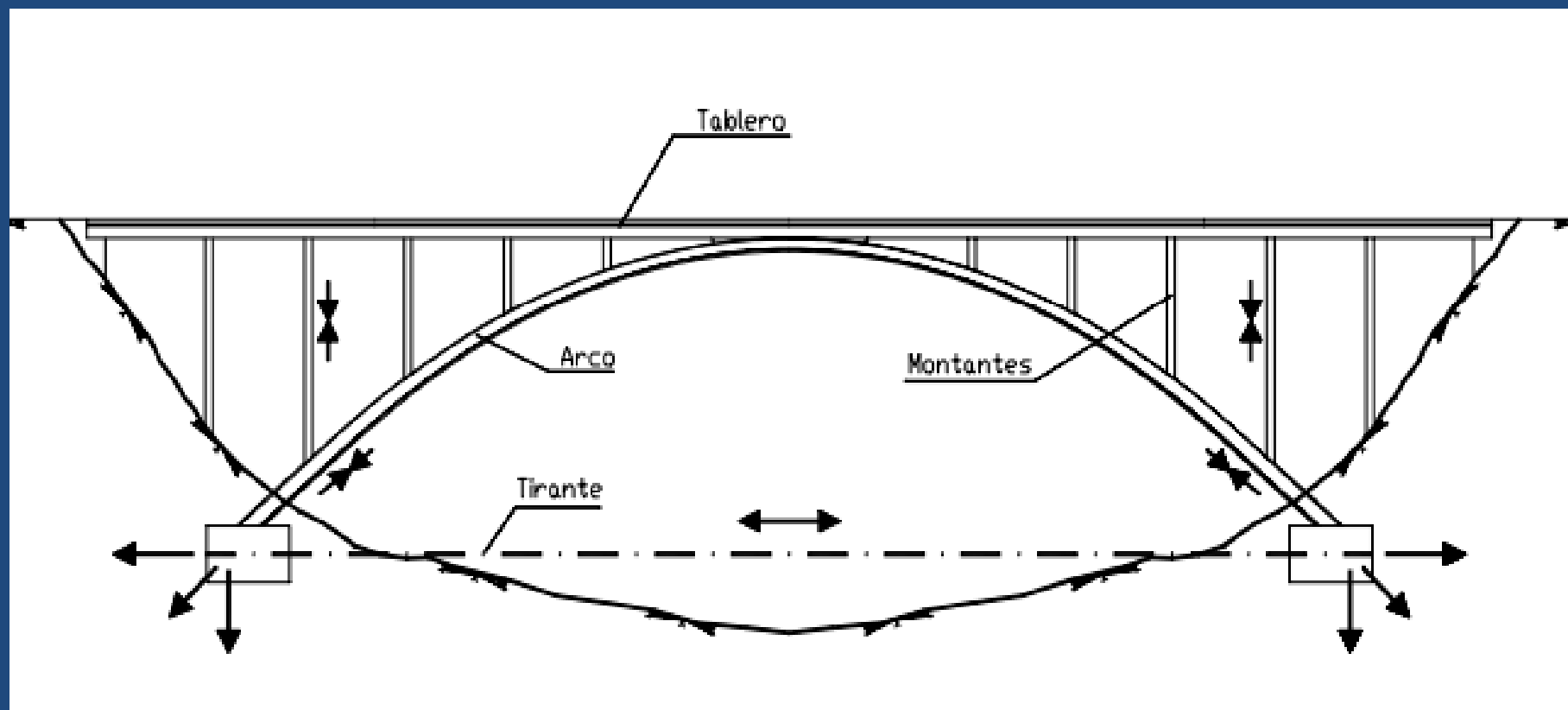
Puente romano de Alcántara sobre el río Tajo. Siglo II d.C. (Cáceres. España)

Cayus Julius Lacer :

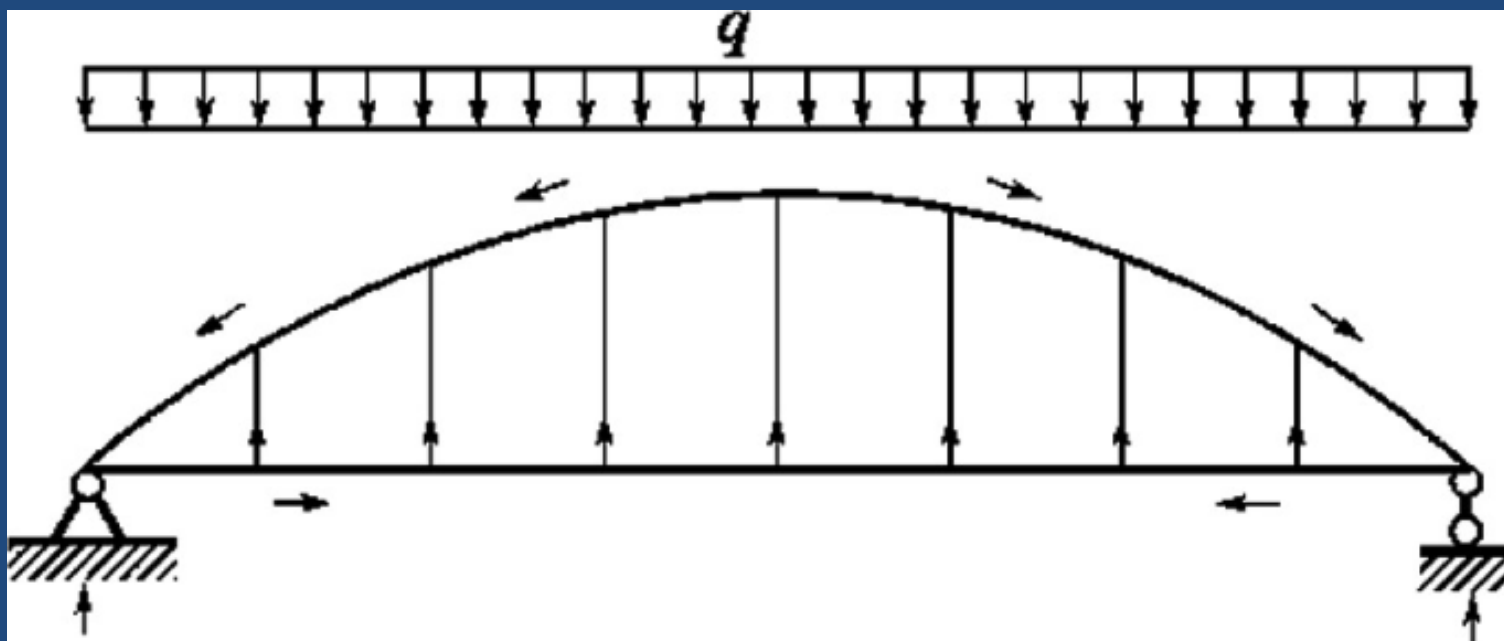
“Ars urbi materia vincitur ipsa sua”

(Artificio mediante el cual la materia queda vencida por ella misma)

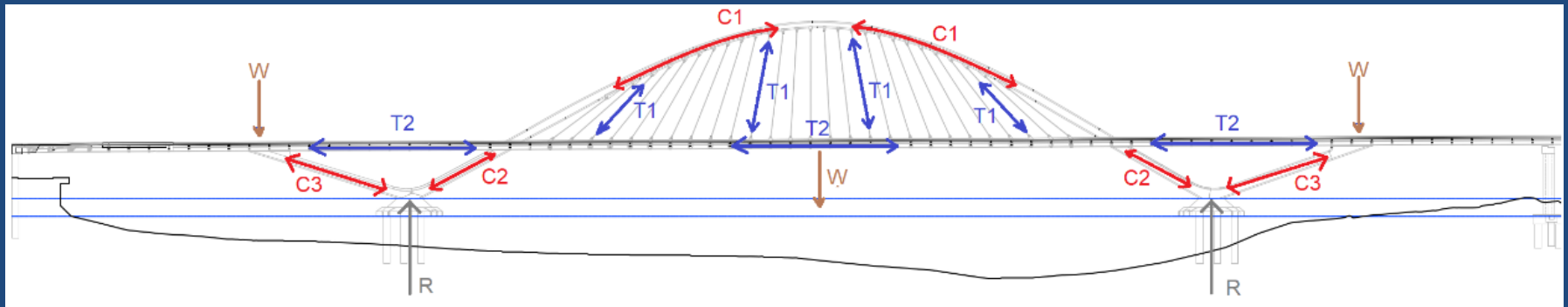
PARTE II. ARCOS CON TABLERO SUPERIOR



ARCOS AUTOANCLADO CON TABLERO INFERIOR



ARCOS AUTOANCLADO CON TABLERO INTERMEDIO



PARTE 1. ARCOS CON TABLERO SUPERIOR





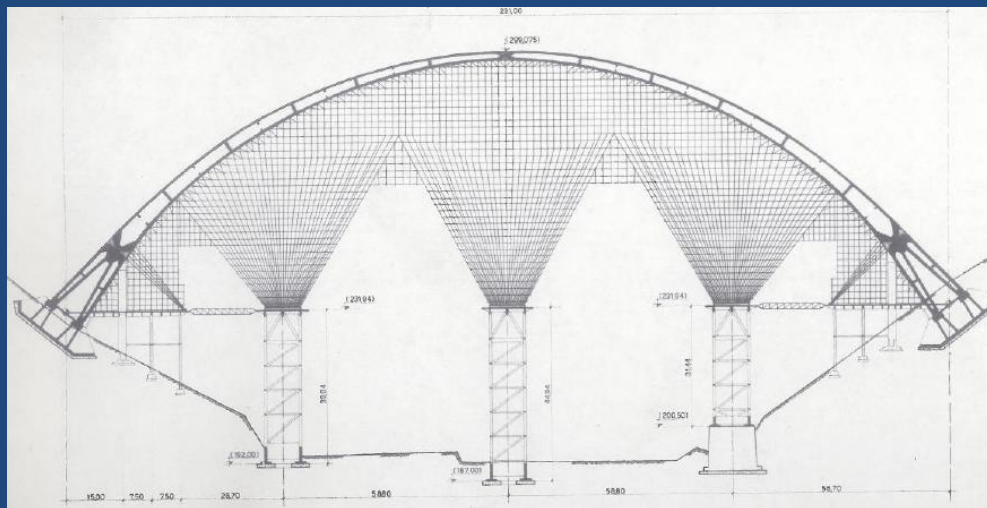
CIMBRAS AUTOPORTANTES DESMONTABLES

*Cimbra para la construcción de puentes de
fábrica . Imperio Romano (Siglo I A.C.)*



*Acueducto sobre el río Aragón.
Huesca. España
Ing. Carlos Fernández Casado 1961*

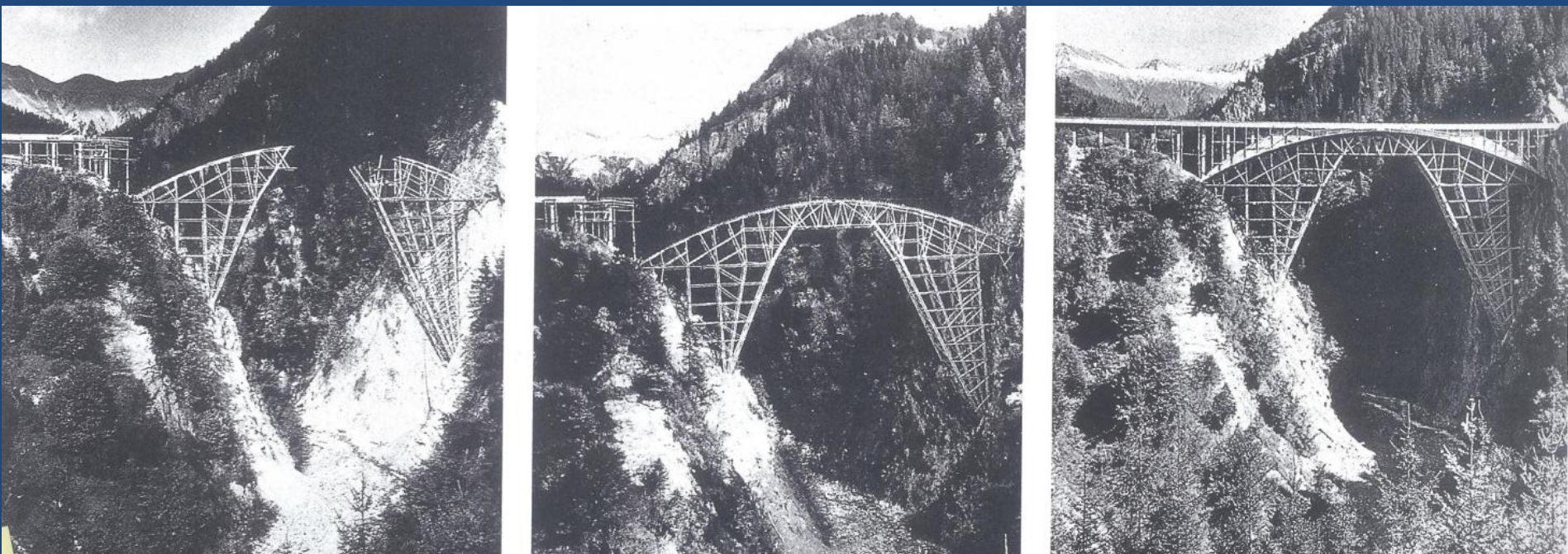
CIMBRAS SOBRE APOYOS PUNTUALES



*Cimbra cuajada del arco
R. Morandi, Italia, 1955*



CIMBRAS CUAJADA SOBRE QUEBRADAS PROFUNDAS



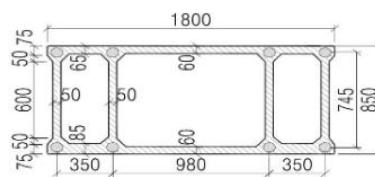
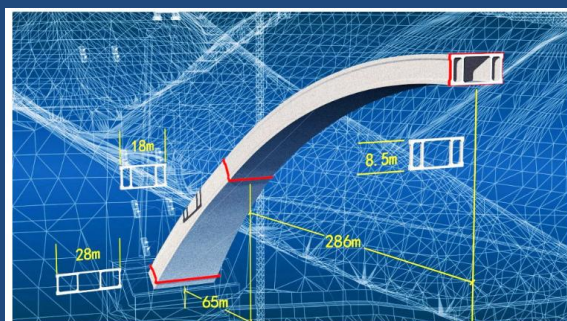
Puente de Salginatobel. Suiza 1940 (Ing. R. Maillart)

CIMBRAS AUTOPORTANTES PERDIDAS (1) (SISTEMAS MELAN / RIBERA)

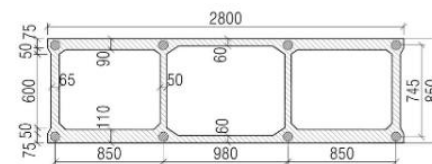


***Puente sobre el río Najerilla. Logroño. España
Carlos Fernández Casado 1949***

CIMBRAS AUTOPORTANTES PERDIDAS (2) OBRAS RECIENTES EN CHINA



Cross-section of the arch ring at the arch crown (unit:cm)



Cross-section of the arch ring at the arch springing (unit:cm)

PUENTE SOBRE EL RÍO NANPAN. CHINA (416 m)

PARTE II. ARCOS CON TABLERO SUPERIOR

PROCEDIMIENTOS ESPECIALES

ABATIMIENTO DE SEMIARCOS



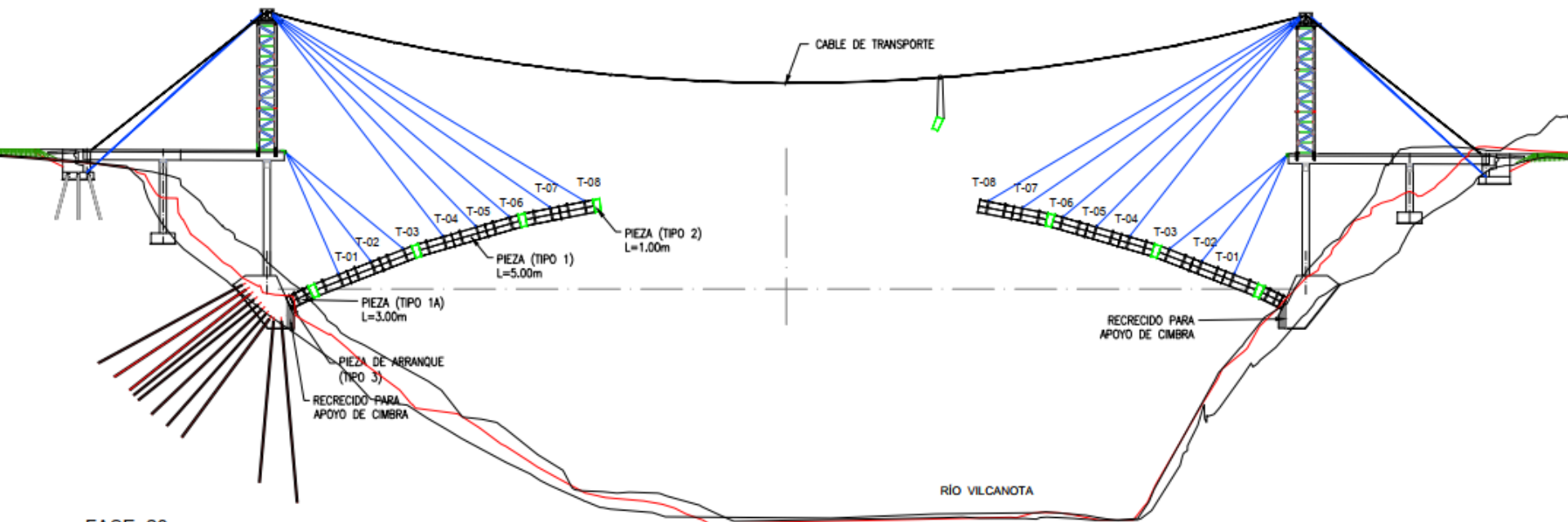
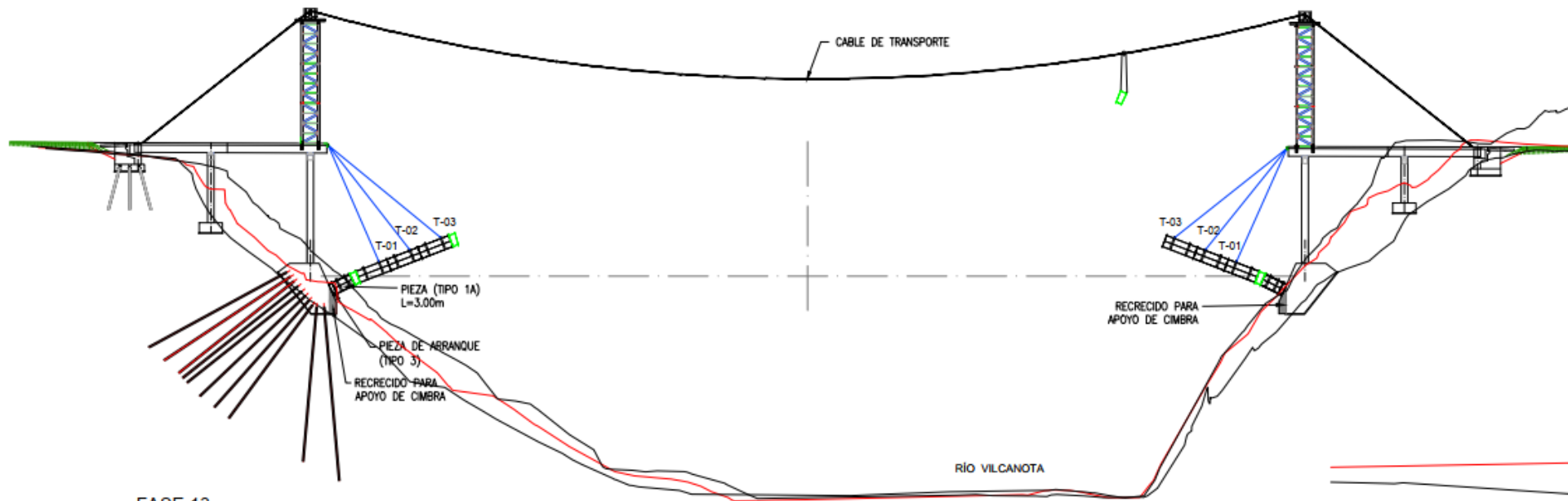
VOLADIZOS SUCESIVOS CON ATIRANTAMIENTO PROVISIONAL

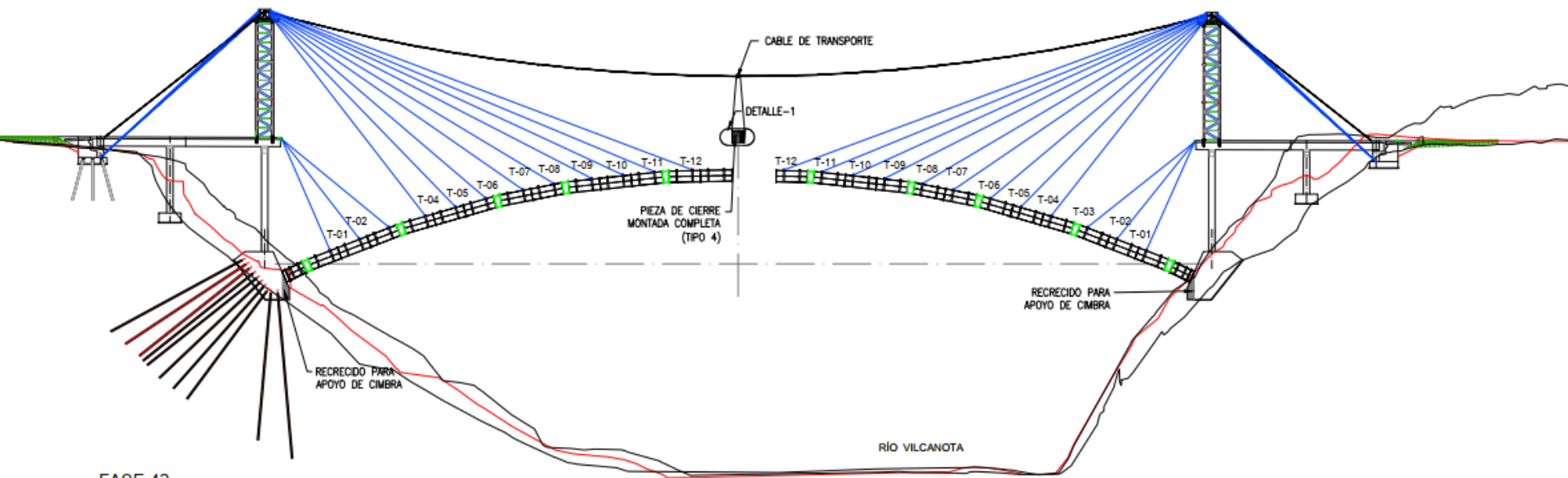


CIMBRAS AUTOPORTANTES DESMONTABLES

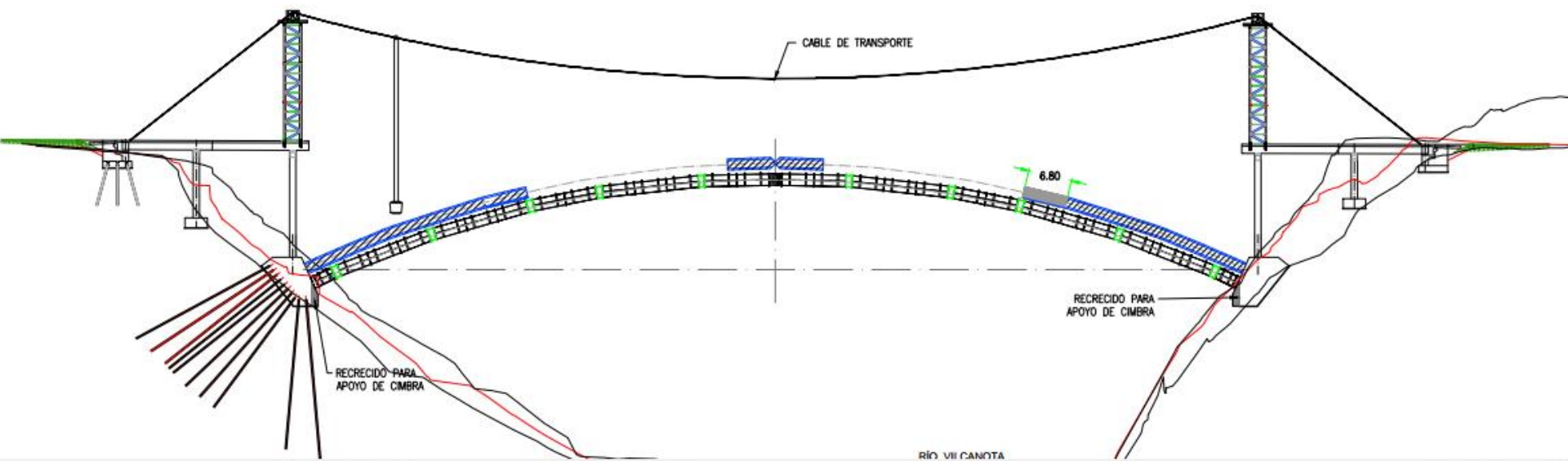


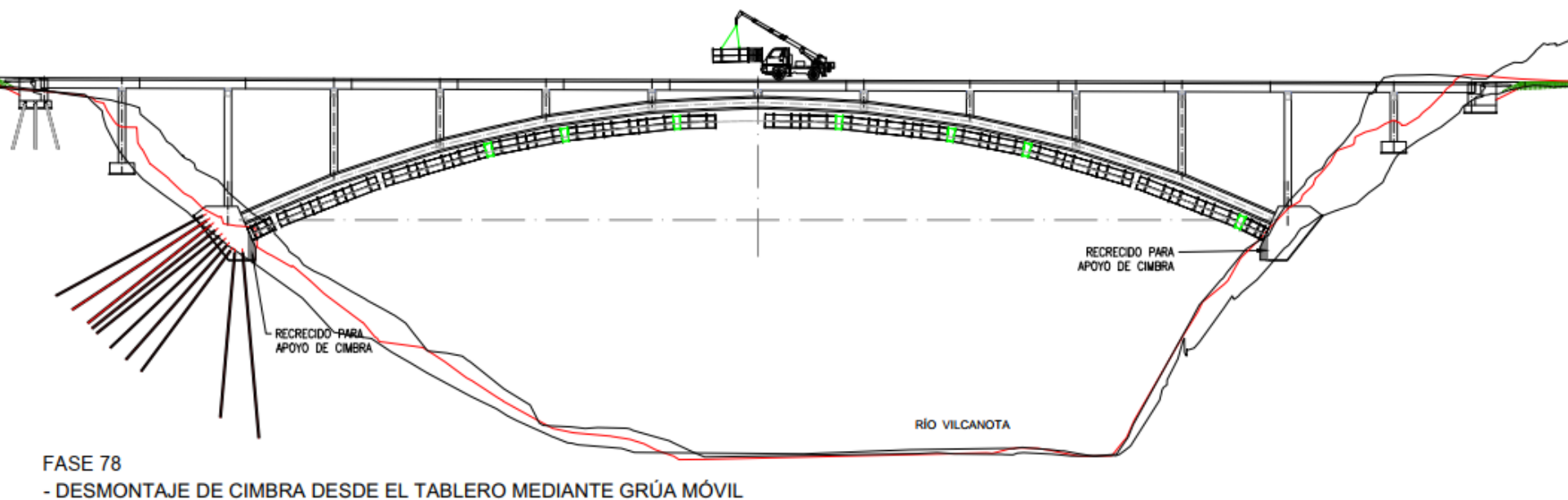
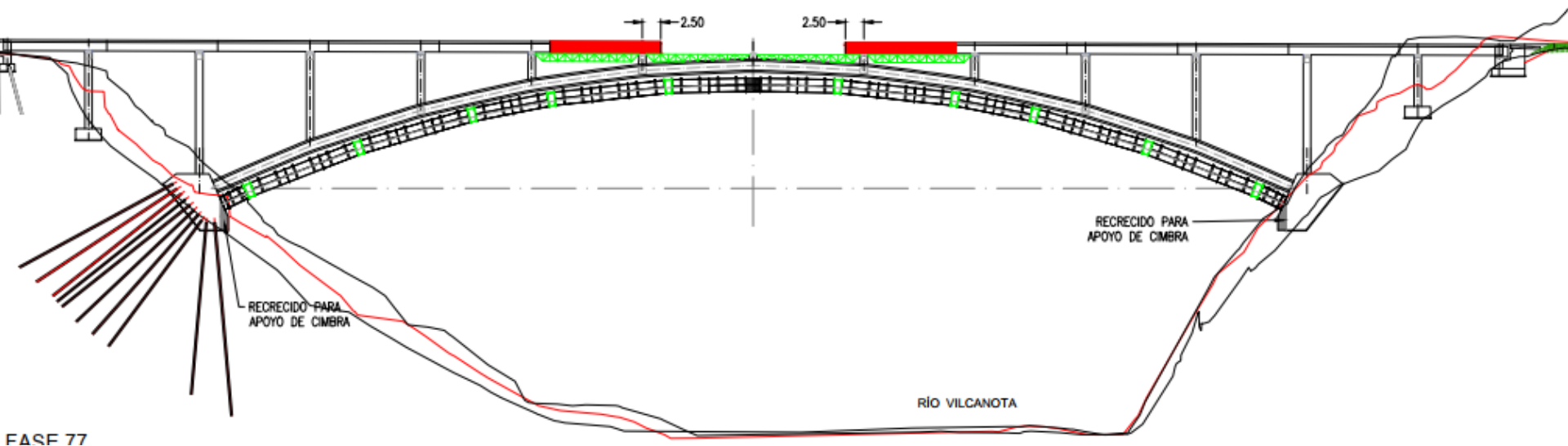
1. CIMBRAS METALICAS AUTOPORTANTES DESMONTABLES.

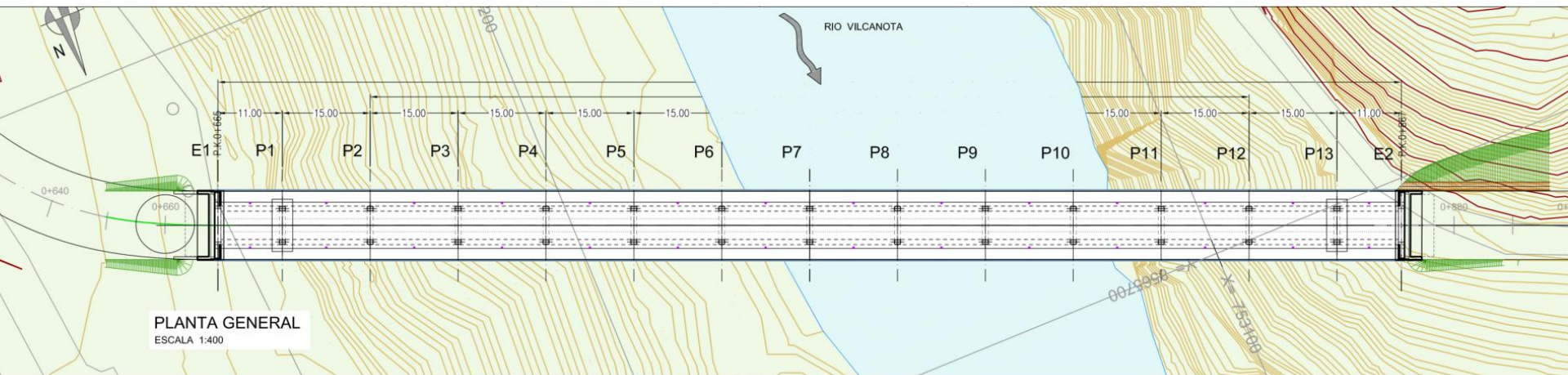
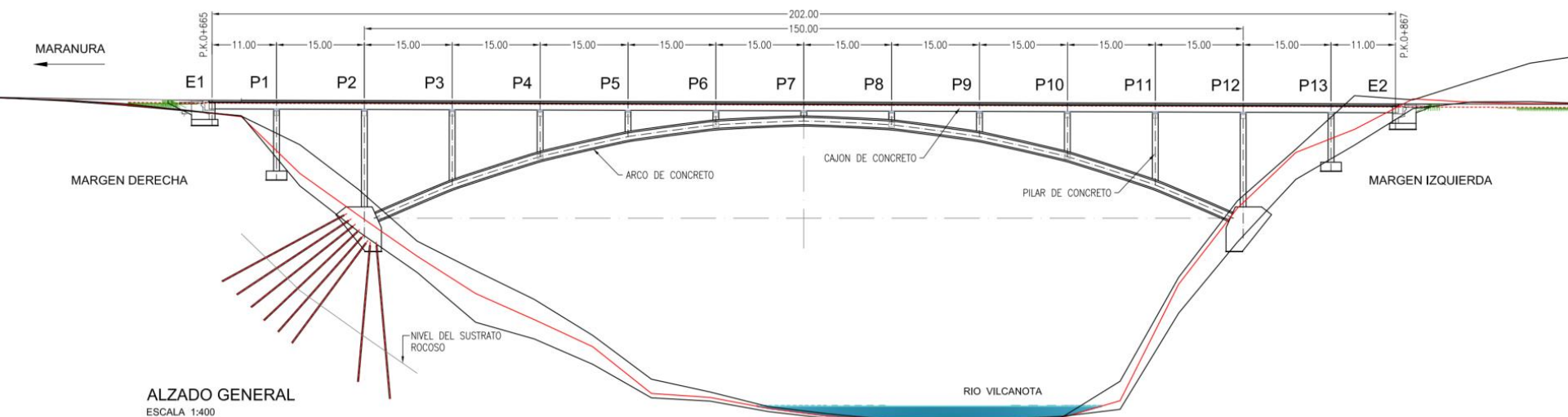




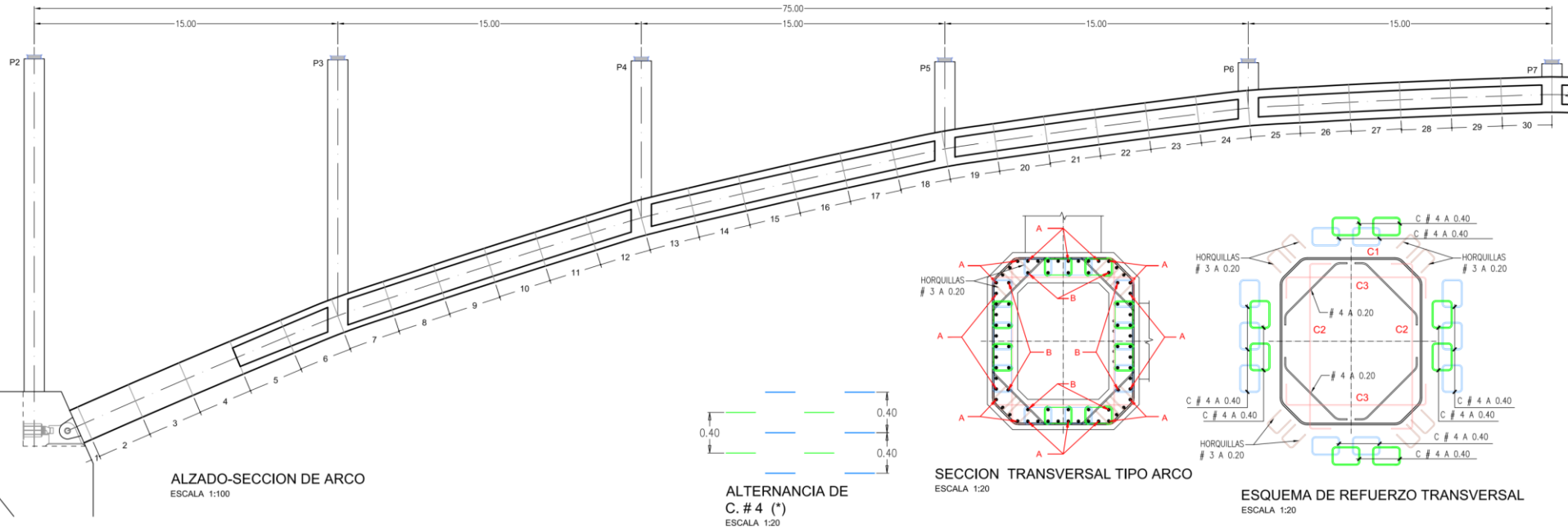
FASE 42
- COLOCACIÓN DE PIEZA TIPO 4



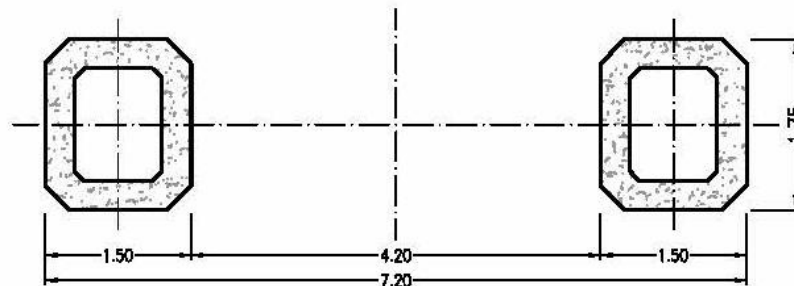




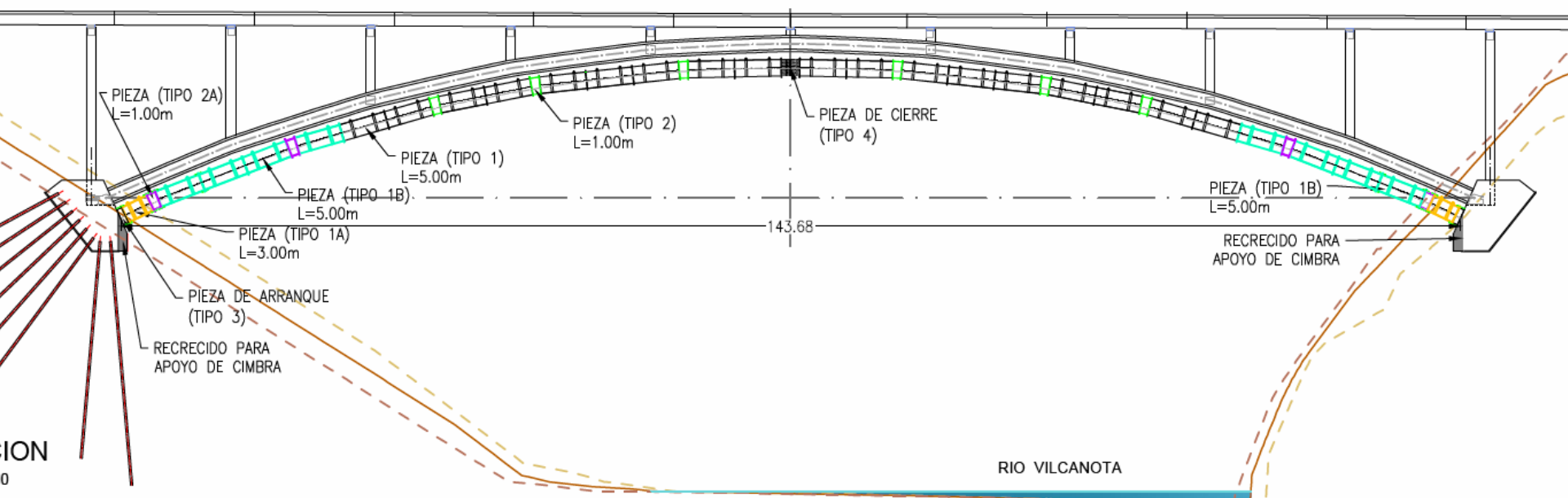




Alzado y planta de semiarco

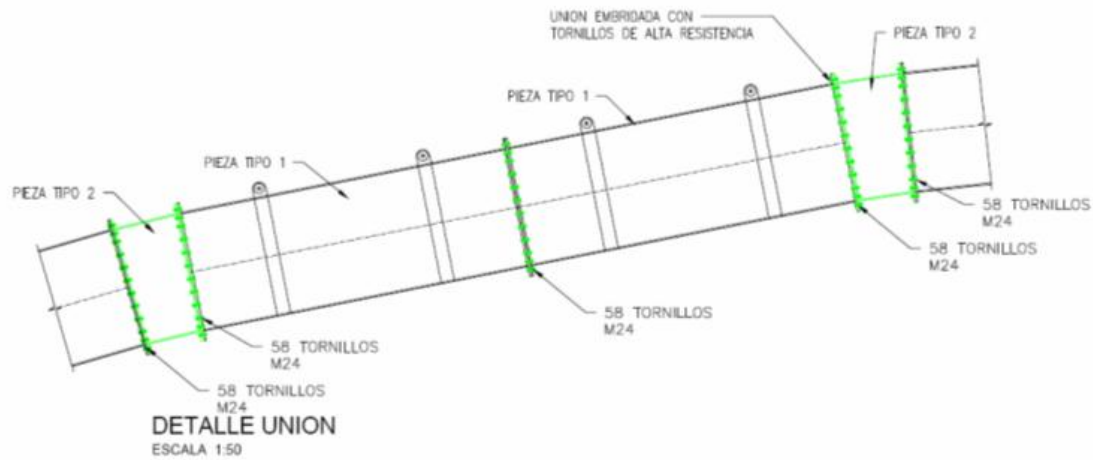


Sección arco de hormigón

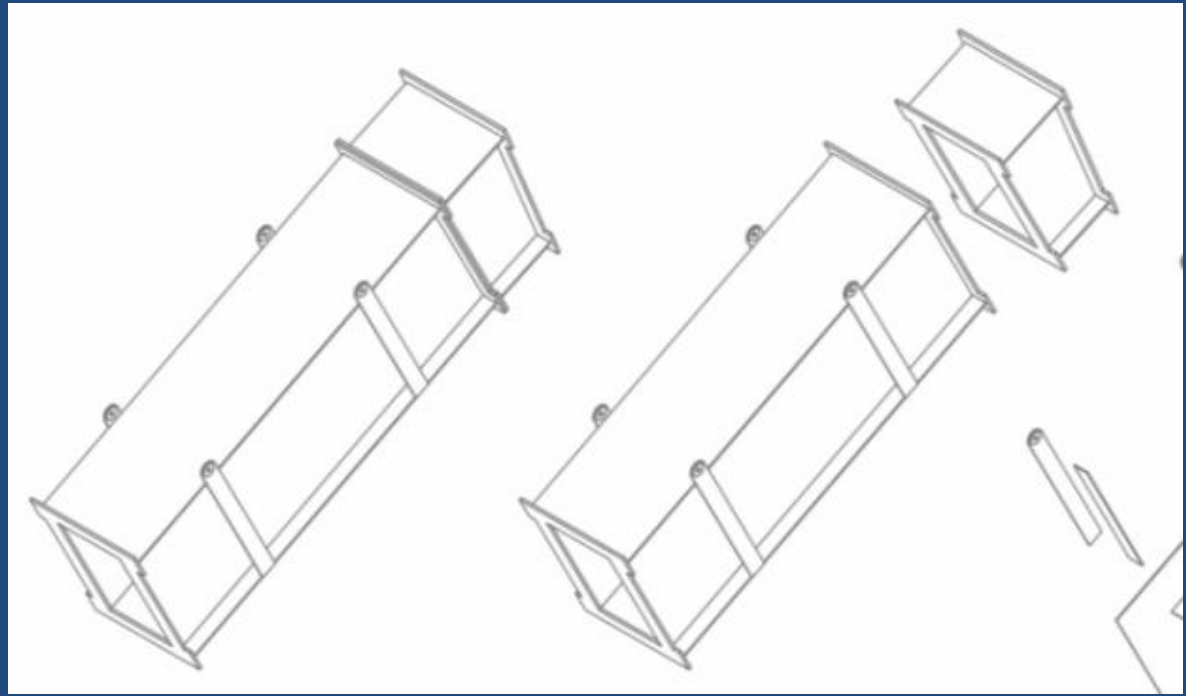


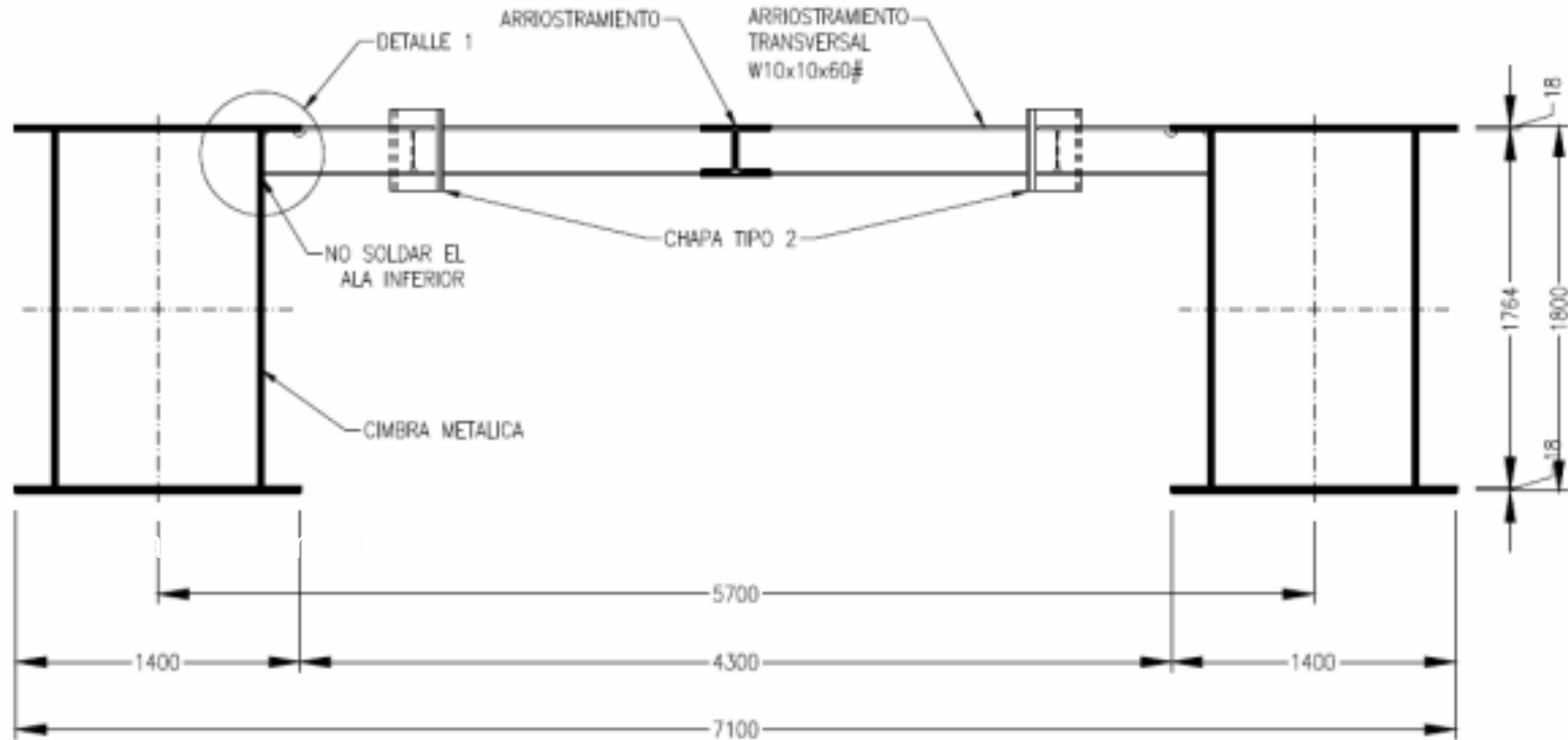
PLANTA SUPERIOR

Adaptación de la cimbra de Chacanto al puente de Maranura



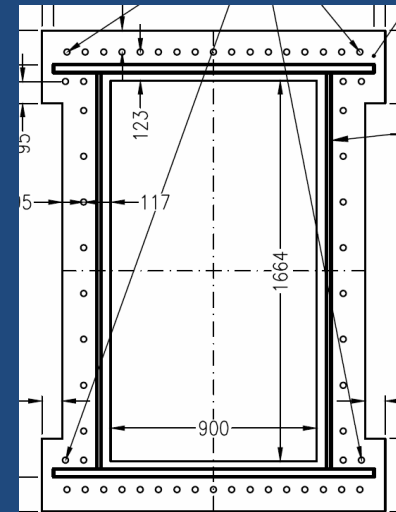
Alzado de modulación tipo



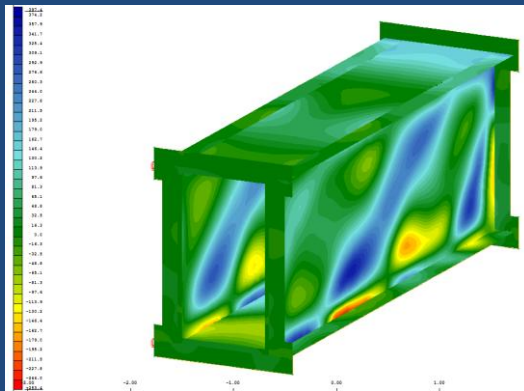
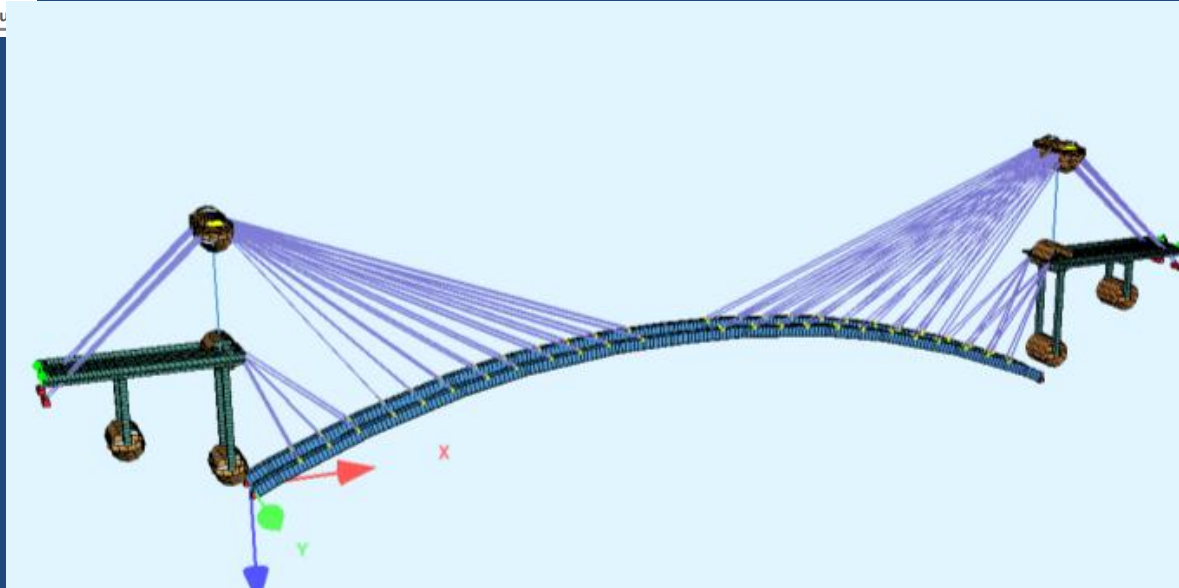


Sección transversal completa de la cimbra

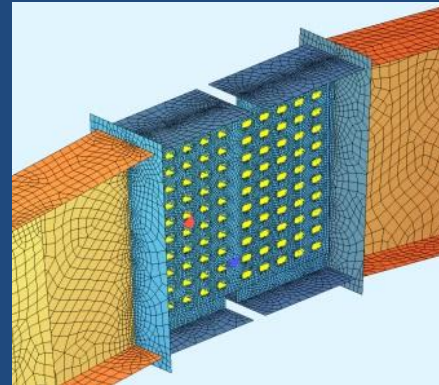
Unión embridada tipo



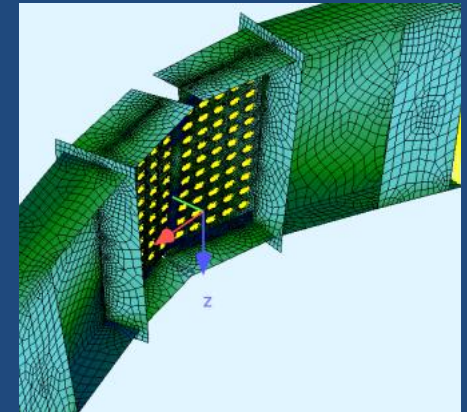
Modelo global de la cimbra de Maranura

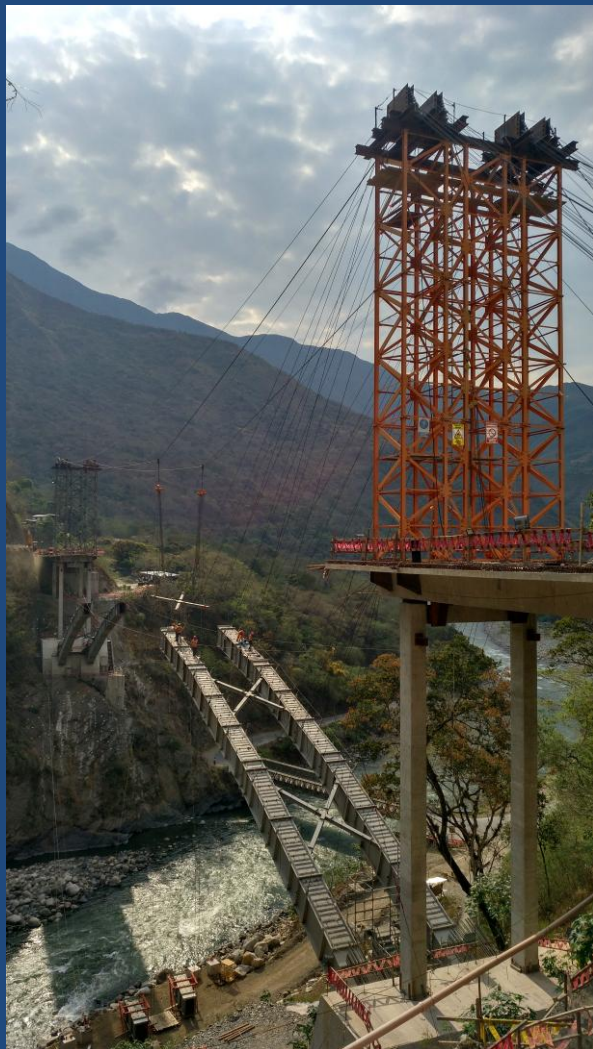


Tensiones principales asociadas a la máxima corte + axil e imperfección según primer modo de pandeo local



Modelo de elementos finitos de la clave con cubrejuntas y fallo por pandeo fuera del plano





Puente de Maranura. Montaje cimbra



Puente de Maranura.
Montaje cimbra





Arco en fase intermedia de hormigonado

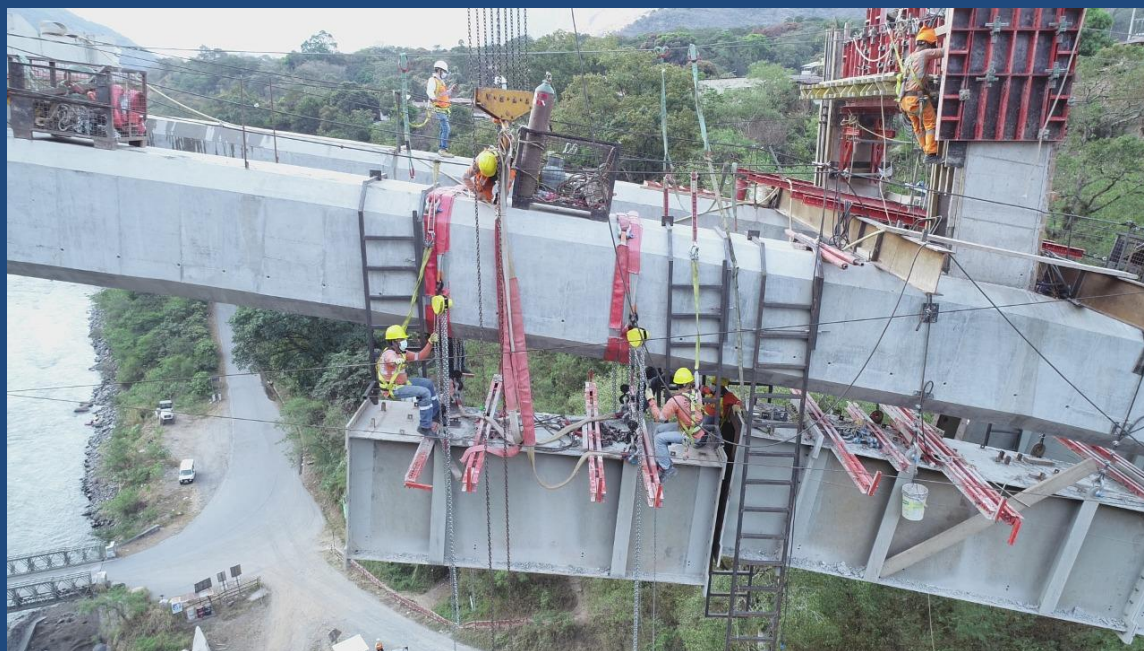


Preparación de maniobra de puesta en carga del arco de hormigón.

Maranura. Ejecución arco

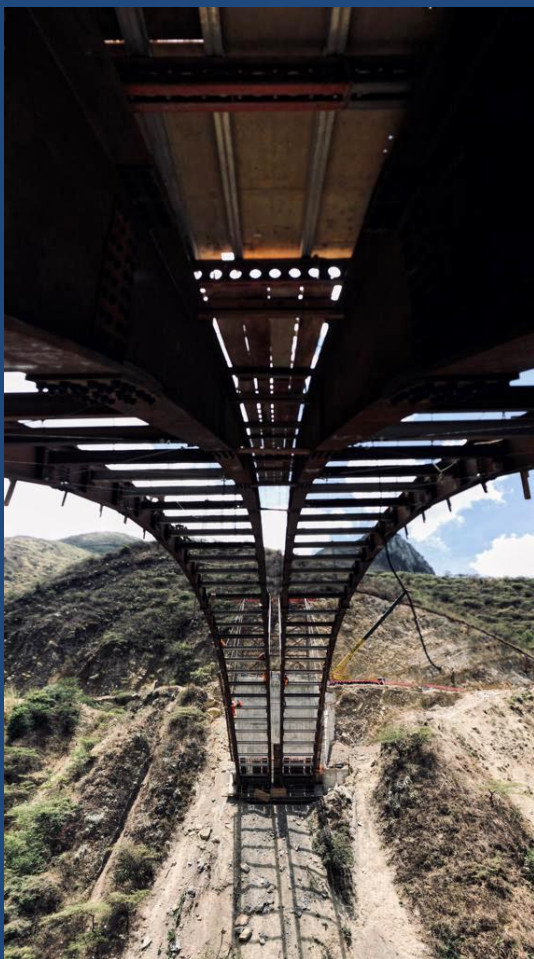


Final de la maniobra de puesta en carga.



Descuelgue de la cimbra





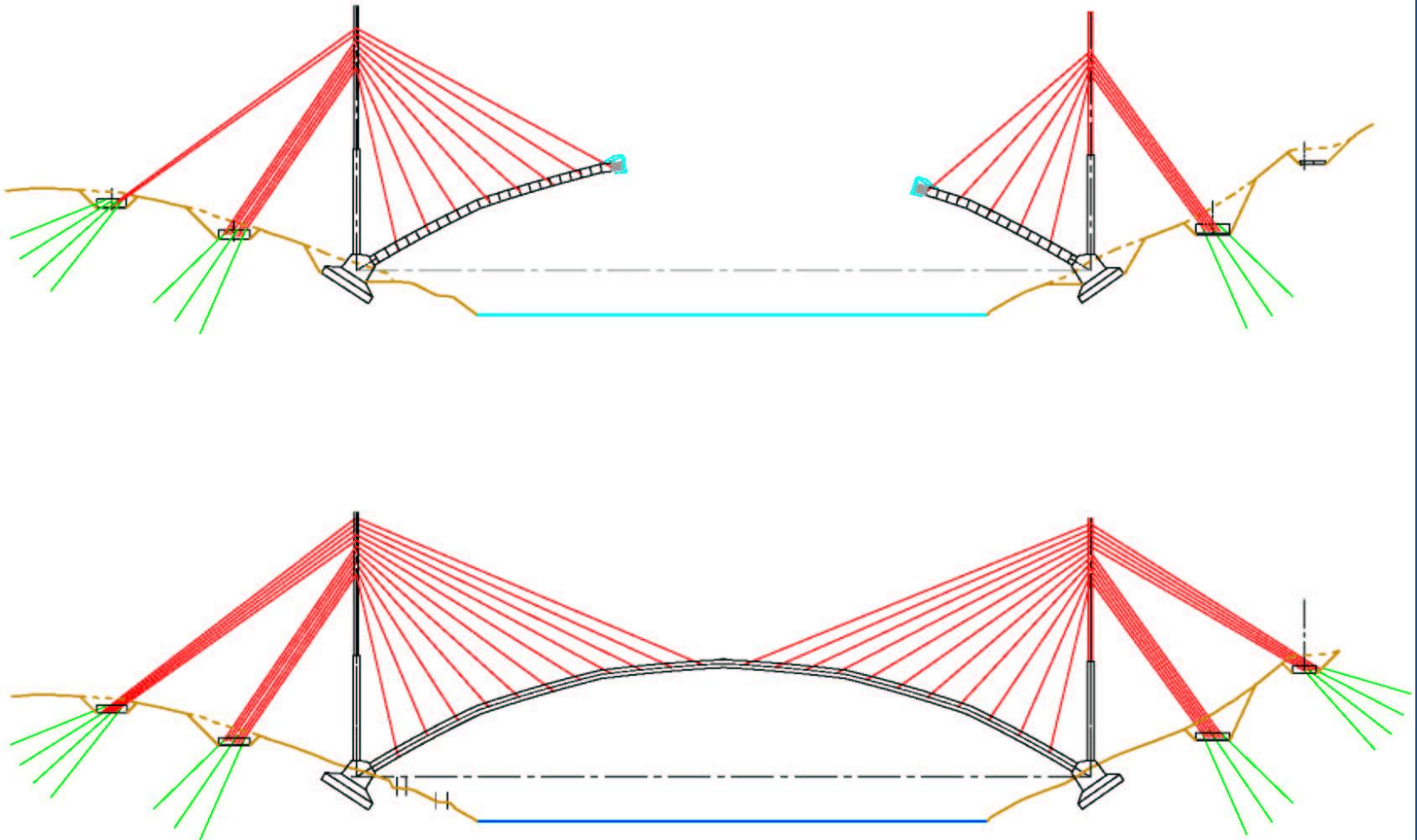
Puente de Tingo. Perú 2017

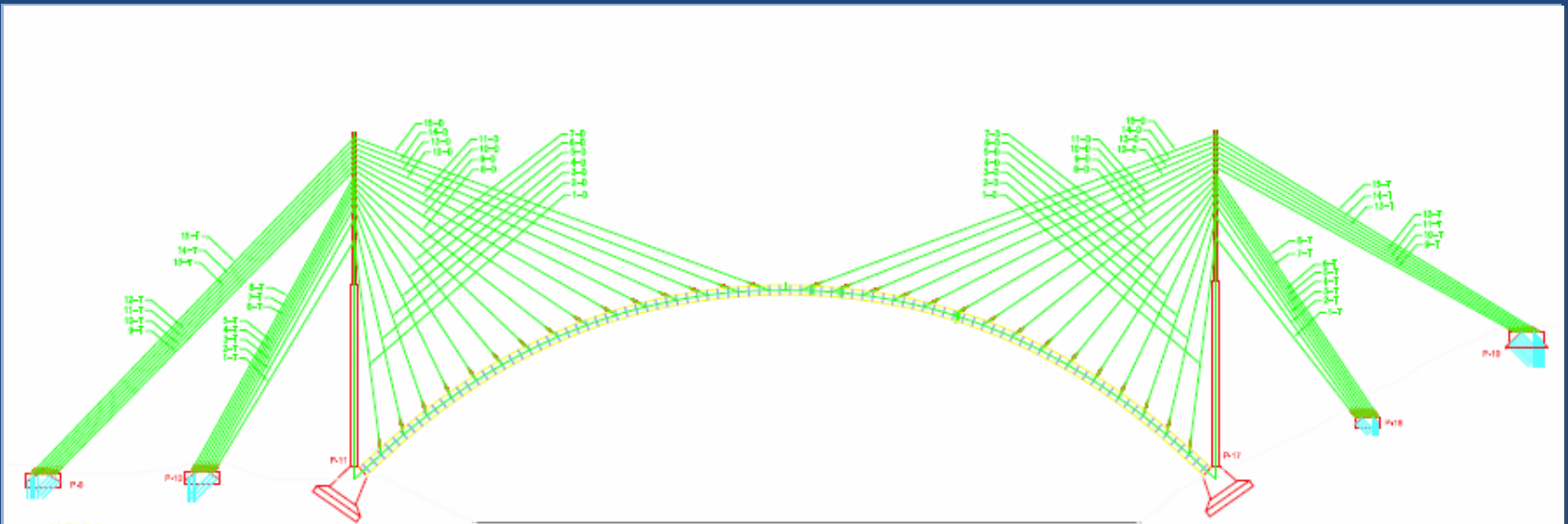
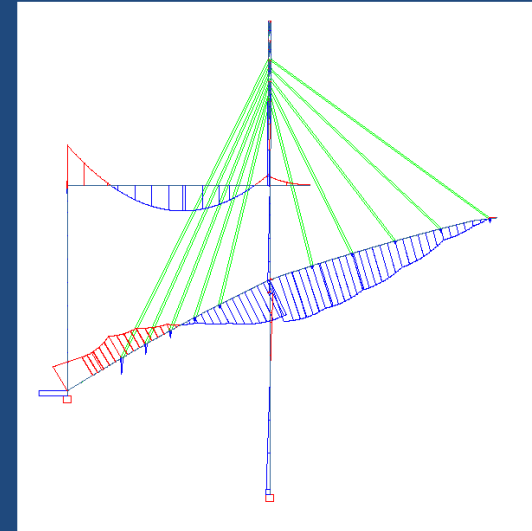
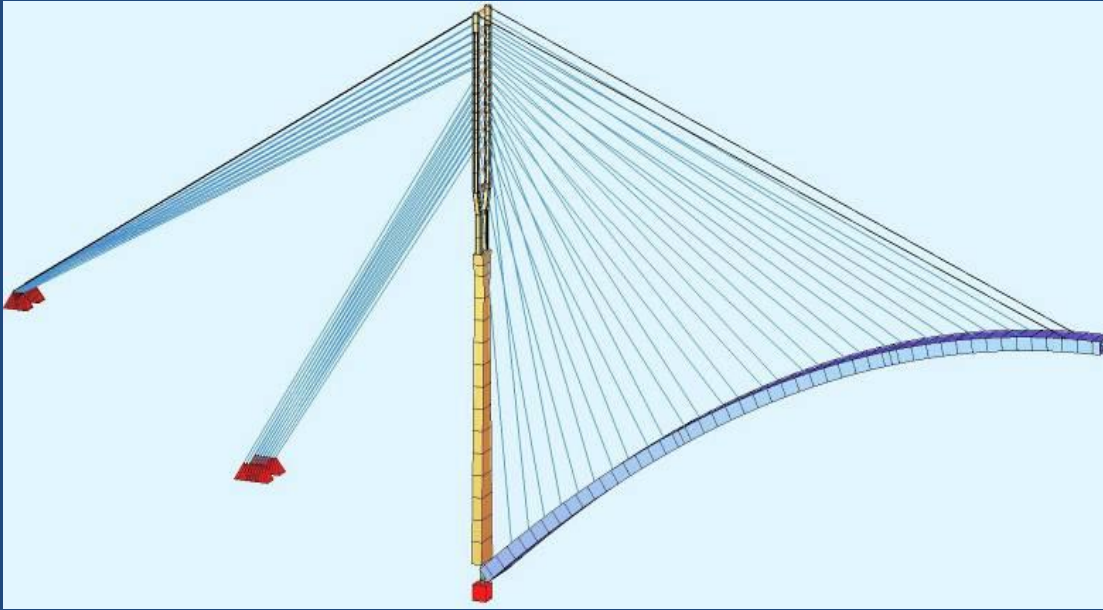


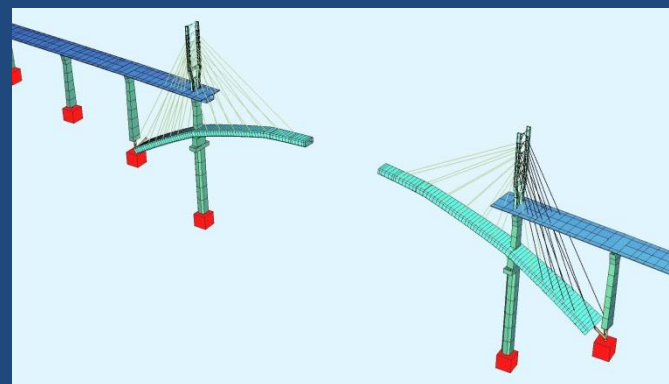
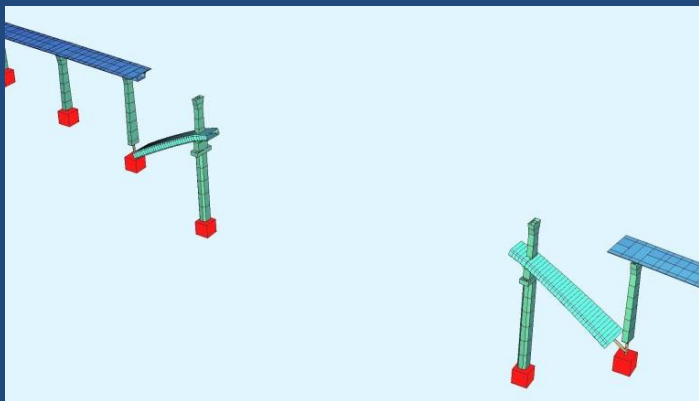
Puente de Chamorro. Perú 2017

2. CONSTRUCCION EN VOLADIZO CON ATIRANTAMIENTO PROVISIONAL

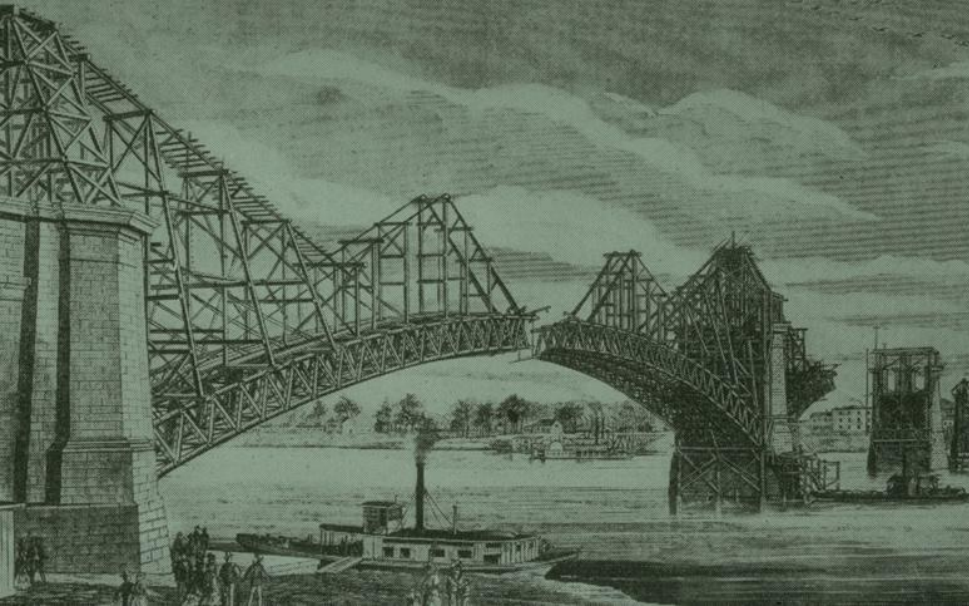








ANTECEDENTES EN LOS ARCOS EN CELOSIA METALICA



***Puente de San Luis
(EEUU). Ing. C. Eads 1874***

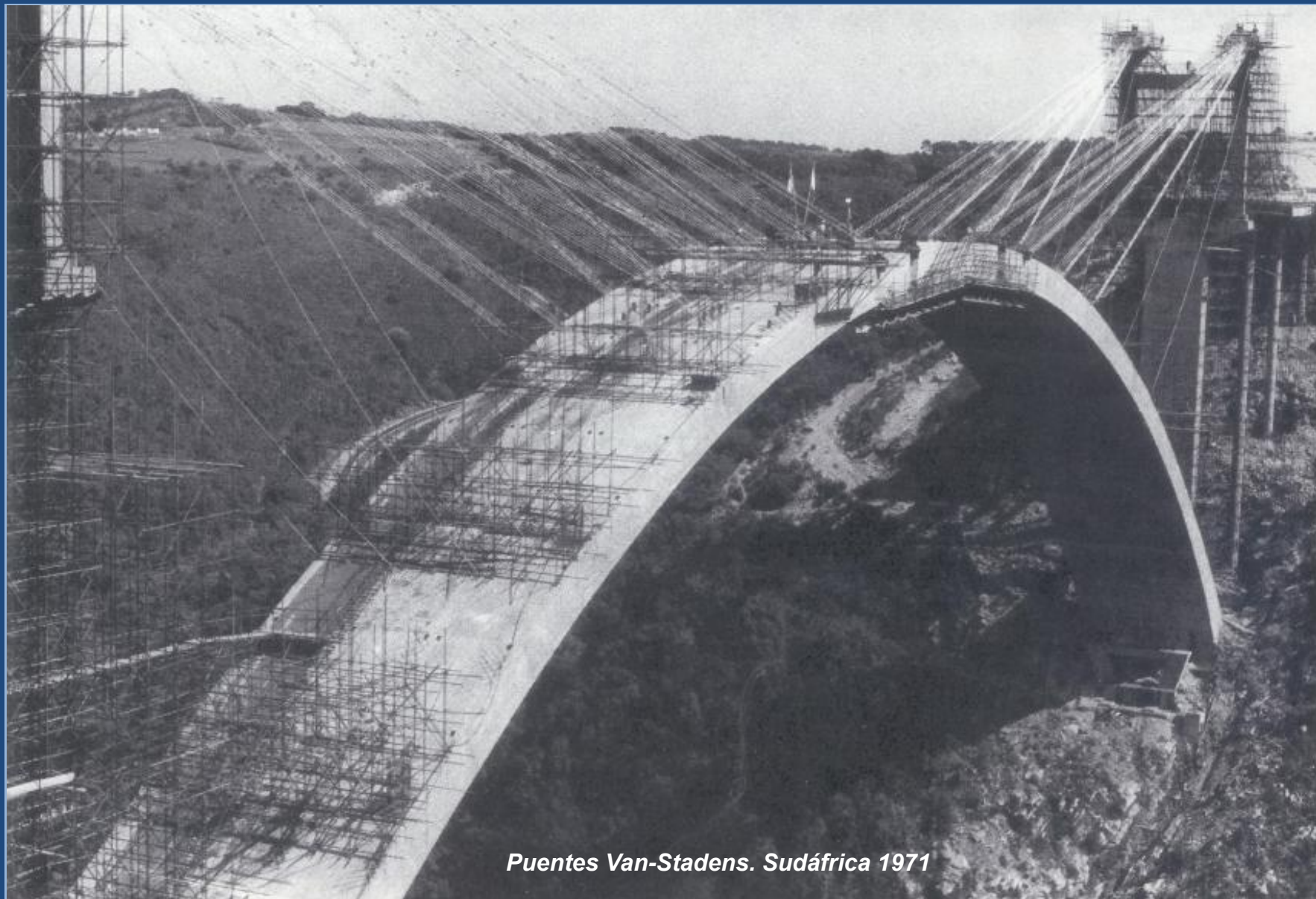


***Puente sobre la bahía de
Sydney, Australia***

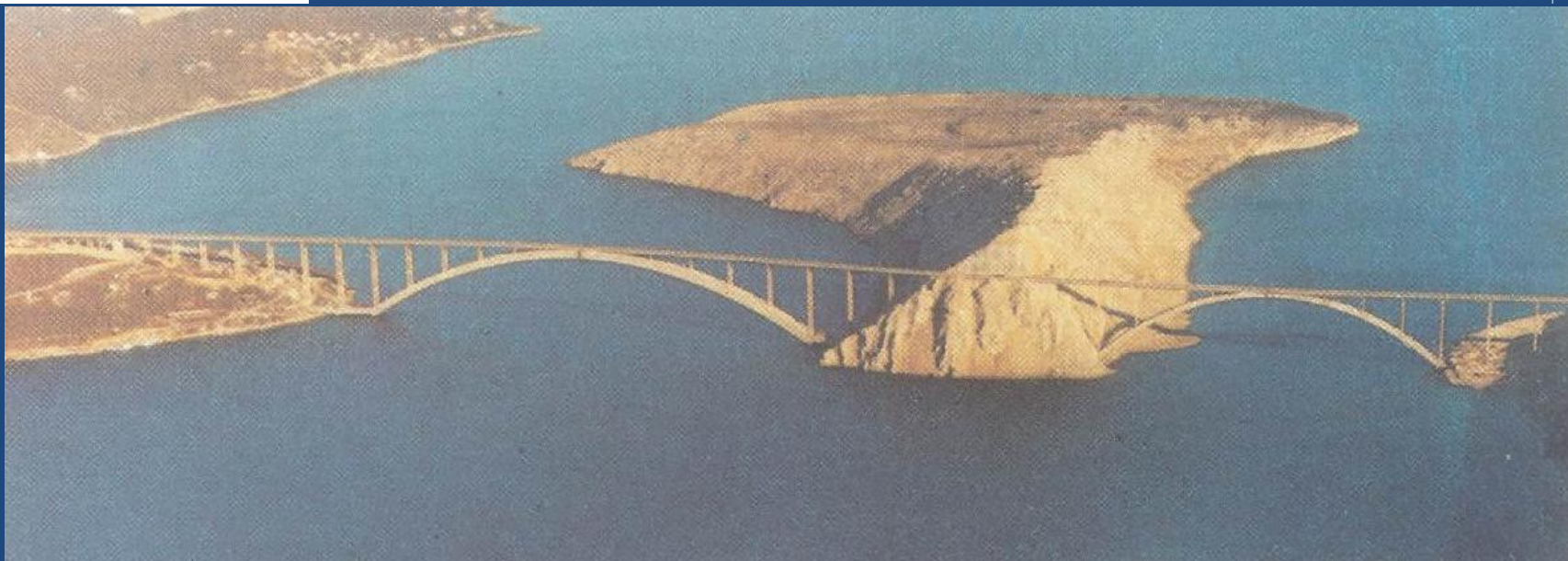


***Construcción del Viaducto de Garabit .
Francia (G. Eiffel, Francia 1865)***



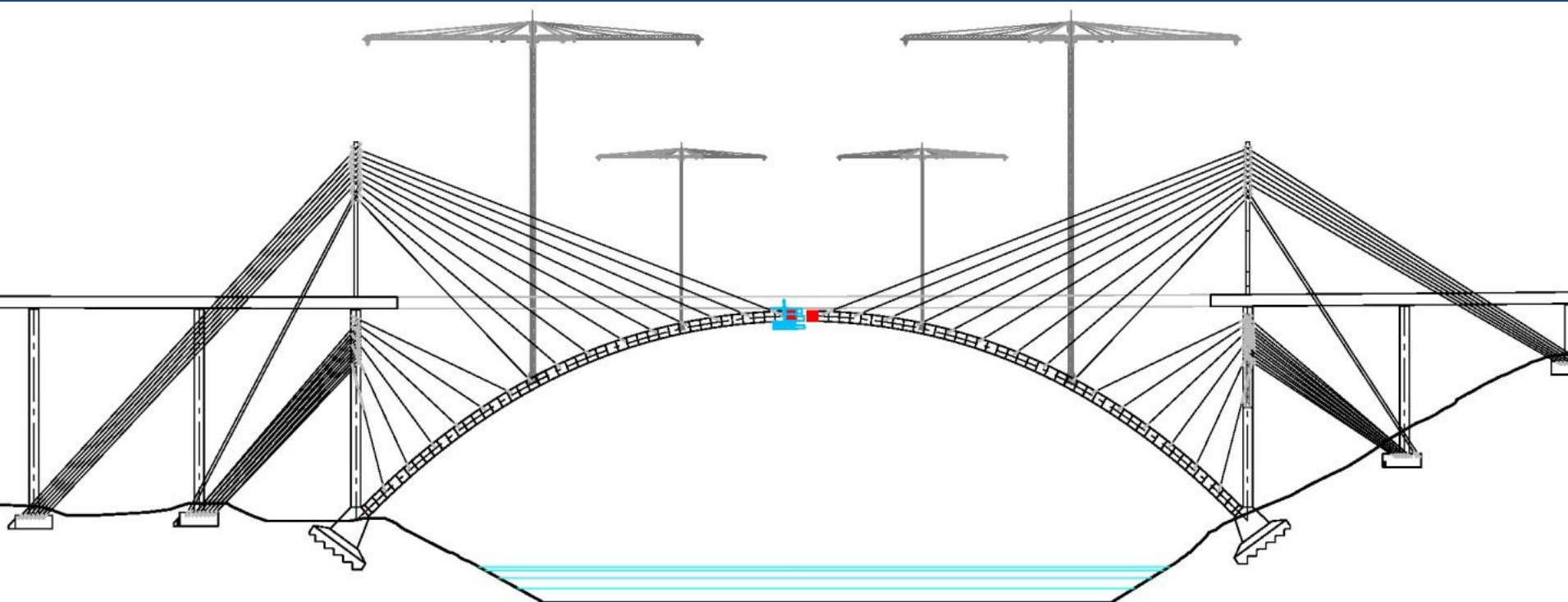
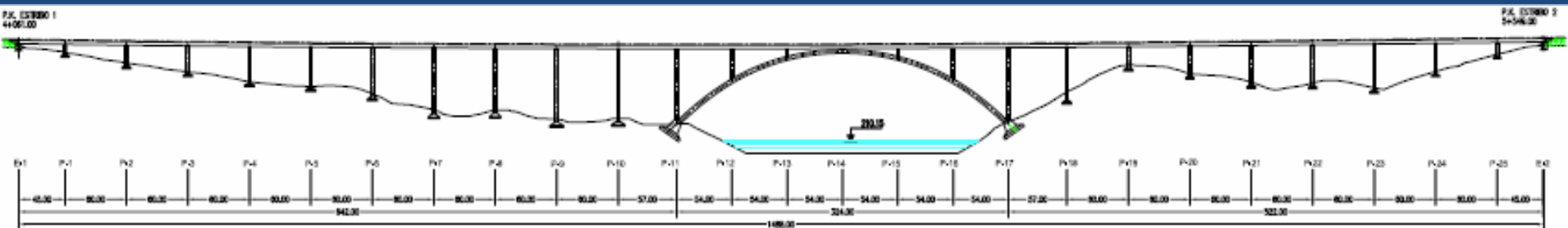


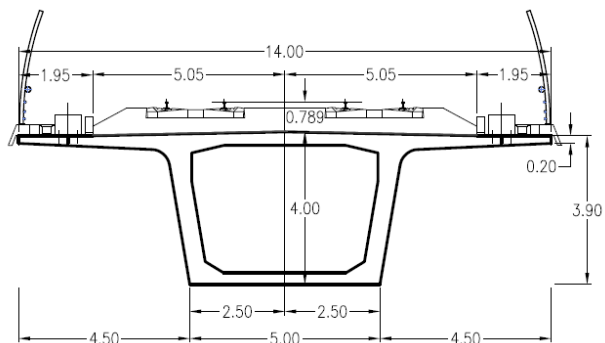
Puentes Van-Stadens. Sudáfrica 1971



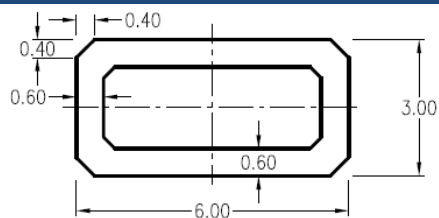
***Puentes de Krk
(Croacia, 1980)***

Viaducto sobre el embalse de Alcántara. LAV Madrid-Extremadura. Cáceres (España) . Luz 320 m. CFC 2016





SECCION TRANSVERSAL DE TABLERO
ESCALA 1:200



SECCION TRANSVERSAL DEL ARCO
ESCALA 1:200











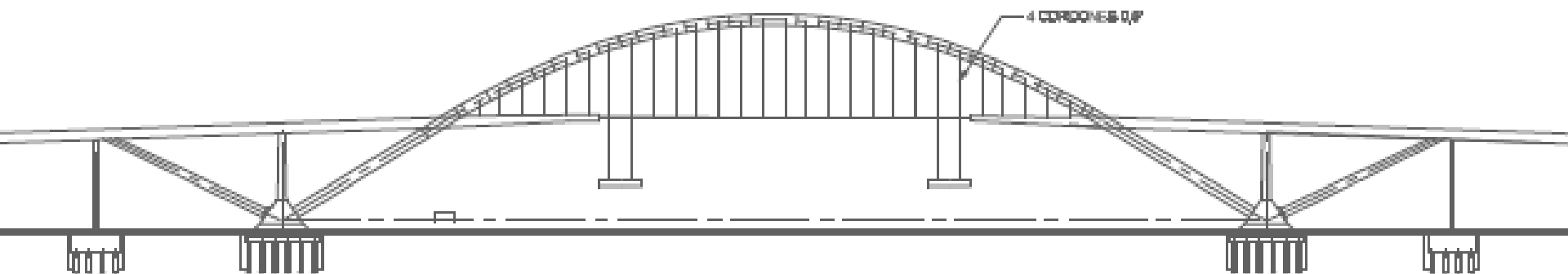
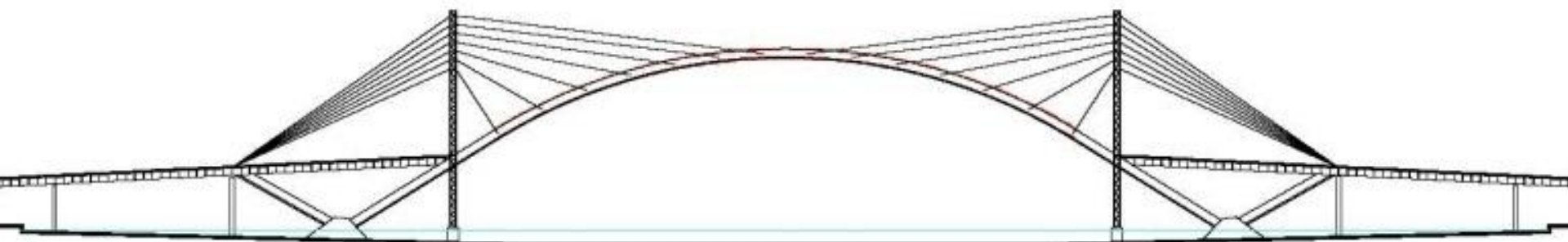


Y TABLERO CORRESPONDIENTE MEDIANTE CIMBRA



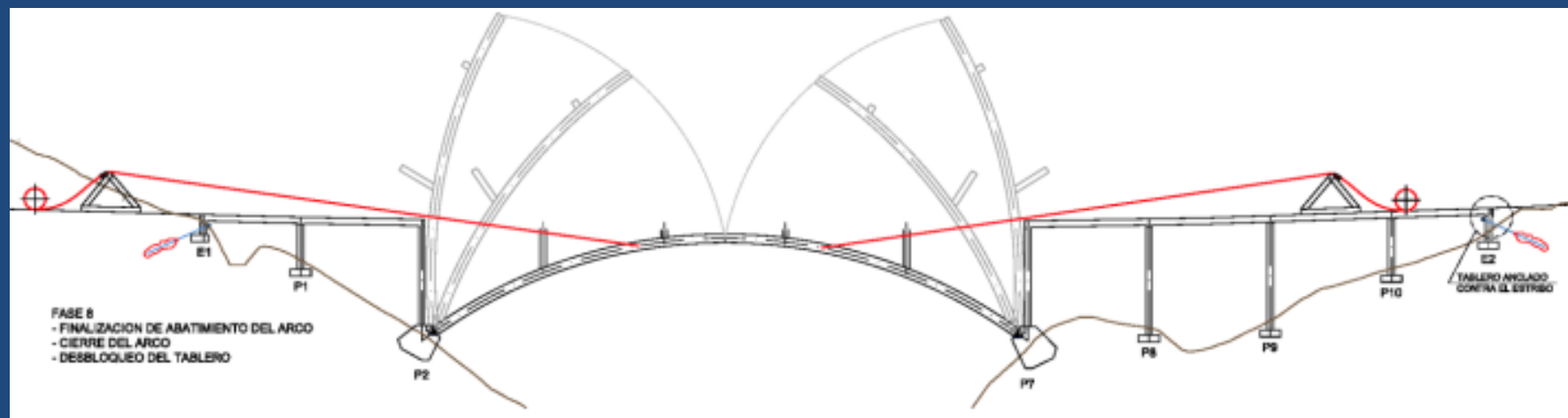
PROVISIONAL

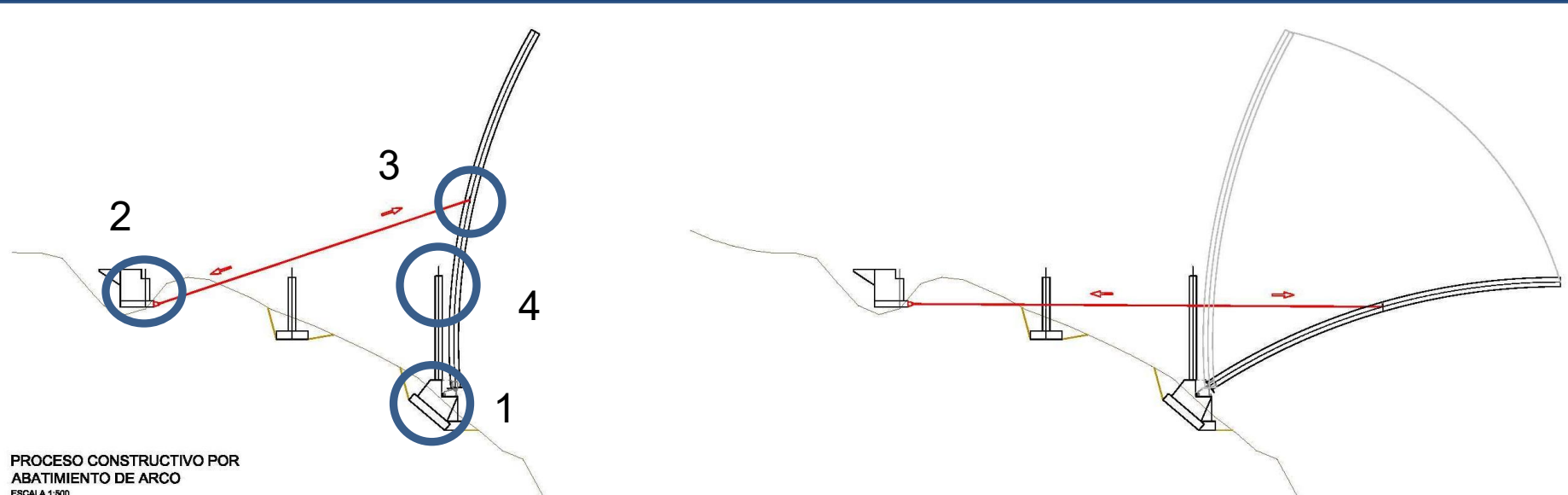
NOVIEMBRE



3. CONSTRUCCIÓN POR ABATIMIENTO DE SEMIARCOS

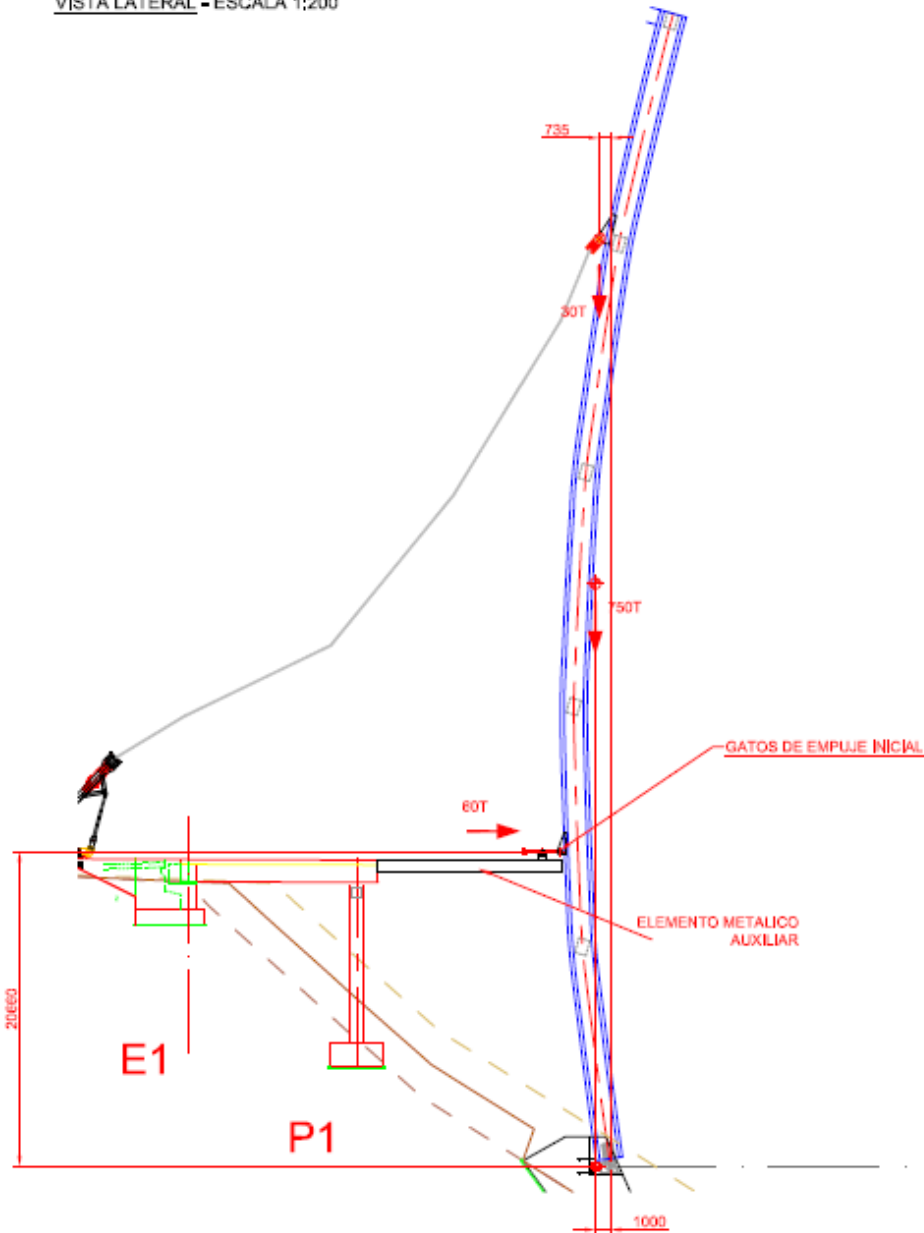






1. ROTULAS AUXILIARES. SISTEMAS DE BLOQUEO Y DE RECENTRADO
2. MARCOS DE ANCLAJE DE LOS CABLES DE RETENIDA
3. MARCOS AUXILIARES DE CONEXION CON EL SEMIARCO
4. GATOS DE LARGO RECORRIDO PARA LA ROTURA INICIAL DEL EQUILIBRIO

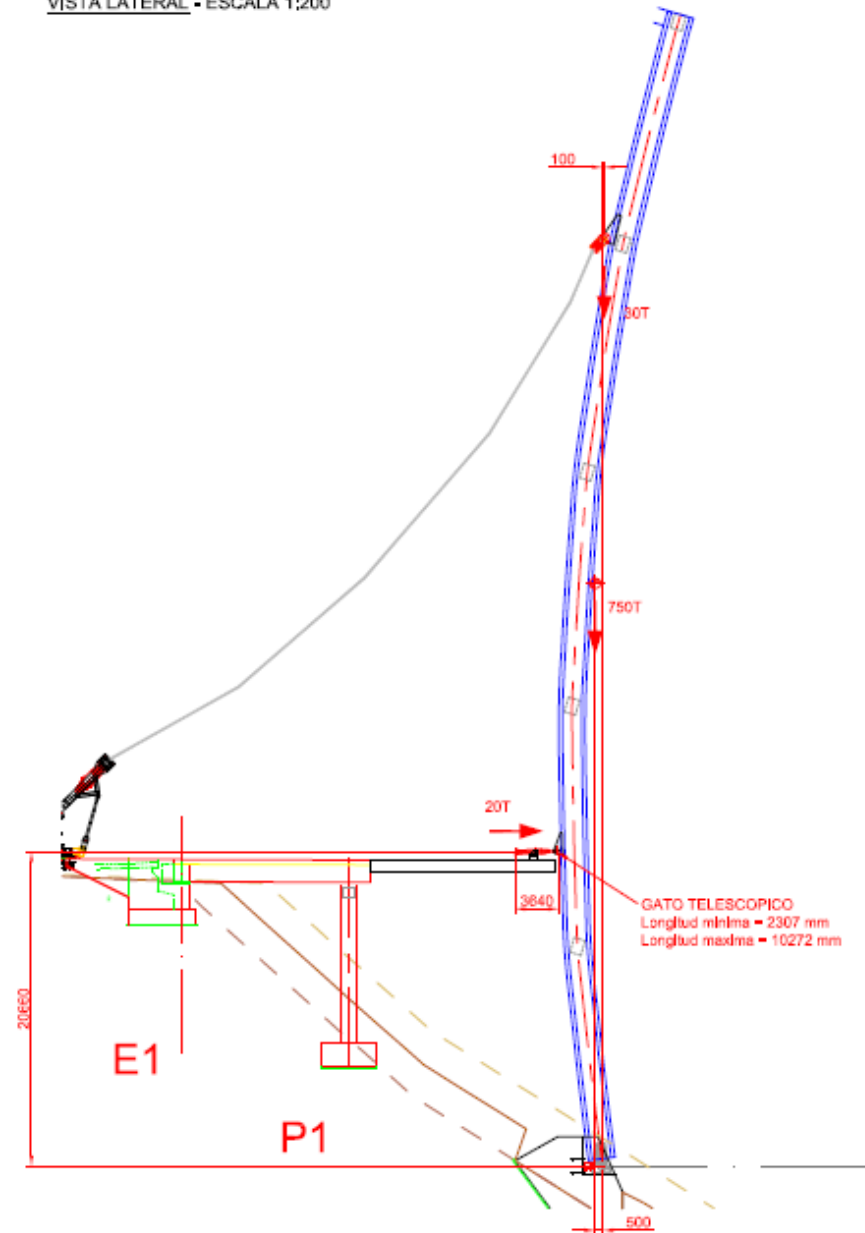
VISTA LATERAL - ESCALA 1:200



VISTA SUPERIOR - ESCALA 1:200

E1 P1

VISTA LATERAL - ESCALA 1:200

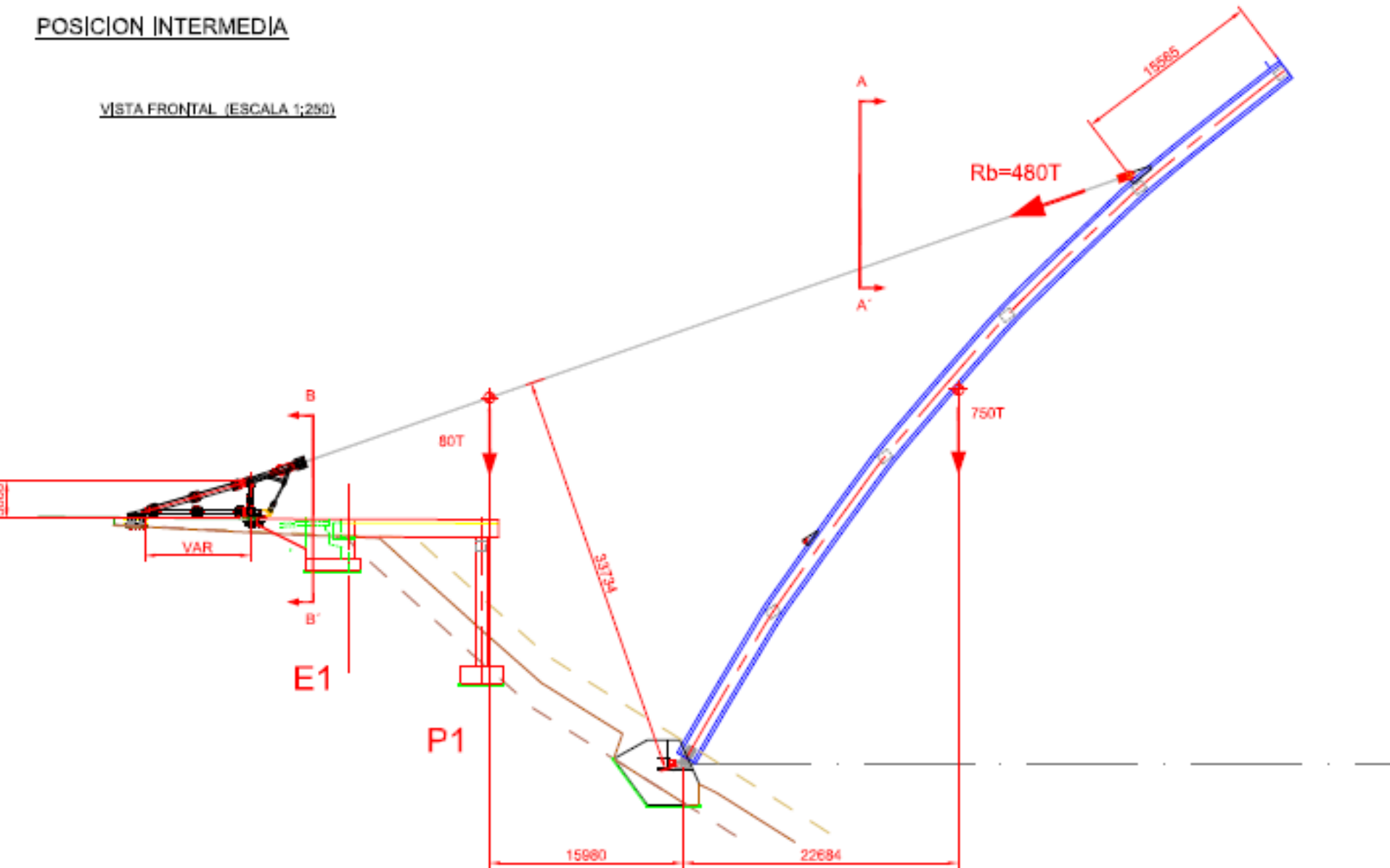


VISTA SUPERIOR - ESCALA 1:200

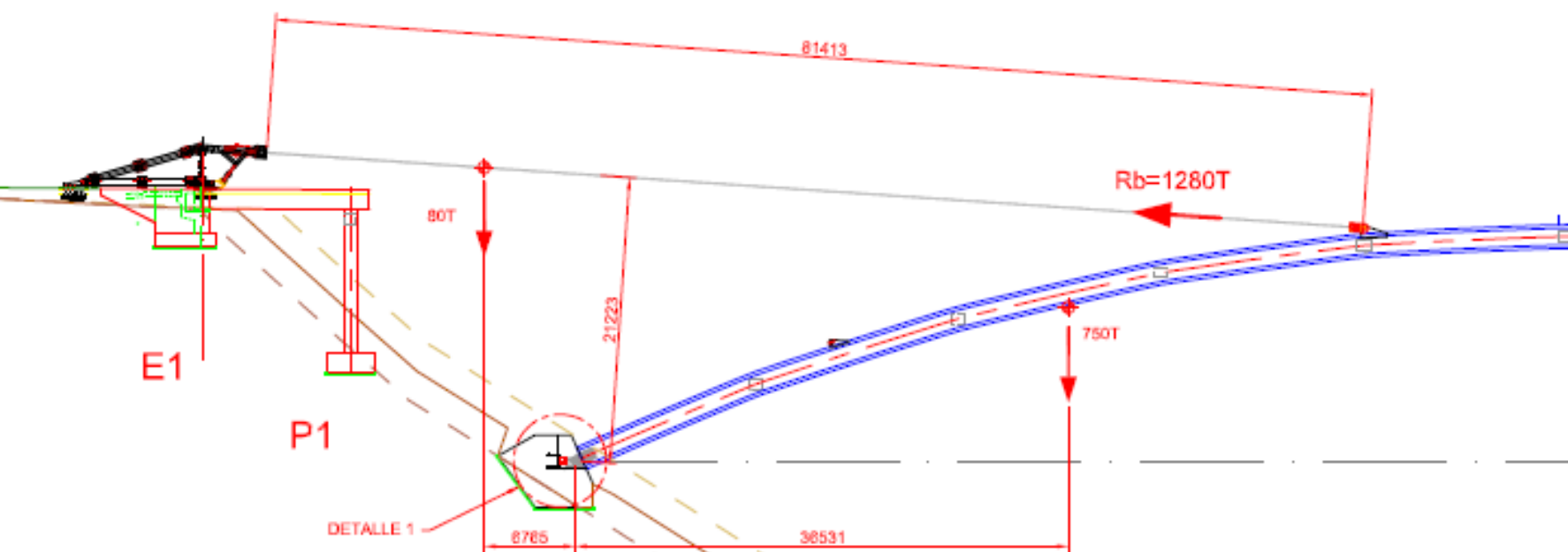
E1 P1

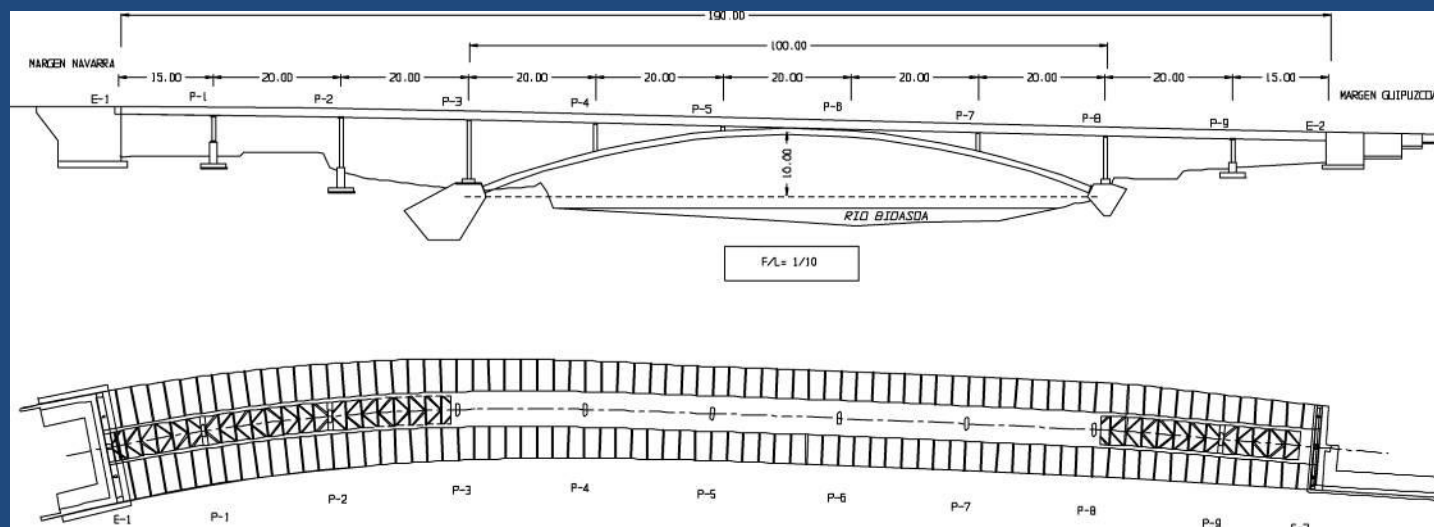
POSICION INTERMEDIA

VISTA FRONTAL (ESCALA 1:250)

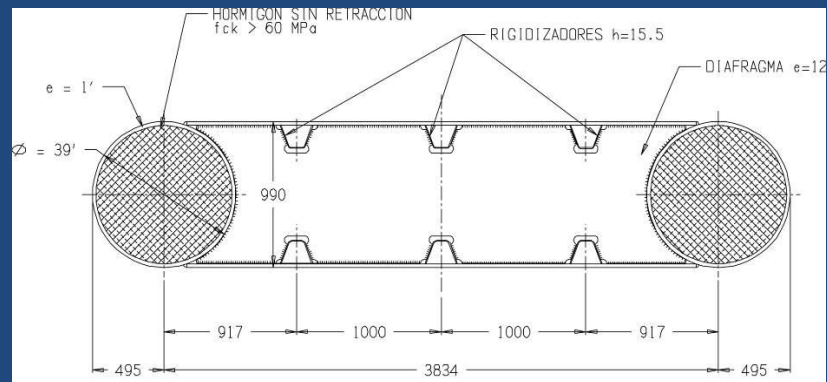


VISTA SUPERIOR (ESCALA 1:250)





NUEVO PUENTE SOBRE EL RÍO BIDASOA EN ENDARLATSA. GUIPUZCOA. ESPAÑA







ROTULAS PROVISIONALES EN ARRANQUES DE SEMIARCOS

GATOS DE CENTRADO EN ARRANQUES



MARCO DE RETENIDA



ROTULAS DE ANCLAJE DE LOS TIRANTES



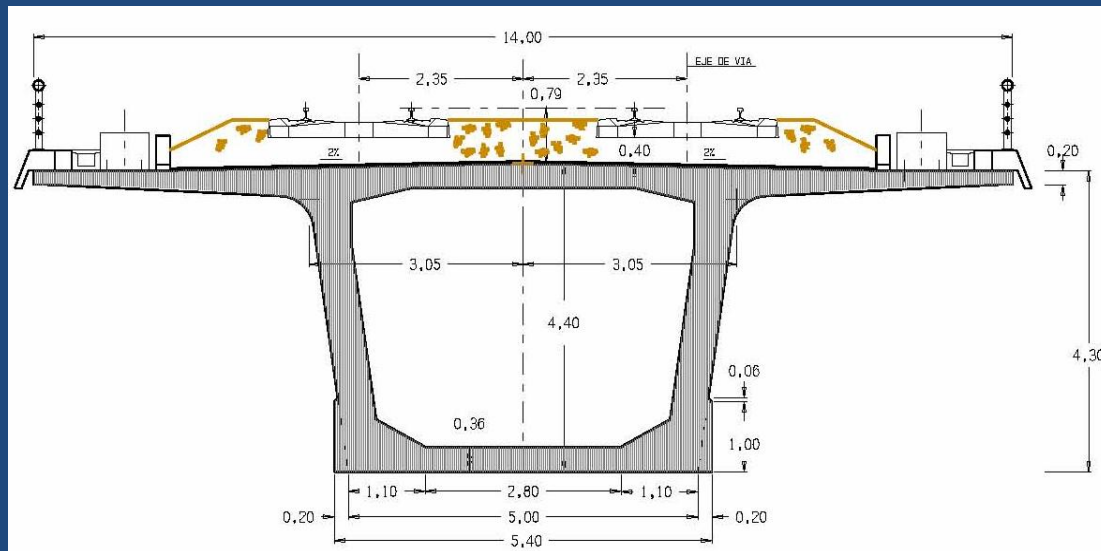
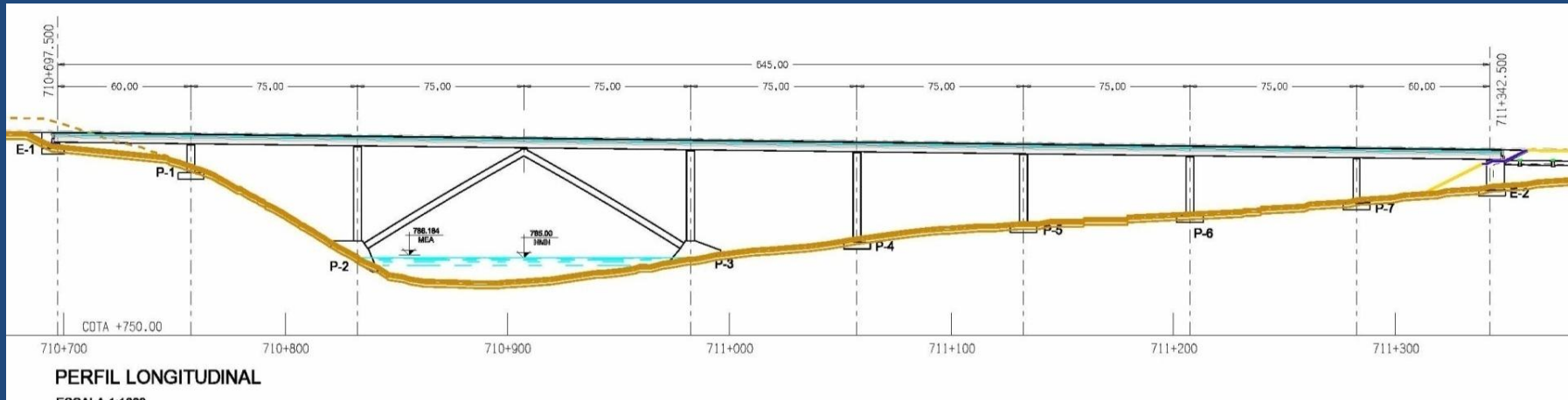
TORRETA DE ESTABILIZACION

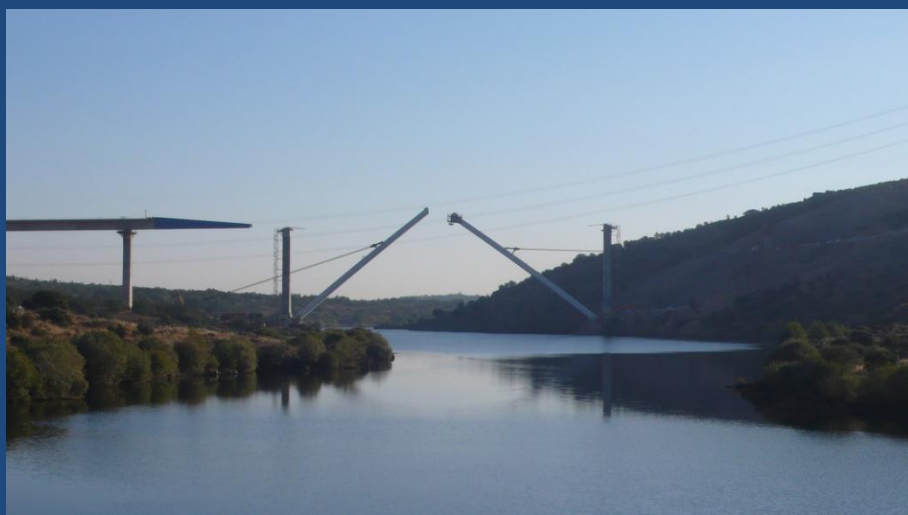
**GATOS DE RECORRIDO LARGO PARA
ROTURA DEL EQUILIBRIO E INICIO DE
ABATIMIENTO**

**ELEMENTOS PARA EL
BLOQUEO
PROVISIONAL DE
SEMIARCOS EN
CLAVE**



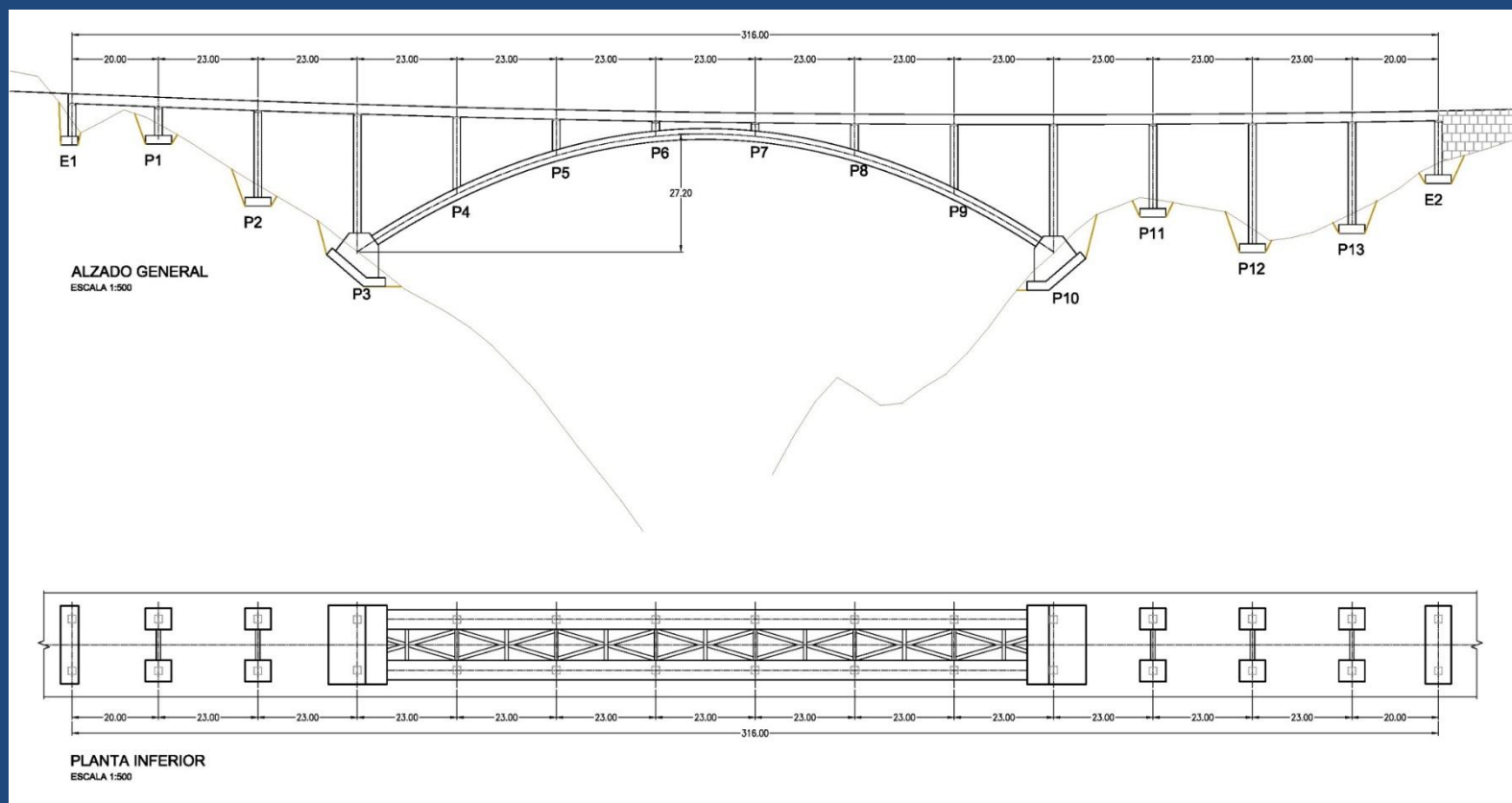
VIADUCTO SOBRE EL RIO TERA EN LA LAV MADRID-GALICIA (EN CONSTRUCCIÓN 2013) LUZ ARCO 150 m

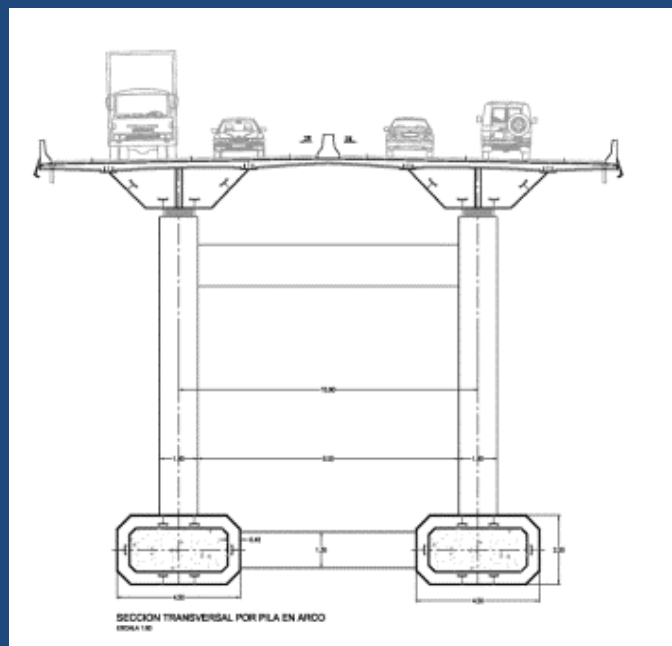
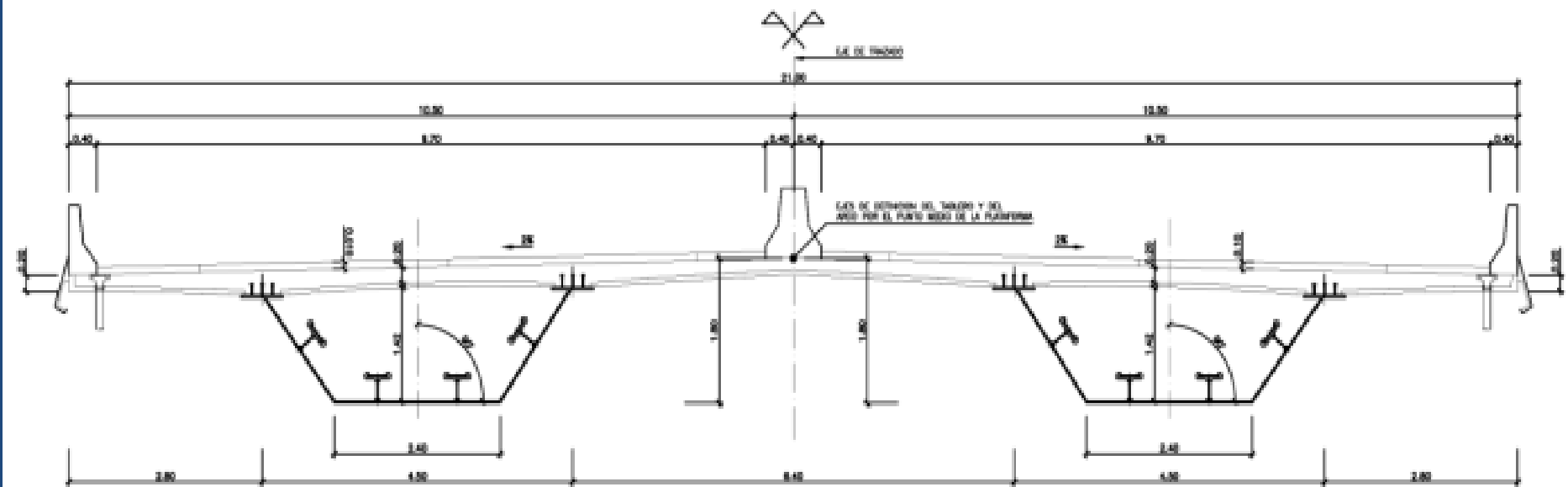




VIADUCTO SOBRE EL RIO TERA EN LA LAV MADRID-GALICIA
LONGITUD 645 m LUZ VANOS 75 m LUZ ARCO 150 m

PUENTE DE LA CULTURA SOBRE EL RÍO CHILI. AREQUIPA. LUZ 175 M PROYECTO 2013. CONSTRUCCIÓN 2024







ACIES

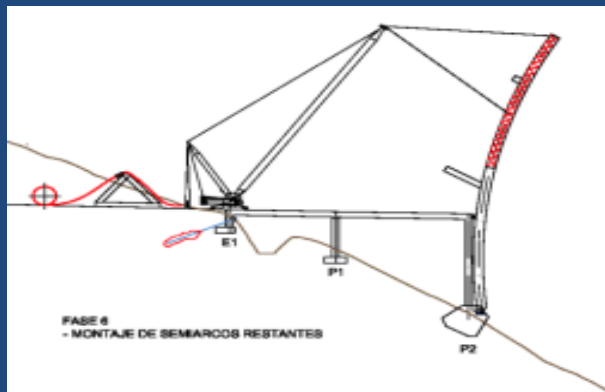
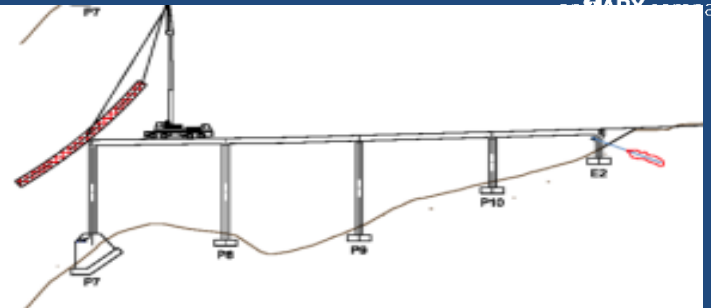
Asociación Colombiana de Ingeniería Estructural

CFC

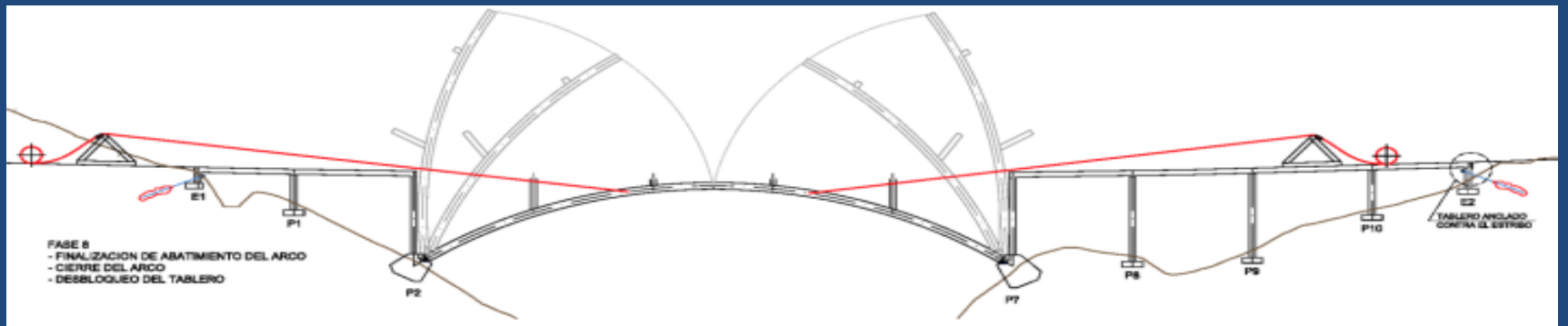
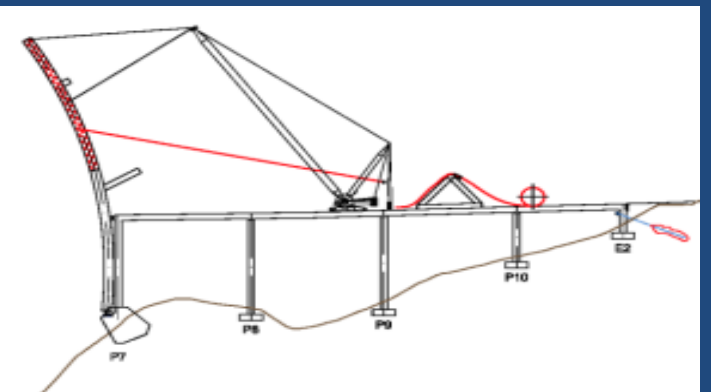
any



FASE 4
- ABATIMIENTO DE SEMIARCOS APOYADOS EN ROTULAS SOBRE TABLERO



FASE 6
- MONTAJE DE SEMIARCOS RESTANTES



FASE 8
- FINALIZACION DE ABATIMIENTO DEL ARCO
- CIERRE DEL ARCO
- DESBLOQUEO DEL TABLERO















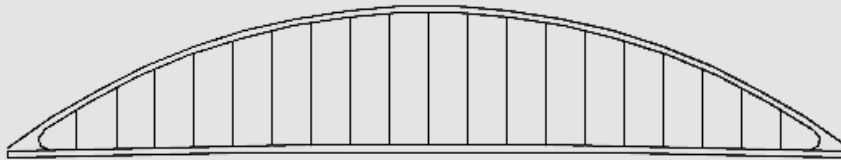




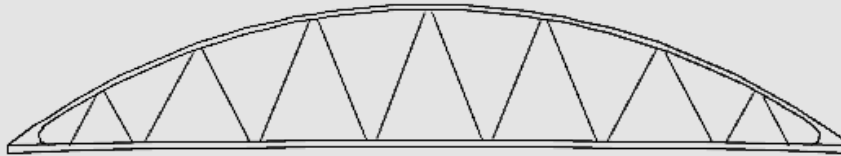
***PROPUESTA DE PUENTE ARCO CONSTRUIDO POR ABATIMIENTO PARA EL
CRUCE DEL RÍO CHICHE. QUITO. LUZ 224 M
CFC 2014***



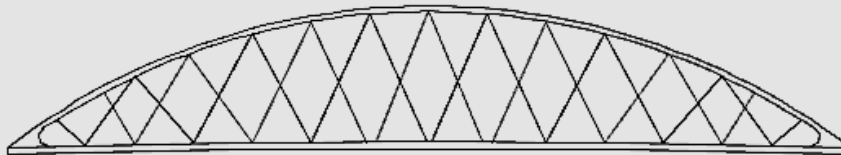
PARTE III. ARCOS AUTOANCLADOS CON TABLERO INFERIOR



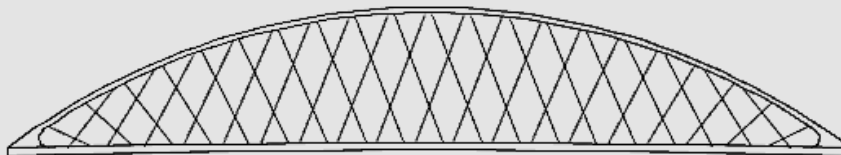
PENDOLAS VERTICALES



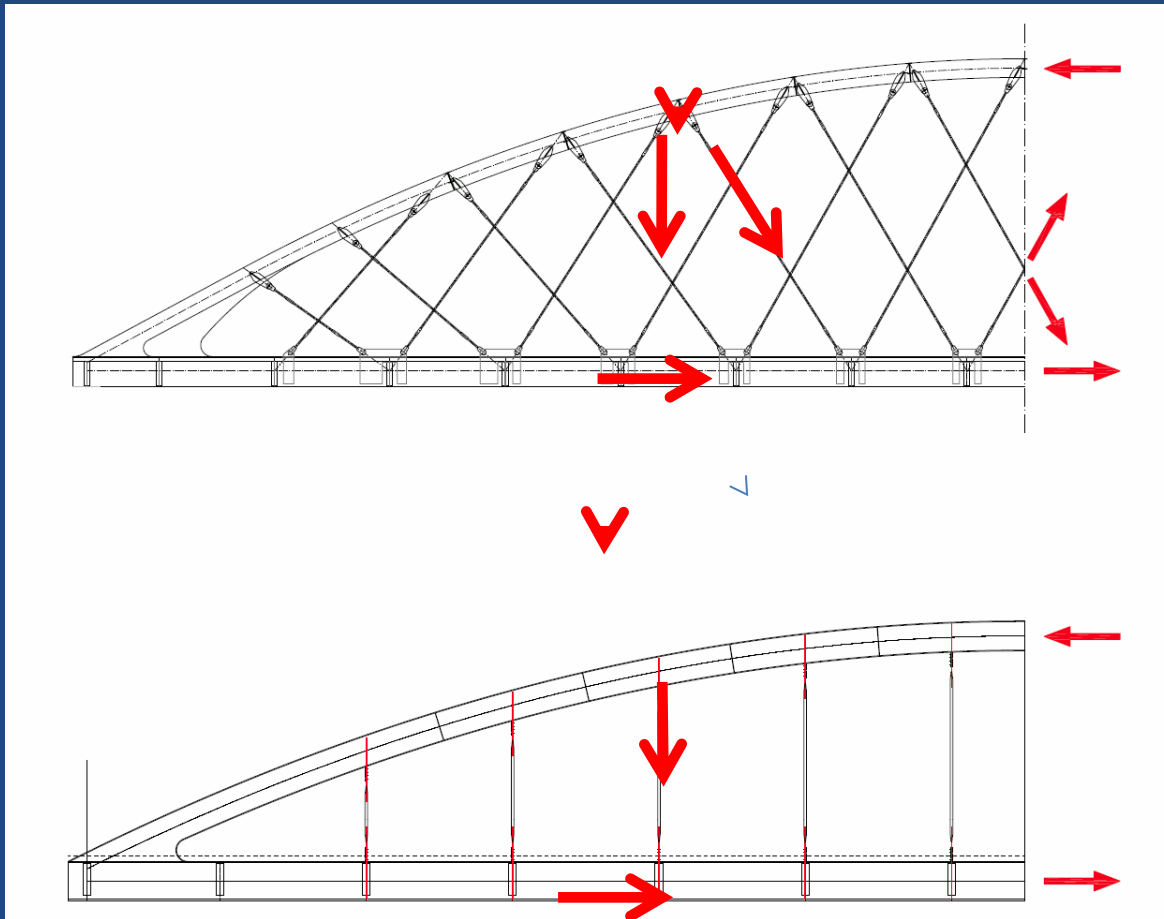
- ***PENDOLAS INCLINADAS
(NIELSEN (1))***



***PENDOLAS INCLINADAS
(NIELSEN (2))***

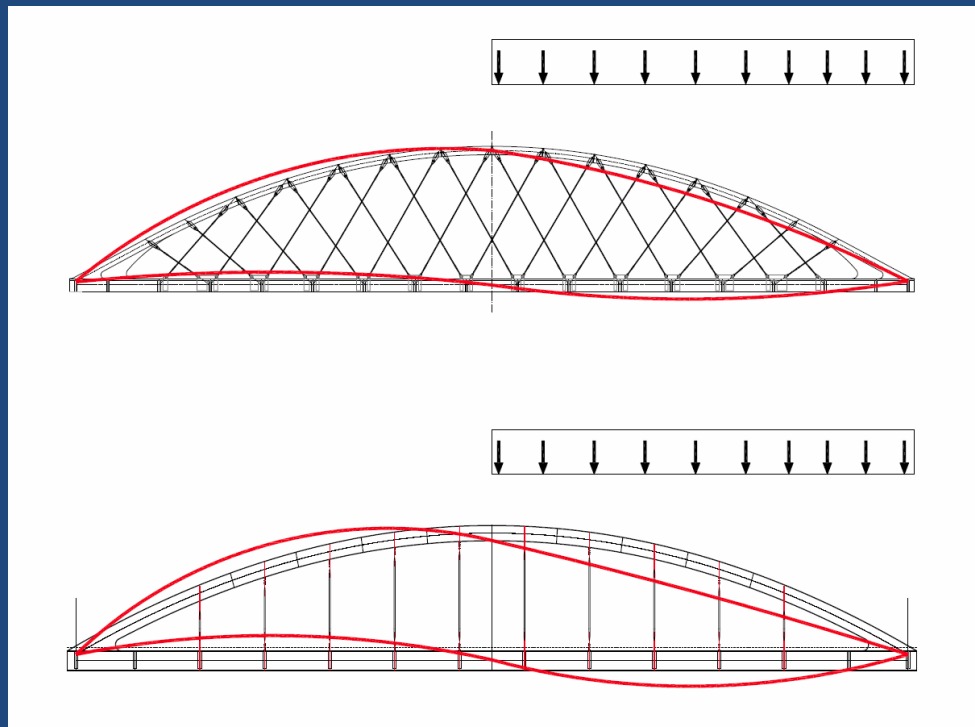


***PENDOLAS INCLINADAS
(NETWORK)***



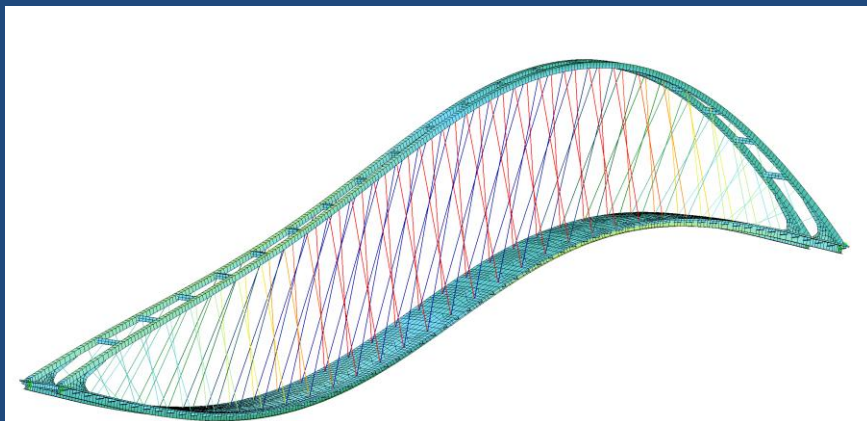
COMPORTAMIENTO RESISTENTE:

DIFERENCIA DE COMPORTAMIENTO FRENTE A CARGAS ASIMÉTRICAS

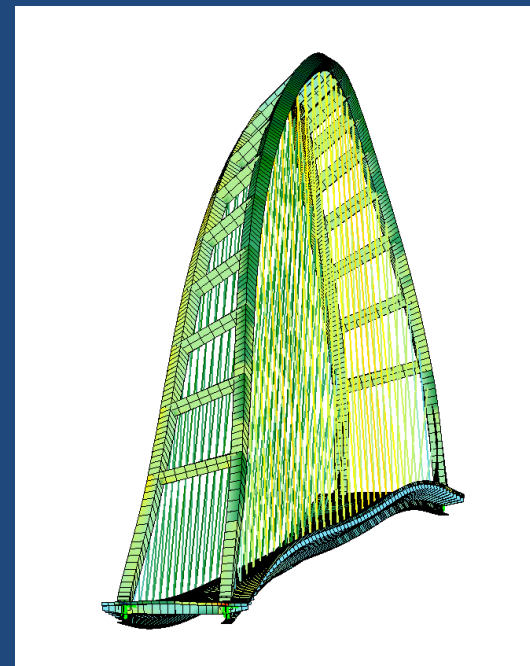


Construcción de Puente Raúl Marín Balmaceda y accesos,
Comuna de Cisnes, Provincia de Aysén, Región de Aysén

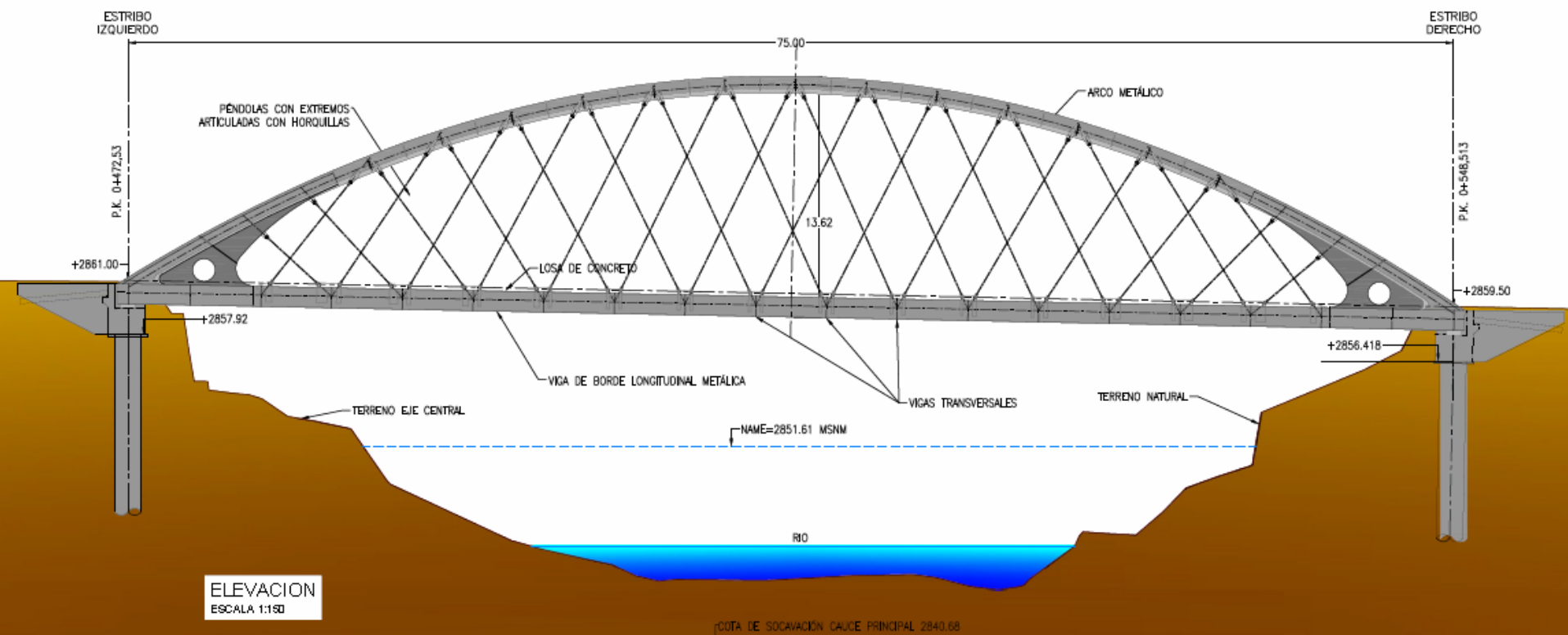
PUENTE ARCO

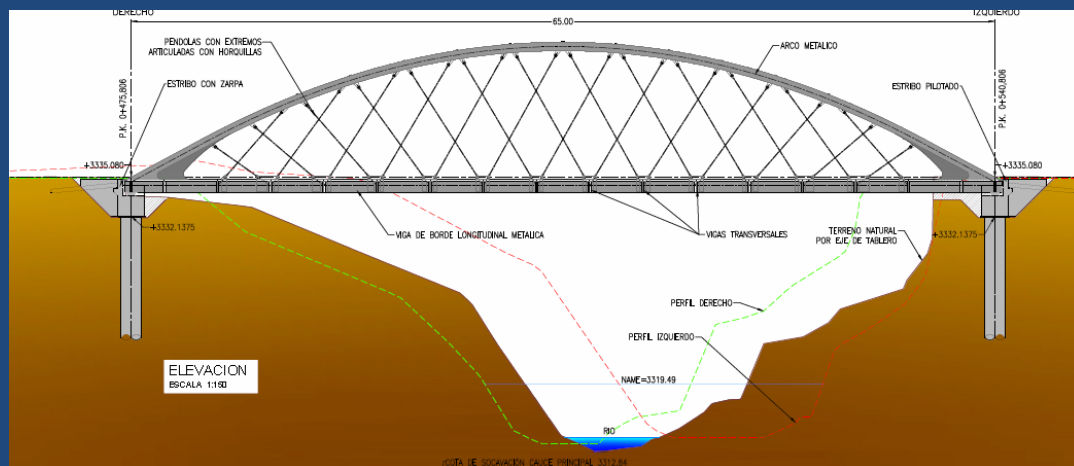


Modo vertical 0.84 Hz

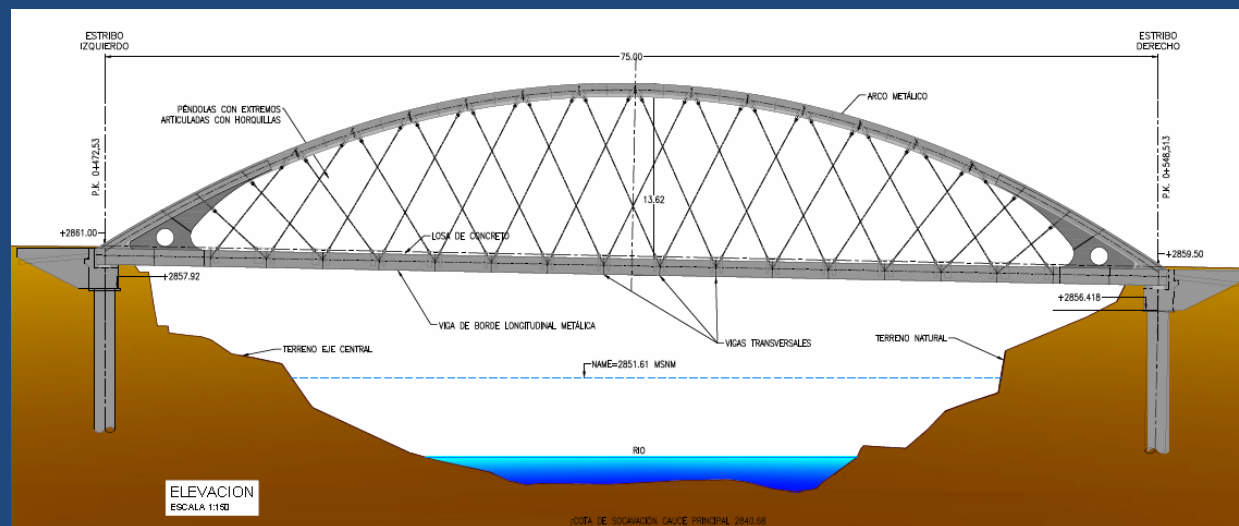


Modo de torsión 1.53 Hz



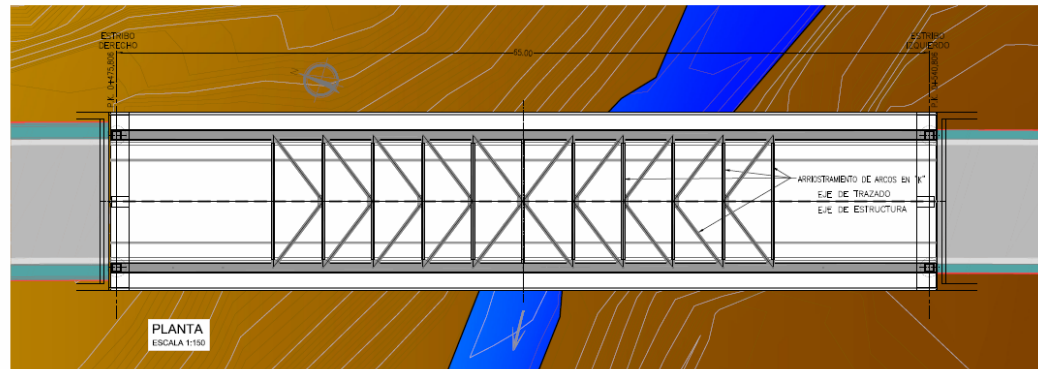
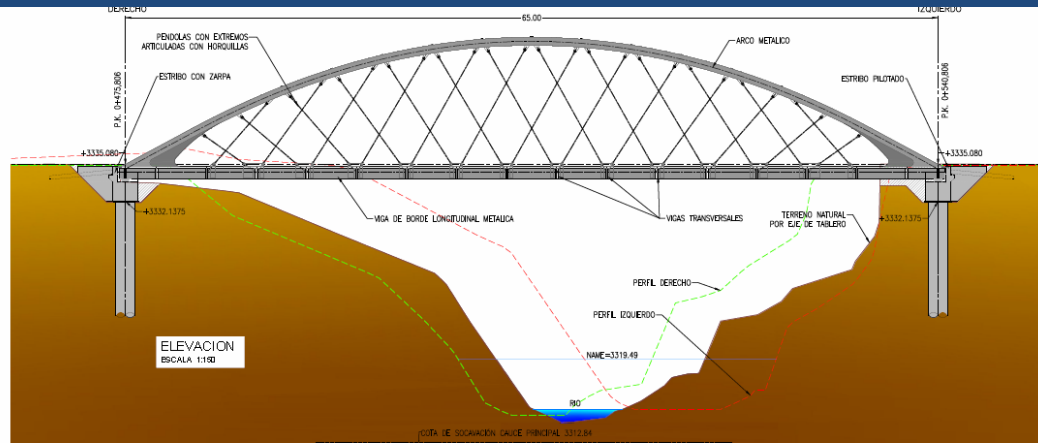


- **LUCES HASTA 65 M**



- **LUCES 75 Y 85 M**

LUZ 65 M

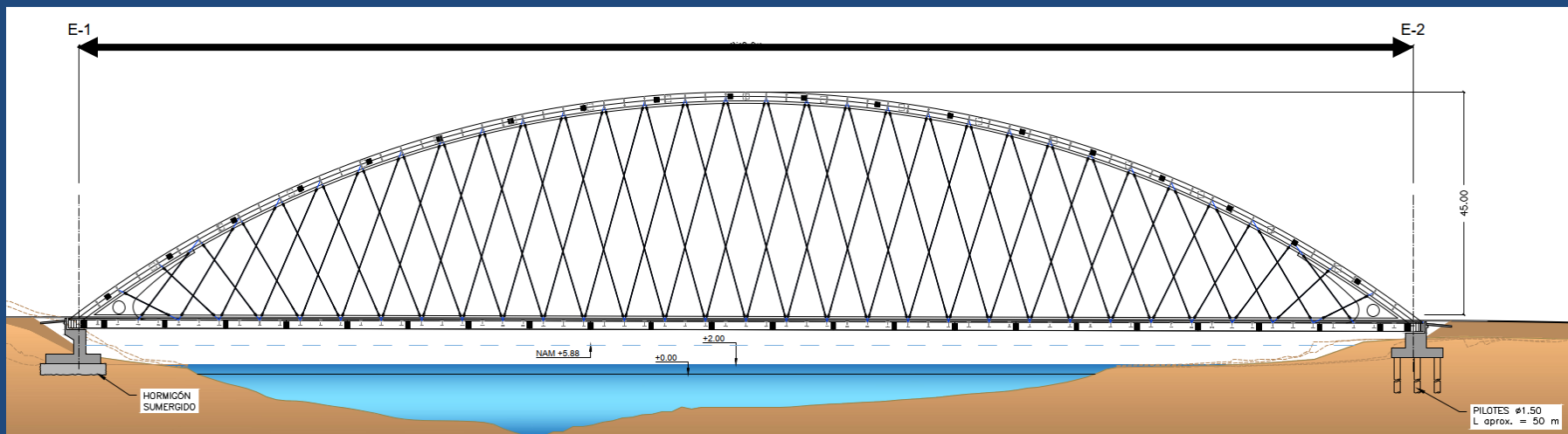


1. CACHIMAYO
2. CUSIPATA

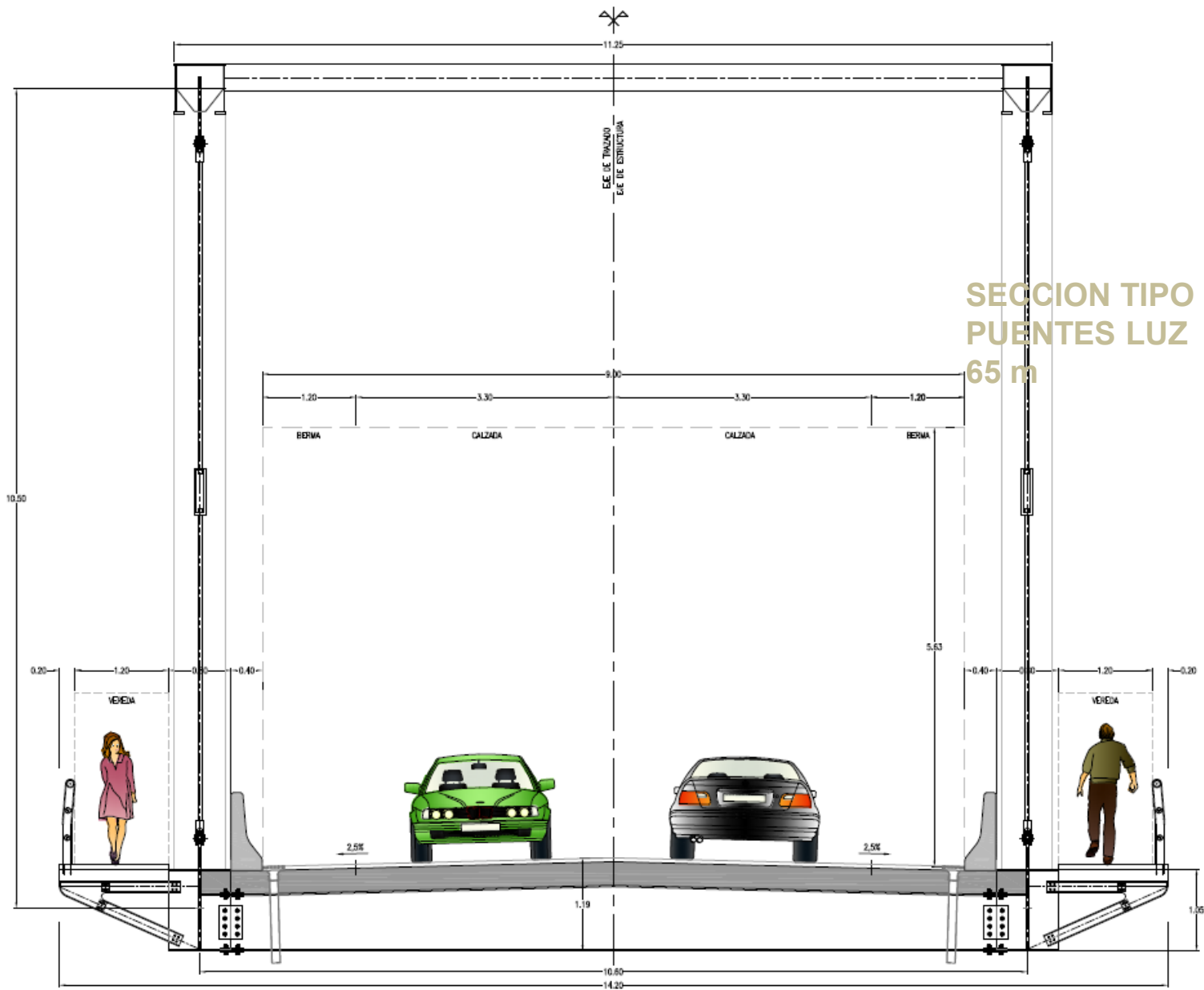
- ANCHURA :
- LUZ 65 M (ARCOS VERTICALES)
- FLECHA 10.5
- $f/L = 1 / 6.2$

Construcción de Puente Raúl Marín Balmaceda y accesos,
Comuna de Cisnes, Provincia de Aysén, Región de Aysén

PUENTE ARCO



CDI, PUENTE RAÚL MARÍN BALMACEDA



SECCION TIPO
PUENTES LUZ
65 m

SECCIÓN TRANSVERSAL POR CENTRO DE ARCO
ESCALA 1:25

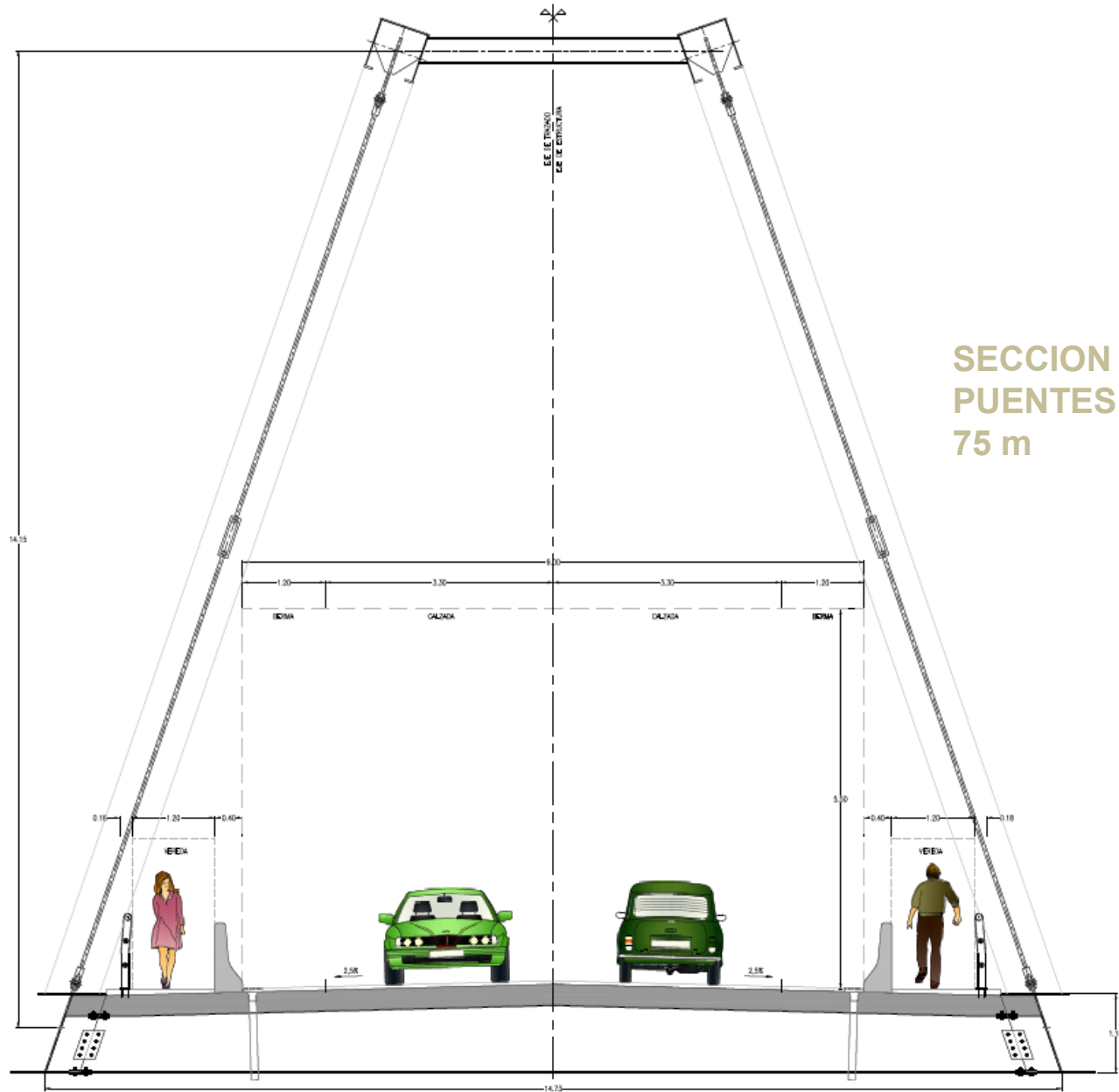


ACIES

Asociación Colombiana de Ingenieros

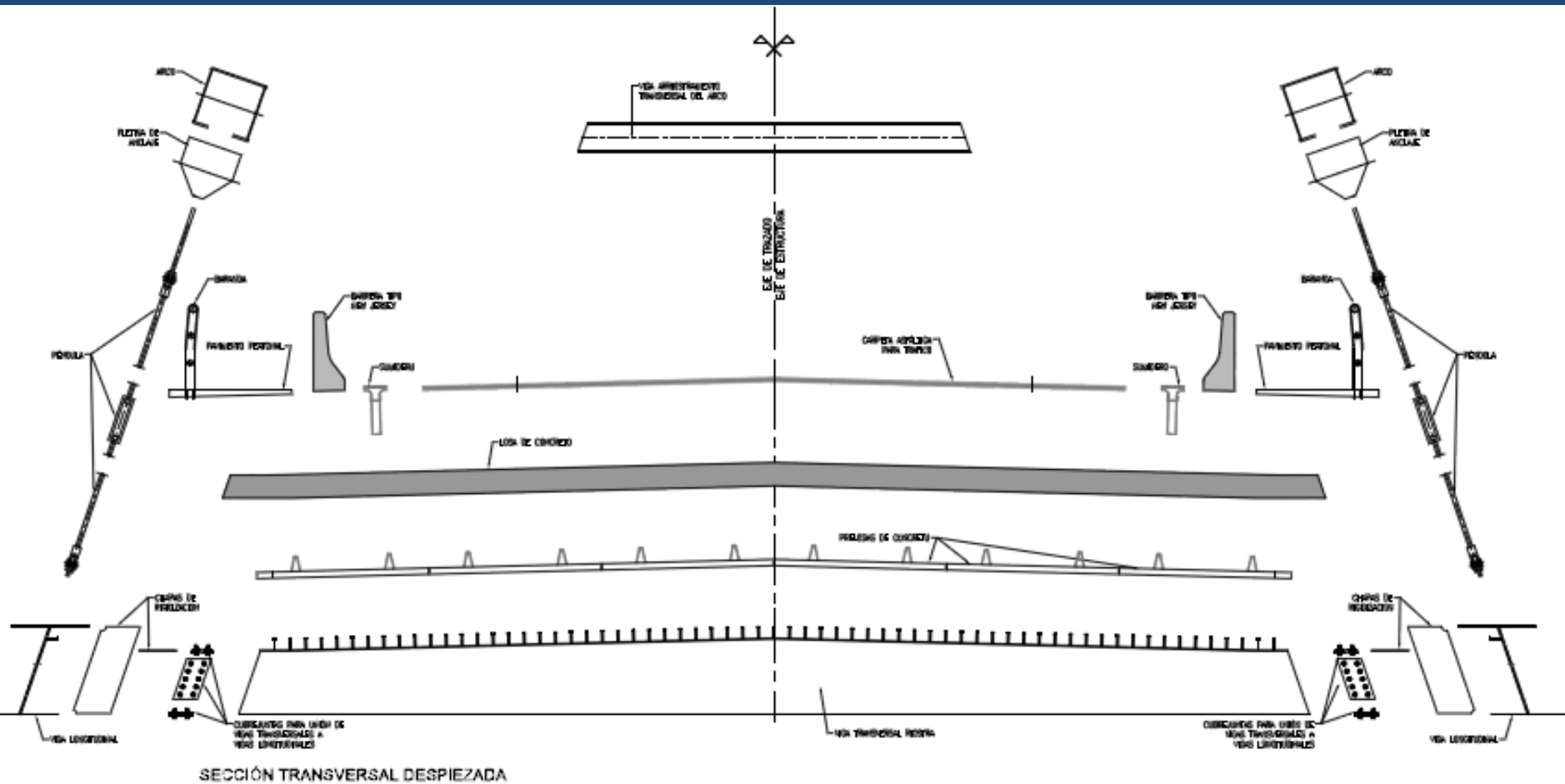
CFC

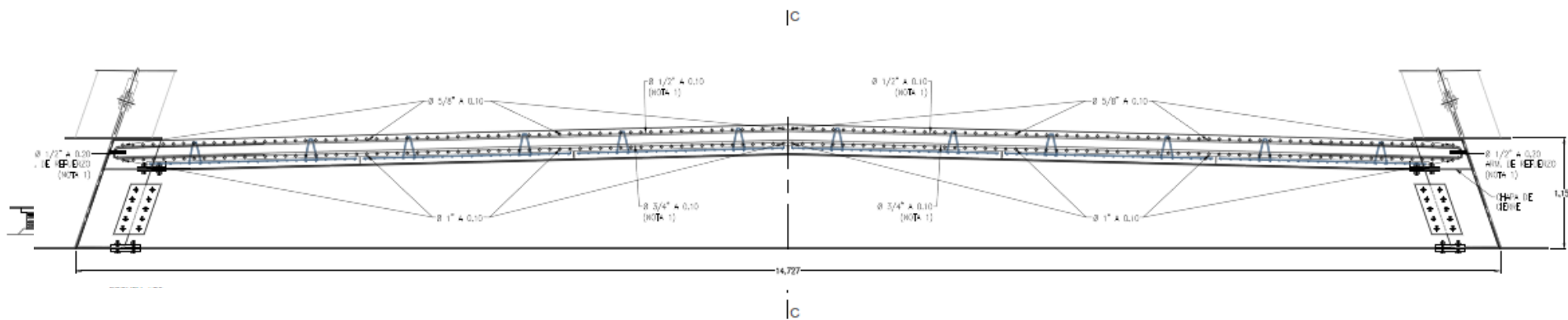
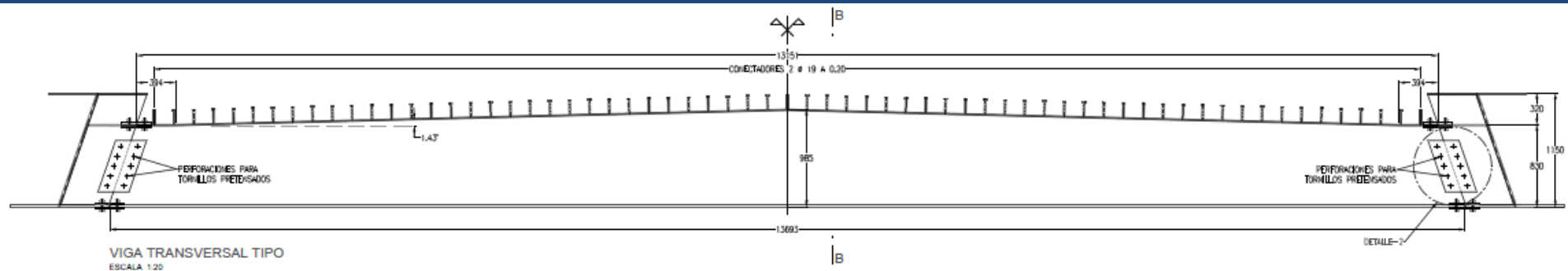
company

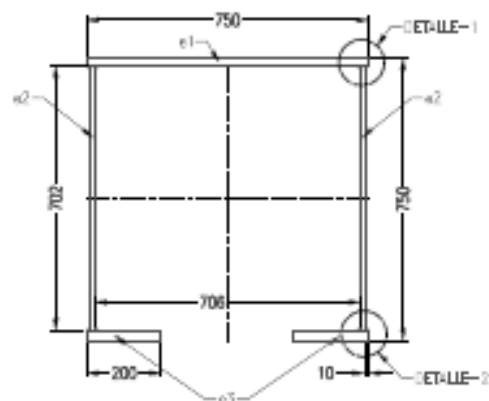
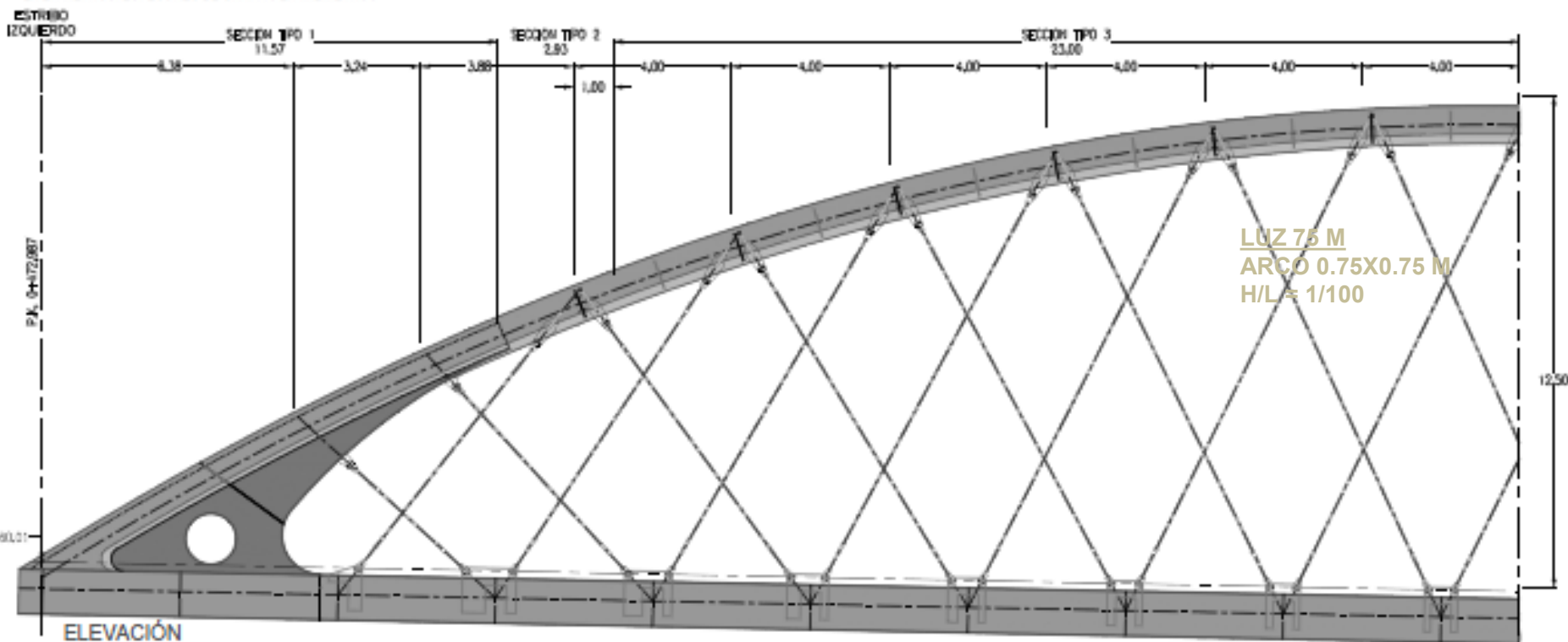


**SECCION TIPO
PUENTES LUZ
75 m**

SECCION TRANSVERSAL POR CENTRO DE ARCO
ESCALA 1:25







LUZ 65 M
ARCO 0.65X0.65 M
H/L = 1/100





PUENTE DE CHAMORRO. PERU.
CFC 2022. LUZ 165

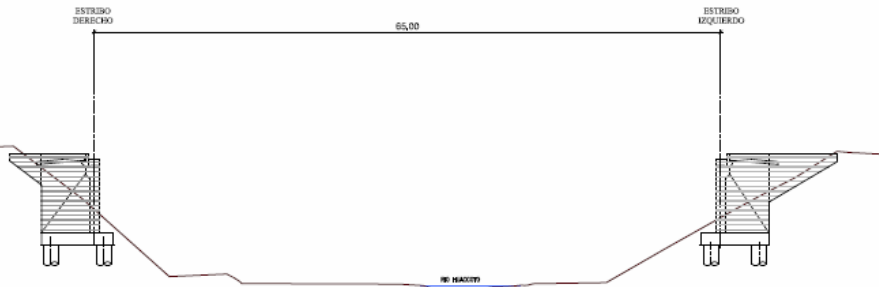


NOMBRE
PRESENTACION



PROCESO DE CONSTRUCCIÓN.

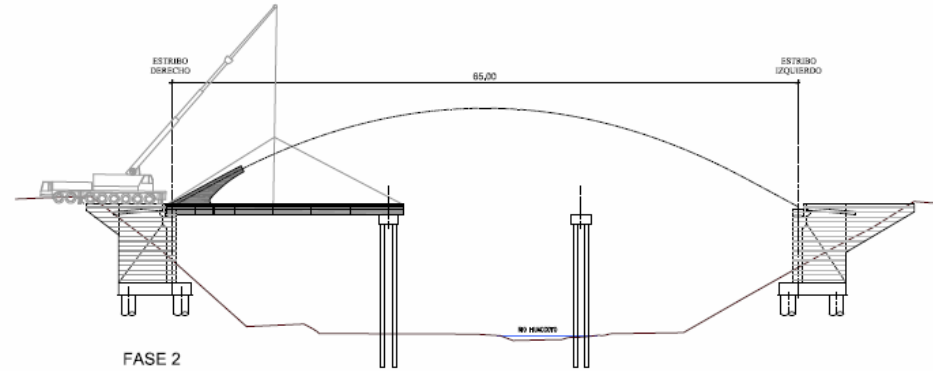
SOLUCIÓN 1 : MONTAJE EN POSICIÓN DEFINITIVA SOBRE APEOS



FASE 1

ESCALA 1:250

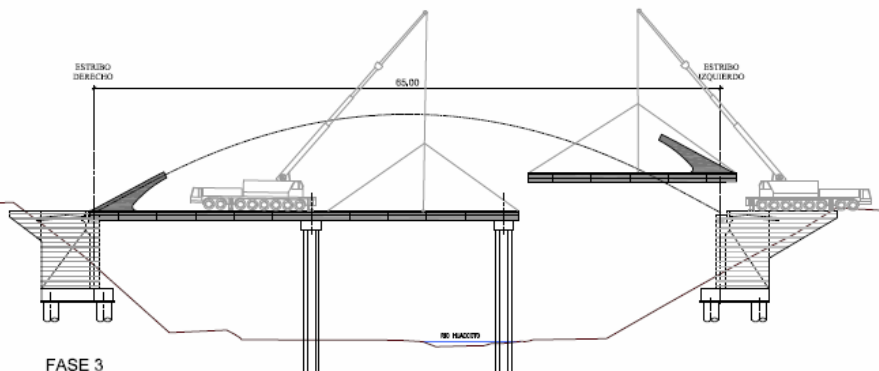
- PREPARACIÓN DEL TERRENO, EXCAVACIÓN Y EJECUCIÓN DE LOS ESTRIBOS



FASE 2

ESCALA 1:250

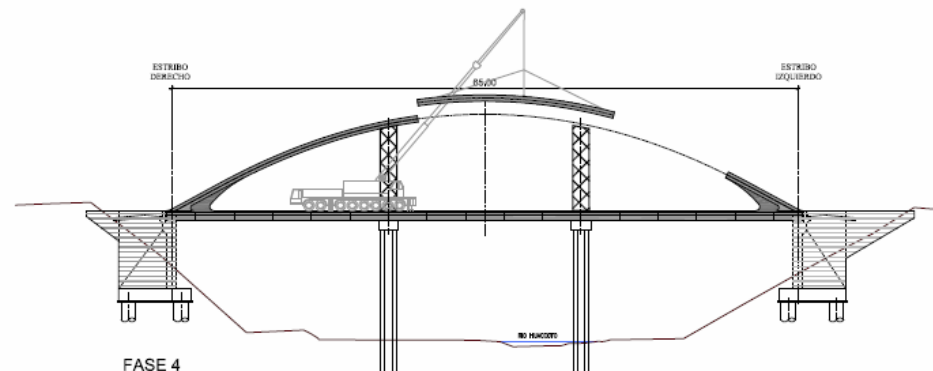
- MONTAJE DE APEOS PROVISIONALES
- MONTAJE DEL TABLERO METALICO POR TRAMOS APOYADOS EN APEOS



FASE 3

ESCALA 1:250

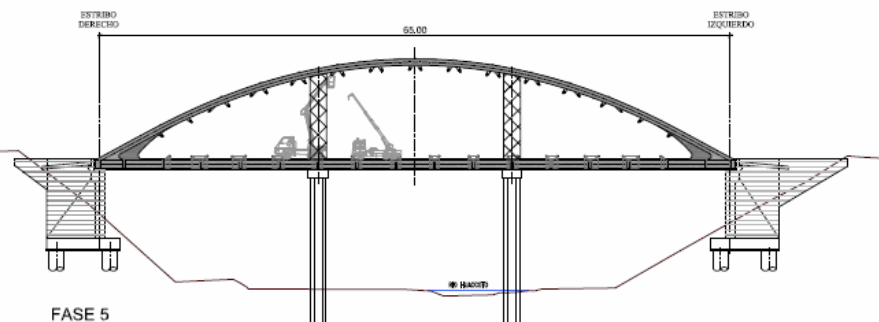
- CIERRE DEL TABLERO METALICO POR TRAMOS APOYADOS EN APEOS



FASE 4

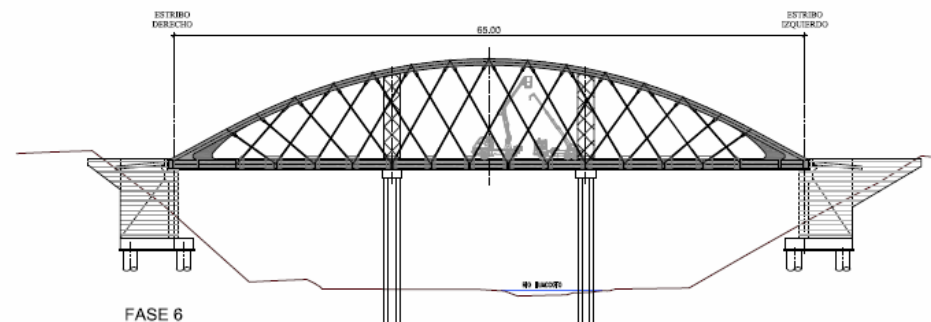
ESCALA 1:250

- MONTAJE DE APEOS PARA APOYO DE LOS ARCOS
- MONTAJE DEL ARCO POR TRAMOS APOYADOS EN LOS APEOS



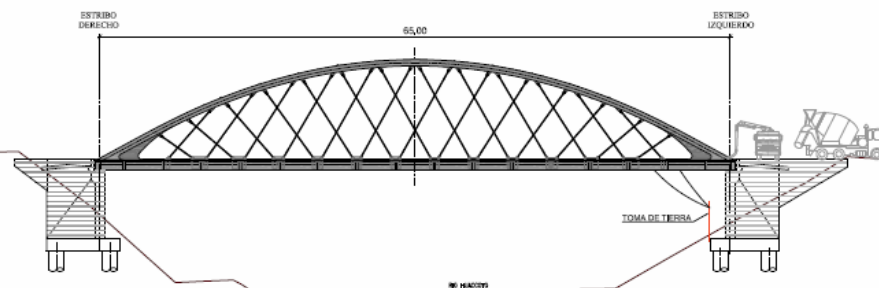
FASE 5
ESCALA 1:250

- MONTAJE DE RIOSTRAS ENTRE ARCOS Y ESPERAS DE PENDOLAS



FASE 6
ESCALA 1:250

- COLOCACION DE PENDOLAS Y PUESTA EN CARGA DE LAS MISMAS
- DESAPEO



FASE 7
ESCALA 1:250

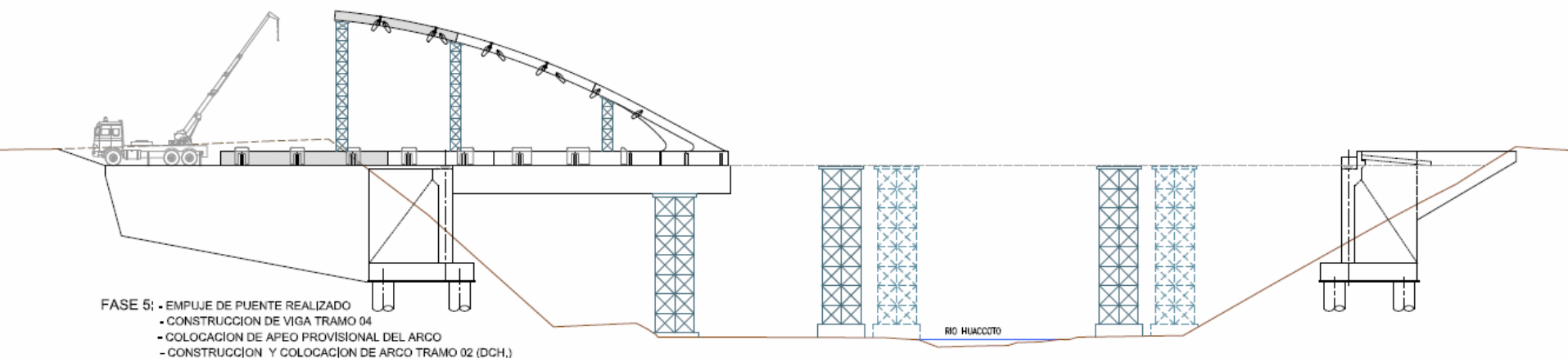
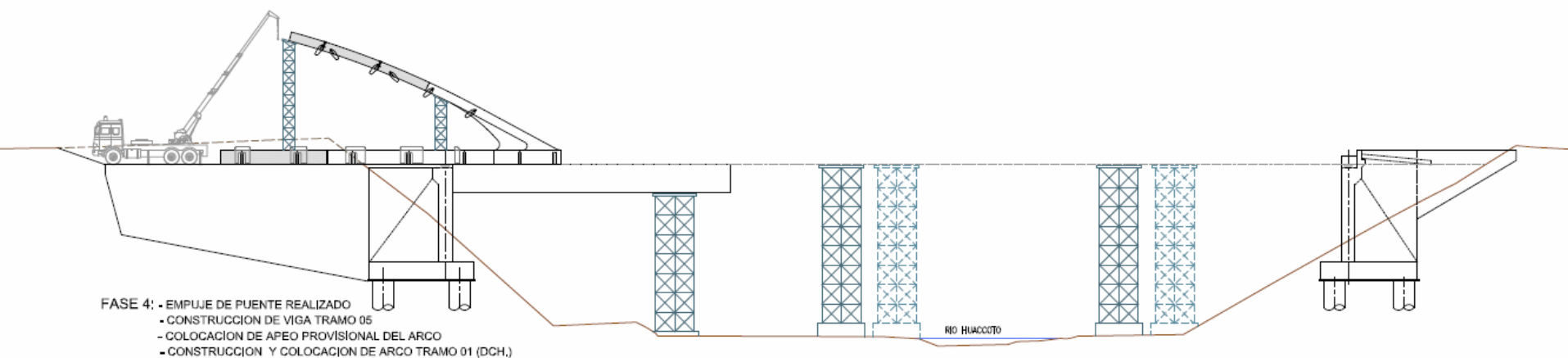
- EJECUCION DE LOSA Y VOLADIZOS
- EQUIPAMIENTOS Y ACABADOS

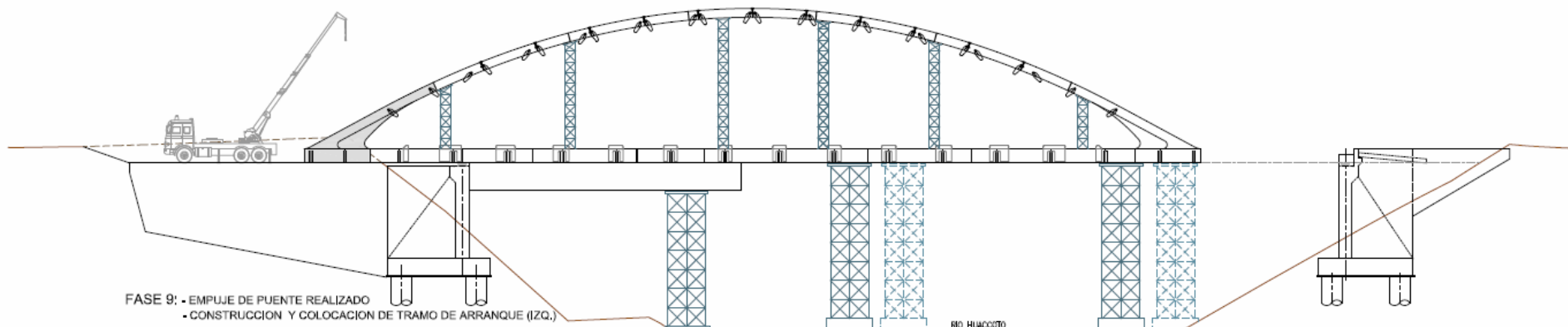
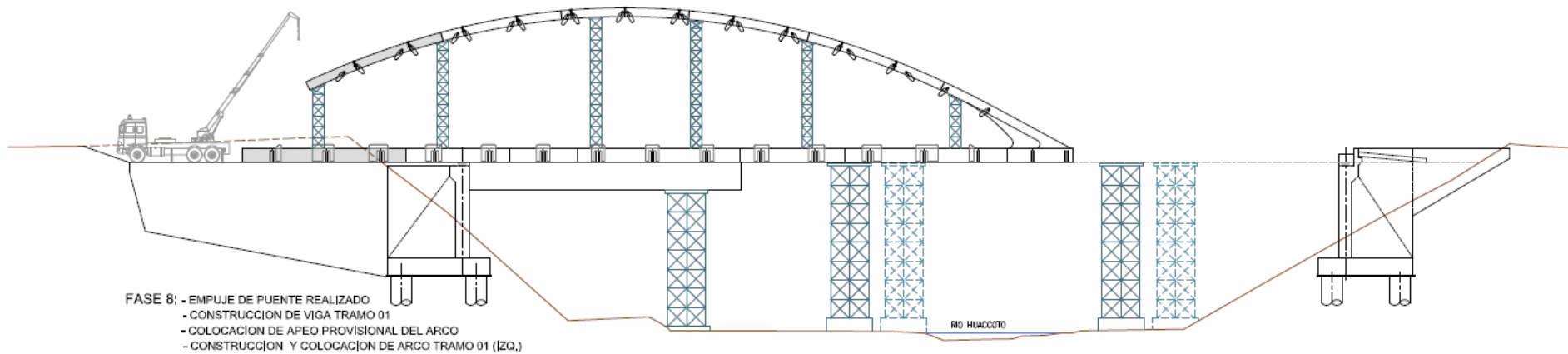
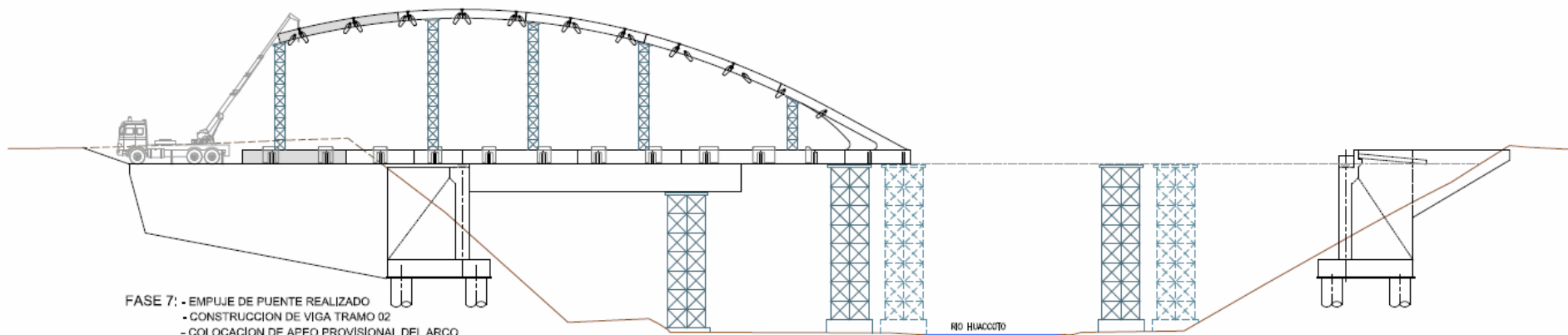
PROCESO DE CONSTRUCCIÓN. SOLUCIÓN 1 : MONTAJE EN POSICIÓN DEFINITIVA SOBRE APEOS



PROCESO DE CONSTRUCCIÓN - 2

SOLUCIÓN 2: MONTAJE POR LANZAMIENTO SOBRE APEOS PROVISIONALES





FASE 10: - EMPUJE DEL PUENTE A SU POSICION DEFINITIVA
- RETIRADA DE APEOS PROVISIONALES DEL ARCO
- ACABADO DE ESTRIBO IZQUIERDO Y HORMIGONADO DE LOSA

FASE 11: - COLOCACION DE PENDOLAS
- PUESTA EN CARGA DE PENDOLAS

FASE 12: - RETIRADA DE ELEMENTOS AUXILIARES
- ACABADOS

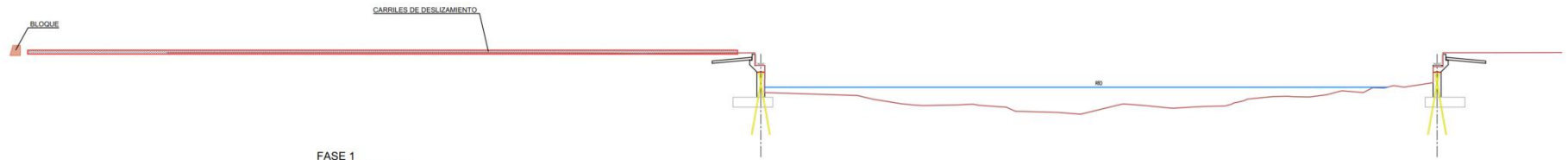
RIO HUACOTO

RIO HUACOTO

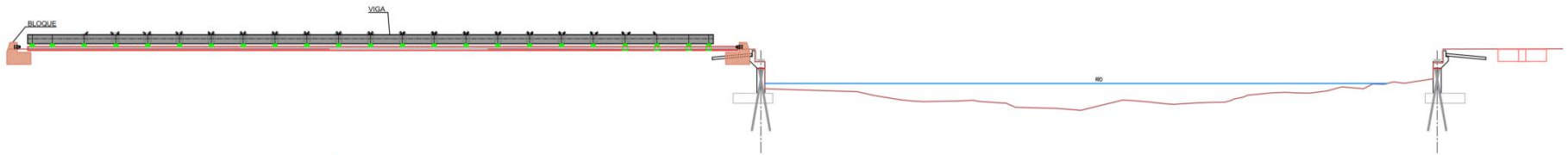
RIO HUACOTO



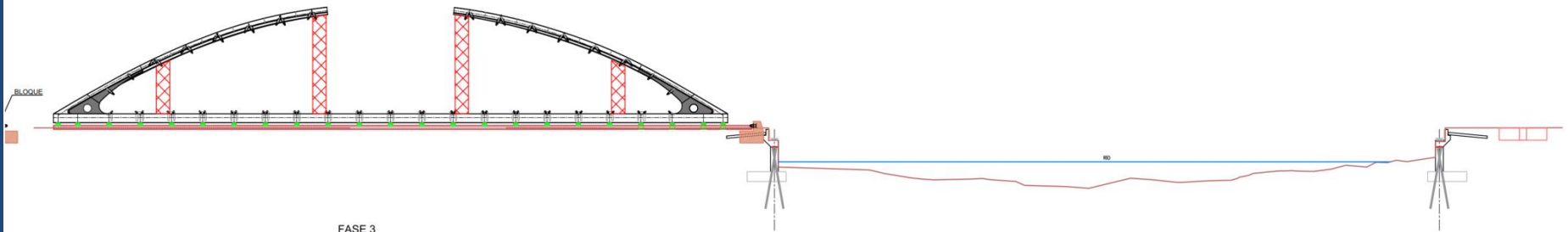




- FASE 1**
- **CIMENTACIONES**
- EJECUCIÓN DE CIMENTACIONES DE TORRE
- EJECUCIÓN MICROPILOTES
- RECALCE / REFUERZO CIMENTACIONES DE ESTRIBOS
- CONSTRUCCIÓN CARRIL DE LANZAMIENTO
- CONSTRUCCIÓN DE BLOQUES DE RETENIDA

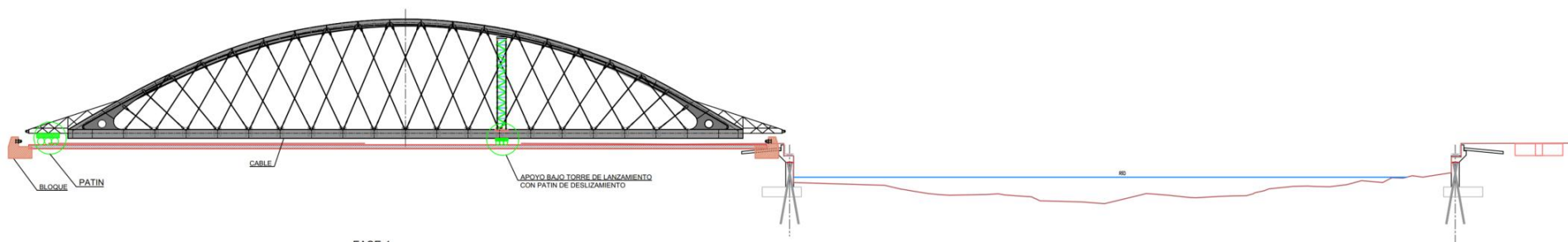


- FASE 2**
- **ESTRUCTURA METÁLICA (1)**
- MONTAJE DE LA ESTRUCTURA METÁLICA DEL TABLERO CON APEOS SOBRE EL CARRIL DE LANZAMIENTO



- FASE 3**
- **ESTRUCTURA METÁLICA (2)**
- MONTAJE DE ARCO METÁLICO SOBRE TORRES PROVISIONALES
- MONTAJE DE LAS PÉNDOLAS
- RETIRADA DE TORRES PROVISIONALES DE MONTAJE DE ARCOS

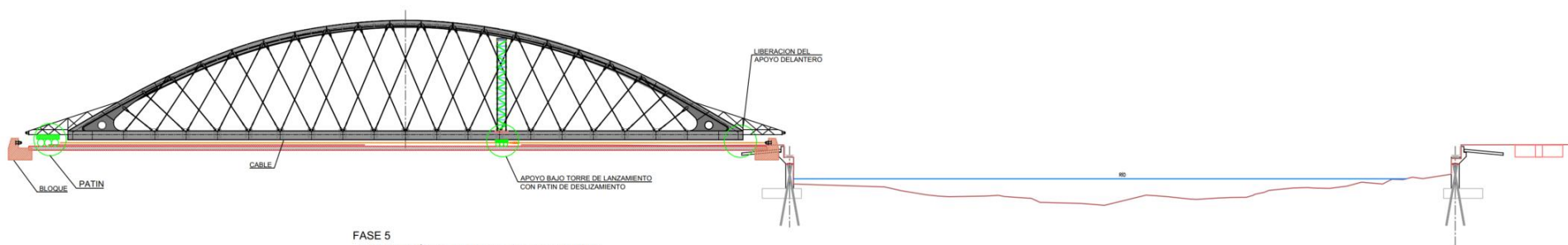
NOTA: LAS SECUENCIAS Y DETALLES INDICADAS EN LOS ESQUEMAS DE CONSTRUCCIÓN SON MERAMENTE INDICATIVOS Y NO PODRÁN TOMARSE COMO DEFINITIVOS SIN EL CORRESPONDIENTE DESARROLLO A CARGO DEL CONTRATISTA. EL CONTRATISTA DEBERÁ PROPONER UN PROCEDIMIENTO DETALLADO AJUSTADO A LAS DIVERSAS CONDICIONES DE OBRA (PREDIALES, CLIMÁTICAS, FLUVIALES...) Y A LOS EQUIPOS QUE TENGA PREVISTO EMPLEAR PARA LA



FASE 4

-PUESTA EN CARGA DE LAS PÉNDOLAS

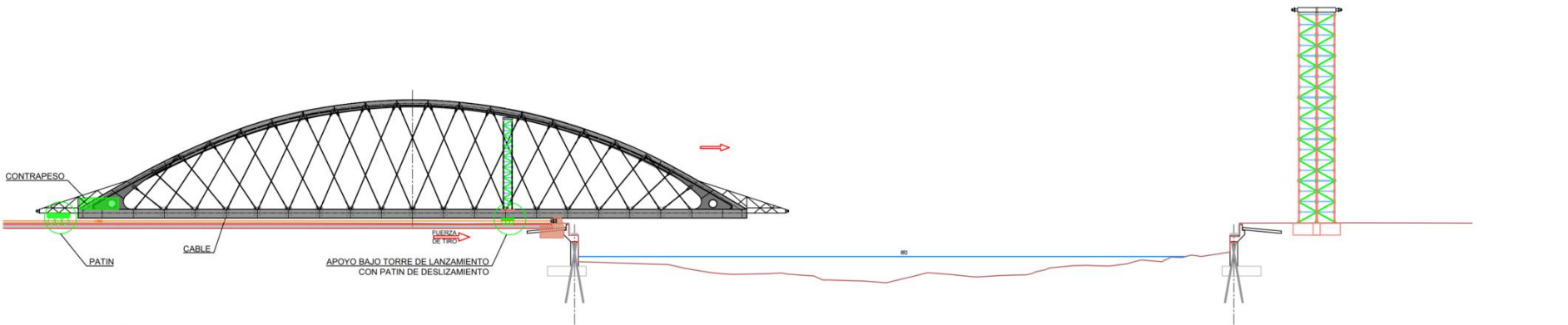
-PUESTA EN CARGA DE LAS PÉNDOLAS DESCIMBRANDO PROGRESIVAMENTE LOS APEOS PROVISIONALES HASTA DEJAR LA ESTRUCTURA APOYADA SOLO EN AMBOS EXTREMOS



FASE 5

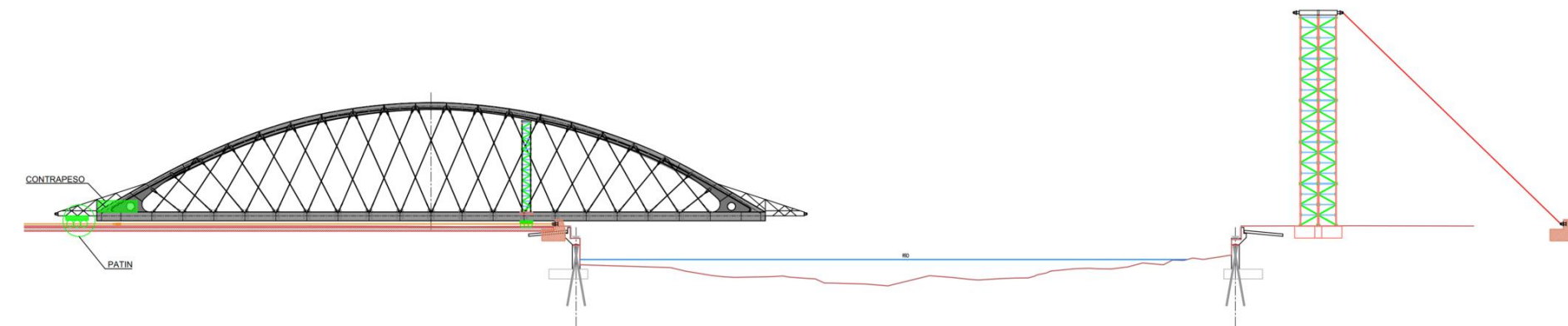
- PREPARACIÓN DE LA 1ª FASE DE LANZAMIENTO
- MONTAJE DE TORRETA AUXILIAR DE LANZAMIENTO Y DEL PATÍN DE APOYO BAJO ELLA
- COLOCACIÓN DE LOS CABLES DE LANZAMIENTO
- COLOCACIÓN DE CONTRAPESO EN LA PARTE TRASERA DEL ARCO
- RETIRADA DEL APOYO DELANTERO

NOMBRE
PRESENTACION



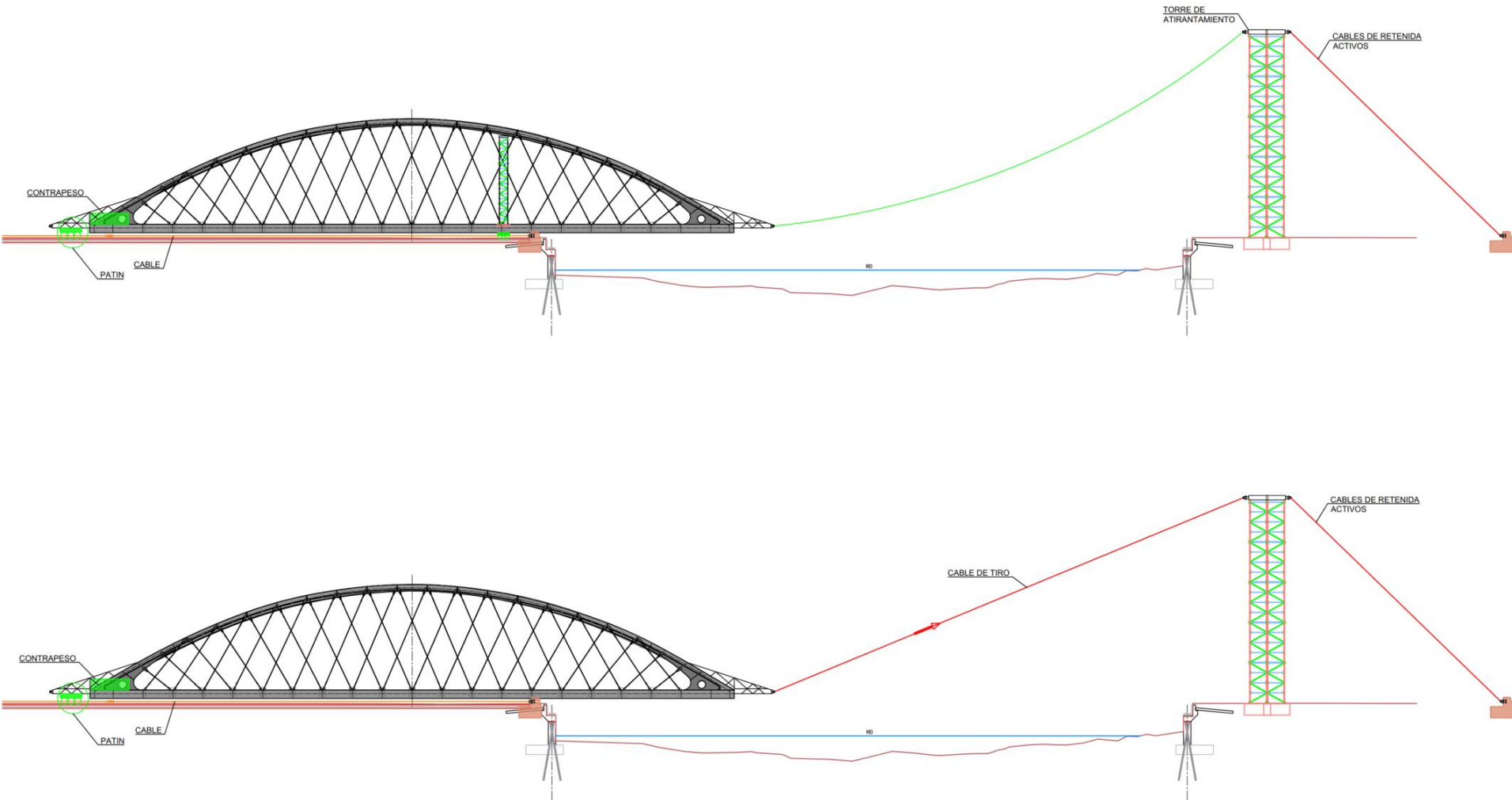
FASE 6

- 1ª FASE DE LANZAMIENTO: DESLIZAMIENTO SOBRE PATINES CON CABLES DE TIRO HORIZONTALES
- LANZAMIENTO DE LA ESTRUCTURA ACTUANDO EN LOS CABLES DE TIRO CON APOYO EN EL EXTREMO TRASERO Y BAJO LA TORRETA DE LANZAMIENTO
- EN PARALELO MONTAJE DE LA TORRE DE LOS CABLES DE SUSTENTACIÓN



FASE 7

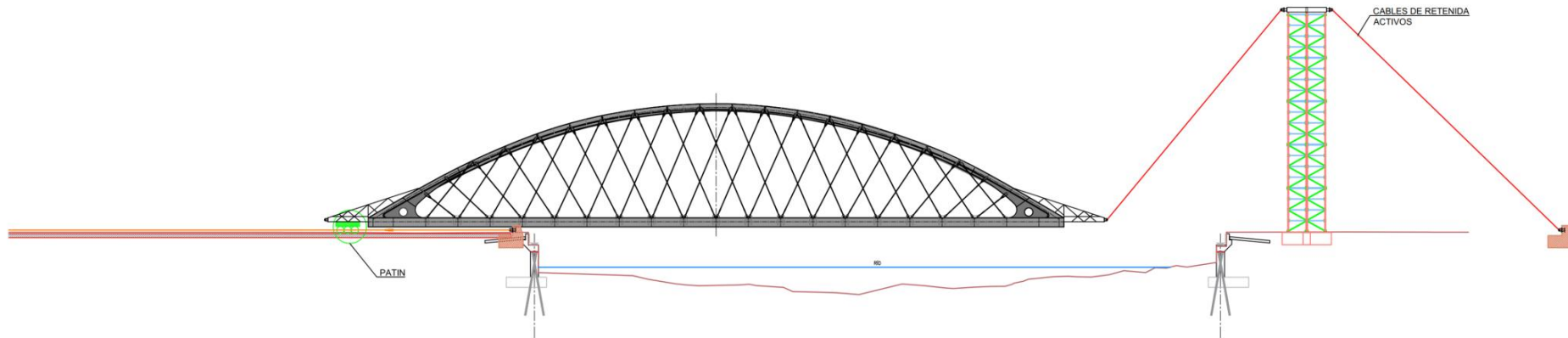
- OPERACIONES FINALES TRAS LA 1ª FASE DEL LANZAMIENTO
- COLOCACIÓN DE LOS CABLES DE SUSTENTACIÓN DELANTEROS
- CAMBIO DEL SISTEMA DE CABLES DE TIRO A CABLE DE RETENIDA
- PUESTA EN CARGA DE LOS CABLES DE SUSTENTACIÓN
- ELIMINACIÓN DEL APOYO BAJO LA TORRE DE LANZAMIENTO Y DESMONTAJE DE ESTA



FASE 9

- 2ª FASE DE LANZAMIENTO: SUSTENTACIÓN EN PUNTA CON CABLES INCLINADOS SECUENCIA
- LIBERACIÓN PARCIAL DE LA CARGA EN LOS CABLES DE RETENIDA EN COLA
- COMO CONSECUENCIA DEL ANTERIOR AVANCE LONGITUDINAL DE LA ESTRUCTURA CON UN DESCENSO PARALELO DEL FRENTE
- RECUPERACIÓN DEL DESCENSO ACTUANDO EN LOS CABLES DE TIRO INCLINADOS DELANTEROS

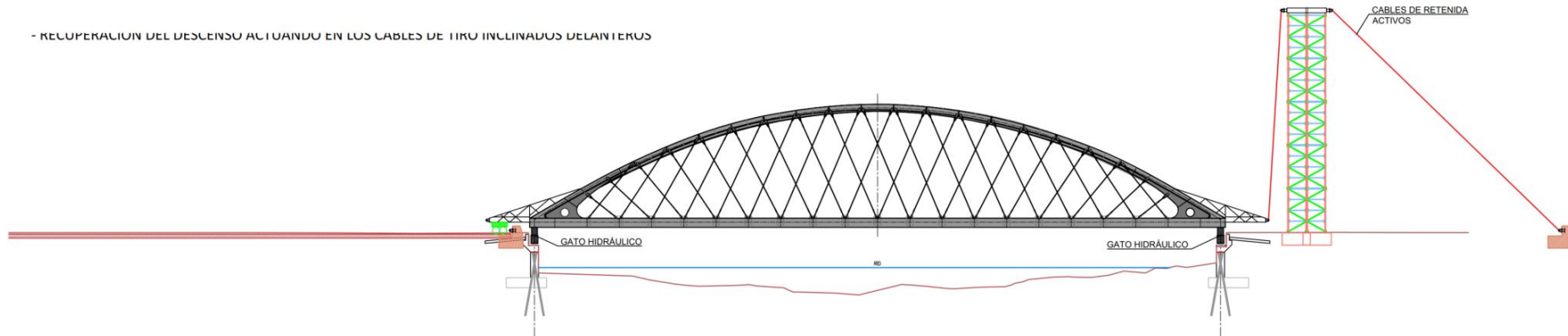
NOMBRE
PRESENTACION



FASE 10

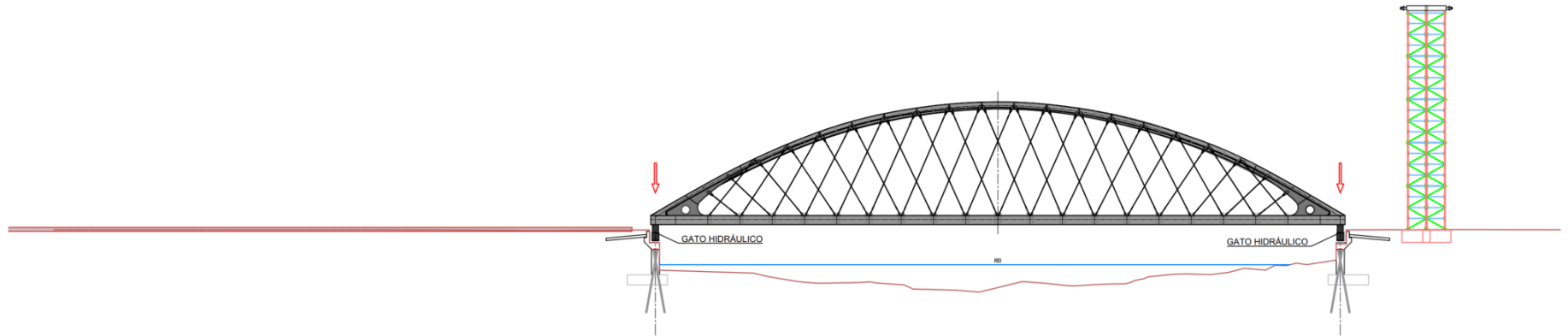
- **2ª FASE DE LANZAMIENTO: SUSTENTACIÓN EN PUNTA CON CABLES INCLINADOS SECUENCIA**
- LIBERACIÓN PARCIAL DE LA CARGA EN LOS CABLES DE RETENIDA EN COLA
- COMO CONSECUENCIA DEL ANTERIOR AVANCE LONGITUDINAL DE LA ESTRUCTURA CON UN DESCENSO PARALELO DEL FRENTE
- RECUPERACIÓN DEL DESCENSO ACTUANDO EN LOS CABLES DE TIRO INCLINADOS DELANTEROS

- RECUPERACIÓN DEL DESCENSO ACTUANDO EN LOS CABLES DE TIRO INCLINADOS DELANTEROS



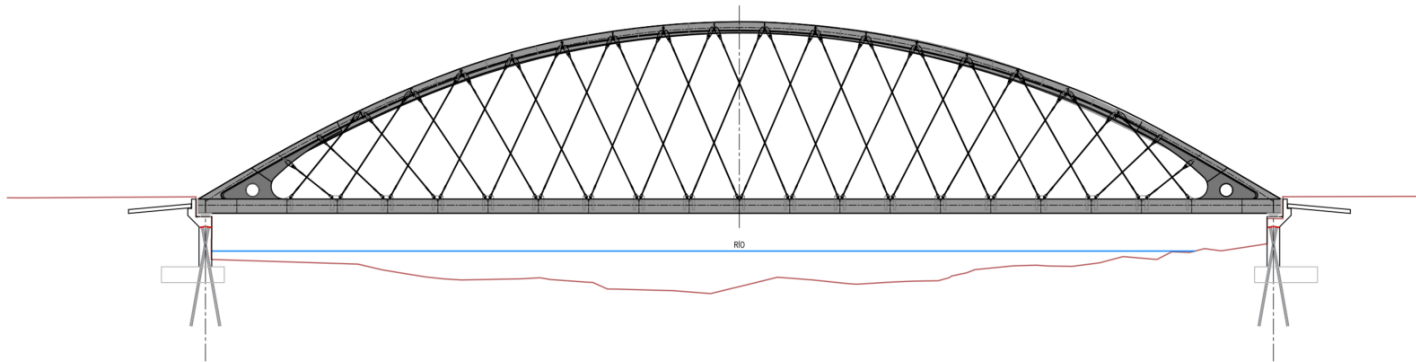
FASE 11

- **OPERACIONES FINALES TRAS LA 2ª FASE DE LANZAMIENTO:**
- FINAL DE LA FASE DE TIRO CON SUSTENTACIÓN EN PUNTA
- POSICIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA EN SU POSICIÓN FINAL
- COLOCACIÓN DE LOS GATOS DE DESCENSO EN LOS EXTREMOS DE LA ESTRUCTURA



FASE 12

- **DESCENSO DE LA ESTRUCTURA**
- APOYO DE LA ESTRUCTURA SOBRE LOS GATOS DE DESCENSO
- LIBERACIÓN DE LA CARGA EN LOS CABLES DE TIRO DELANTEROS Y DE RETENIDA TRASEROS
- DESCENSO DE LA ESTRUCTURA HASTA SU POSICIÓN SOBRE APOYOS DEFINITIVOS

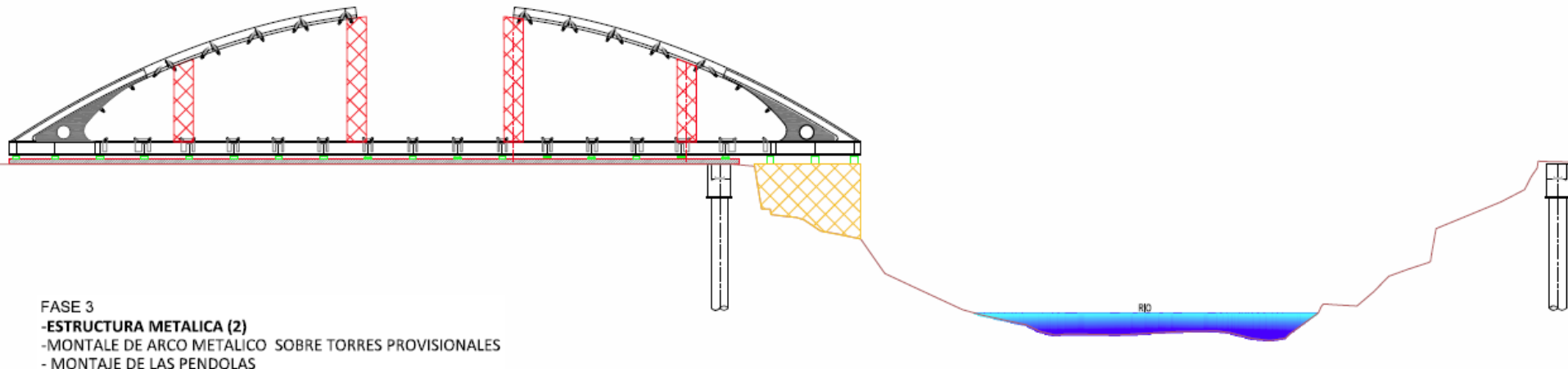
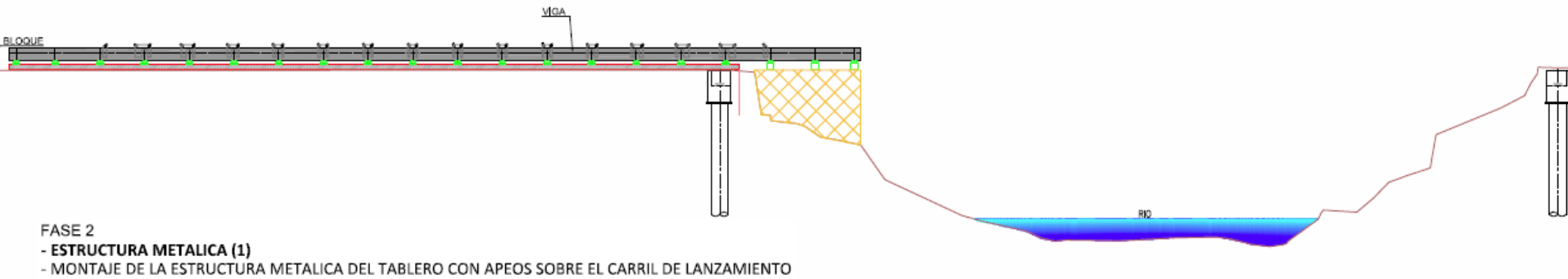
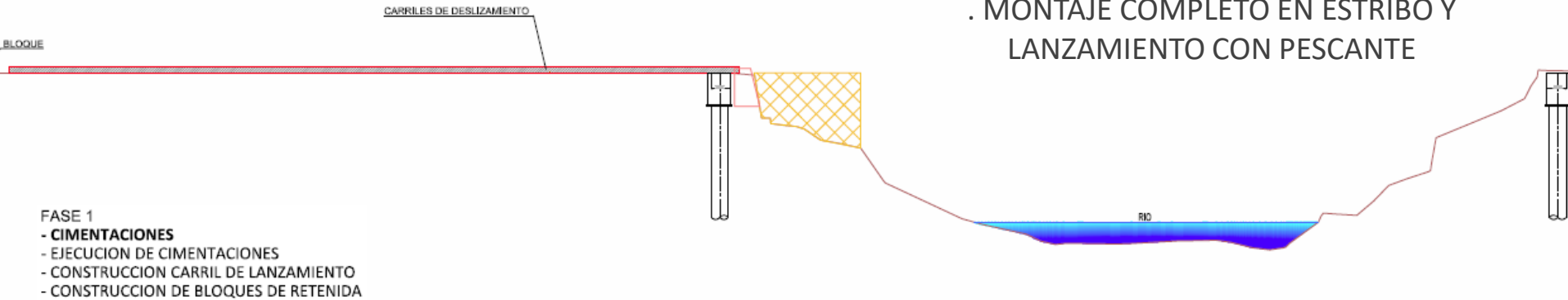


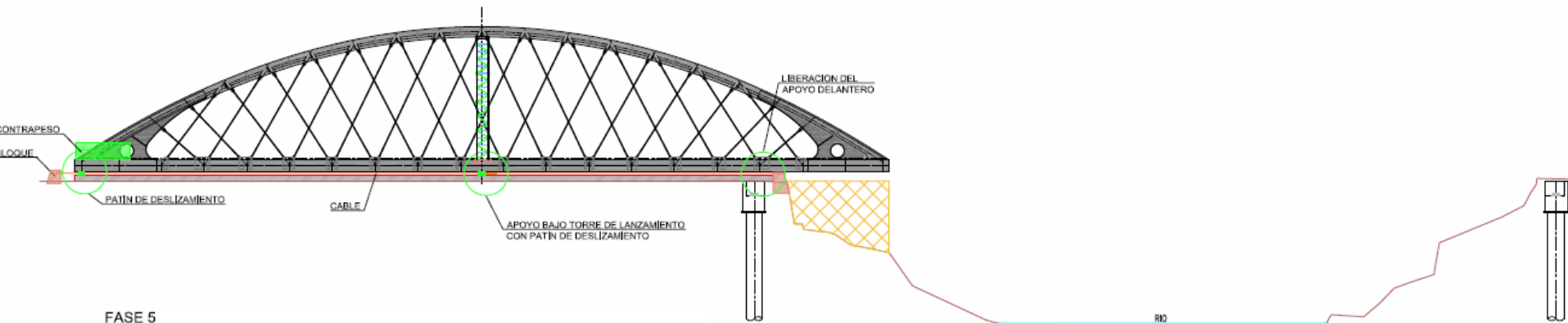
FASE 13

- **RESTO DE FASES DE EJECUCIÓN DE LA ESTRUCTURA**
- EJECUCIÓN DE LA LOSA

NOTA: LAS SECUENCIAS Y DETALLES INDICADAS EN LOS ESQUEMAS DE CONSTRUCCIÓN SON MERAMENTE INDICATIVOS Y

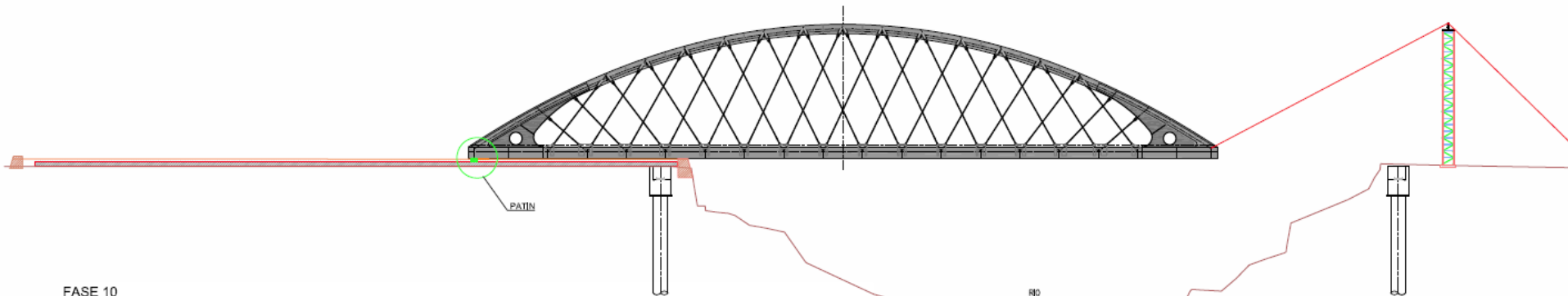
. MONTAJE COMPLETO EN ESTRIBO Y LANZAMIENTO CON PESCANTE





FASE 5

- PREPARACION DE LA 1ª FASE DE LANZAMIENTO
- MONTAJE DE TORRETA AUXILIAR DE LANZAMIENTO Y DEL PATIN DE APOYO BAJO ELLA
- COLOCACION DE LOS CABLES DE LANZAMIENTO
- COLOCACION DE CONTRAPESO EN LA PARTE TRASERA DEL ARCO
- RETIRADA DEL APOYO DELANTERO

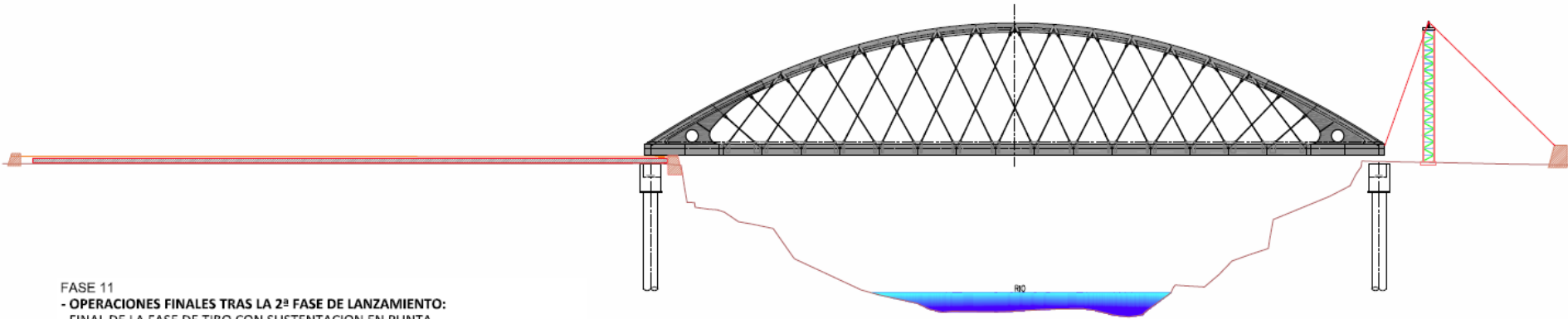


FASE 10

- **2ª FASE DE LANZAMIENTO: SUSTENTACION EN PUNTA CON CABLES INCLINADOS SECUENCIA**
- LIBERACION PARCIAL DE LA CARGA EN LOS CABLES DE RETENIDA EN COLA
- COMO CONSECUENCIA DEL ANTERIOR AVANCE LONGITUDINAL DE LA ESTRUCTURA CON UN DESCENSO PARALELO DEL FRENTE
- RECUPERACION DEL DESCENSO ACTUANDO EN LOS CABLES DE TIRO INCLINADOS DELANTEROS

FASE 11

- OPERACIONES FINALES TRAS LA 2ª FASE DE LANZAMIENTO:
- FINAL DE LA FASE DE TIRO CON SUSTENTACION EN PUNTA
- POSICIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA EN SU POSICION FINAL
- COLOCACION DE LOS GATOS DE DESCENSO EN LOS EXTREMOS DE LA ESTRUCTURA



PUENTE DE TABLATE (L = 112 m, 409 ton)
TABLATE, ESPAÑA. PROYECTO TORROJA INGENIERÍA





PUENTE CHUPURU. PERU



PUENTE CHUPURO
(Junín - Perú 2020):

Luz: 70m; Peso: 260 ton.

Contratista:

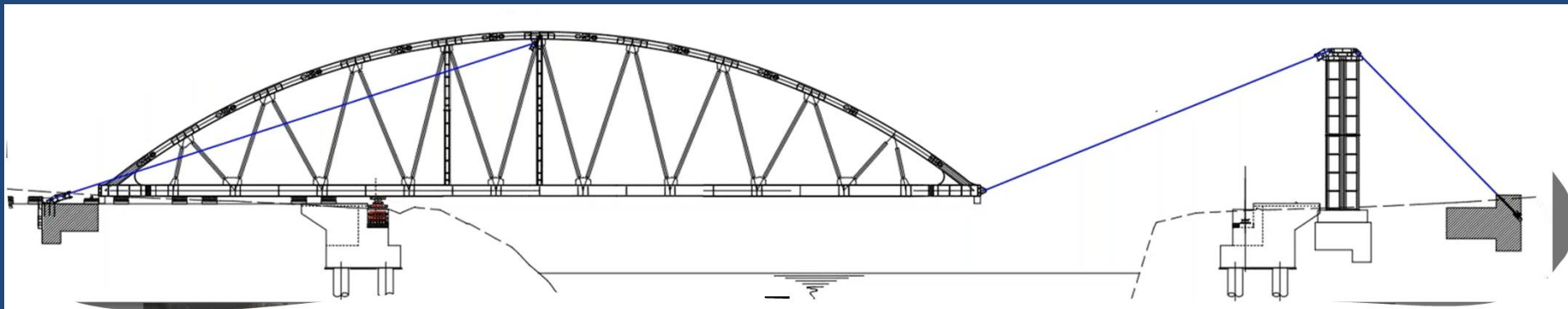
Montaje y Lanzamiento:

Ingeniería de Lanzamiento:

CONSORCIO PUENTES REGIONALES.

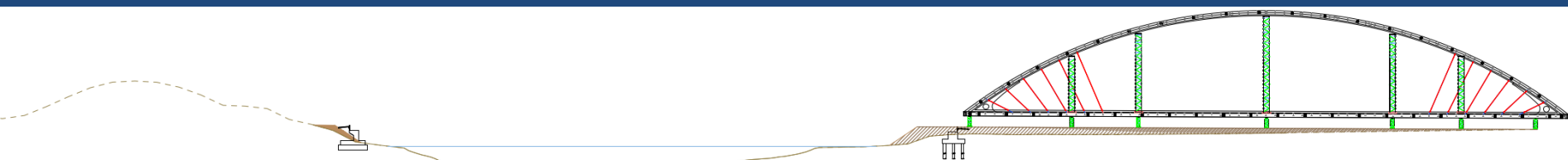
CONSORCIO GRANDES CARGAS - CC.

CVVC S.A.C.

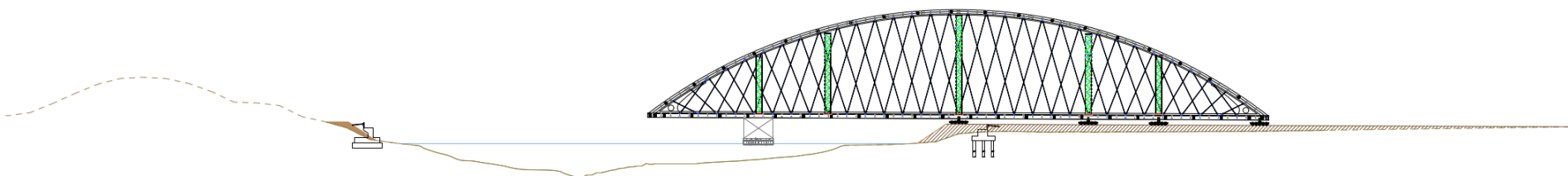


Construcción de Puente Raúl Marín Balmaceda y accesos,
Comuna de Cisnes, Provincia de Aysén, Región de Aysén

PROCESO CONSTRUCTIVO: PUENTE ARCO ALTERNATIVA 1



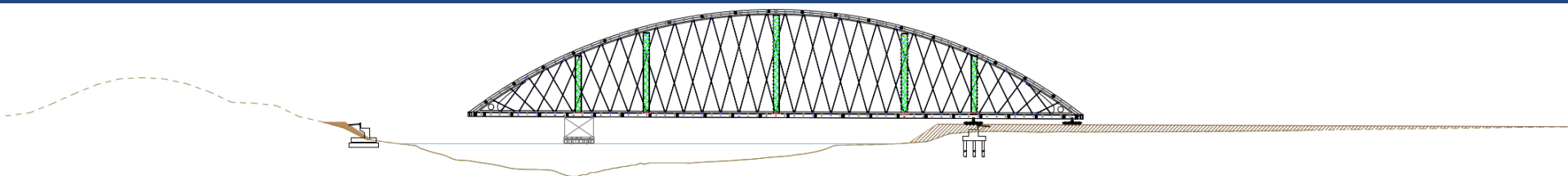
FASE 4 : PÉNDOLAS
- MONTAJE DE PÉNDOLAS Y PUESTA EN CARGA.



FASE 5 : AVANCE (1)
- AVANCE DEL ARCO HASTA LLEGAR A PONTONA.

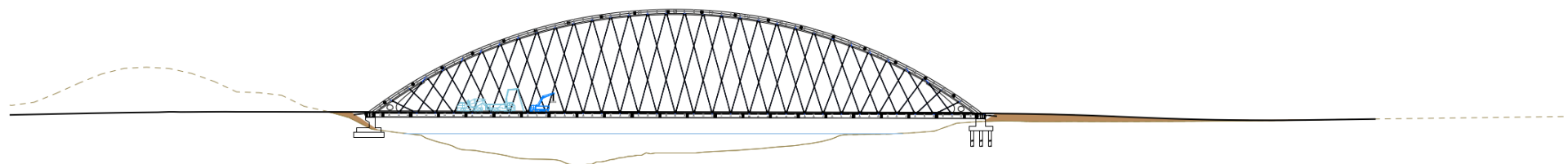
Construcción de Puente Raúl Marín Balmaceda y accesos,
Comuna de Cisnes, Provincia de Aysén, Región de Aysén

PROCESO CONSTRUCTIVO: PUENTE ARCO ALTERNATIVA 1



FASE 6 : AVANCE (2)

- TRASLADO DEL ARCO MEDIANTE PONTONA HASTA LA POSICIÓN FINAL.



FASE 7 : FINALIZACIÓN DEL PUENTE

- DESCENSO DEL ARCO HASTA SU POSICIÓN DEFINITIVA.
- RETIRADA DE LOS EQUIPOS AUXILIARES PARA LA CONSTRUCCIÓN.
- EJECUCIÓN DE LA LOSA DEL TABLERO.
- COLOCACIÓN DE PAVIMENTO. BARRERAS Y OTROS ACABADOS.



MUCHAS GRACIAS

NOMBRE
PRESENTACION