

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

“PROCESO CONSTRUCTIVO
PUENTE 1
SUPERVÍA PONIENTE”

QUE PRESENTA
SALVADOR ALVAREZ MALO PRADA
PARA OBTENER TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR
ING. MARCOS TREJO HERNÁNDEZ
SEPTIEMBRE 2013





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/130/13

Señor
SALVADOR ÁLVAREZ MALO PRADA
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. MARCOS TREJO HERNÁNDEZ, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"PROCESO CONSTRUCTIVO PUENTE 1 SUPERVÍA PONIENTE"

- INTRODUCCIÓN
- I. SITUACIÓN PREVIA
- II. MARCO TEÓRICO
- III. PROYECTO SUPERVÍA
- IV. PROCESO CONSTRUCTIVO
- V. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 11 de septiembre del 2013.
EL PRESIDENTE


M.I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

JLTS/MTH*gar.

Agradecimientos

A Dios, que nos da todo.

A Sofía mi esposa por su amor y confianza que me impulsan a seguir adelante.

A mis padres por su guía y su entrega incondicional.

A mis hermanos y cuñados por su ejemplo.

A mis tíos María Rosa y Gonzalo por recibirme en su casa

A mis maestros por sus enseñanzas; por el empeño puesto en mi formación profesional.

A mis amigos por su acompañamiento y alegría.

A Mexpresa, donde obtuve la experiencia que da origen a esta tesis.

A mi abuelo José María, de quien heredé el gusto y el interés por la ingeniería civil.

Índice

Introducción.....	4
1. Situación Previa	5
1.1 Información General.....	5
2. Marco teórico.....	16
2.1 Definiciones y conceptos generales.....	16
2.2 Clasificaciones de los puentes.....	20
3. Proyecto Supervía.....	32
3.1 Características	34
3.2 Tramos-Descripción del proyecto.....	35
3.3 Estructuras.....	39
4. Proceso Constructivo	41
4.1 Obras complementarias	41
4.1.1 Torres Grúa	41
4.1.2 Caminos de acceso	47
4.1.3 Puentes provisionales.....	48
4.2 Apoyos	56
4.2.1 Pilas.....	56
4.2.1.1 Pilotes.....	56
4.2.1.2 Zapata	61
4.2.1.3 Pilas.....	63
4.2.1.5 Obra falsa	67
4.2.2 Estribos	69
4.2.2.1 Cimentación.....	69
4.2.2.2 Losas de aproximación.....	70
4.2.2.3 Muros Aleros	70
4.2.2.4 Relleno fluido.....	71
4.3 Tablero y Superestructura.....	73
4.3.1 Tablero	73
4.3.2 Dovelas	75
4.3.2.1 Dovela de Pila	75
4.3.2.2 Dovela Tipo	81
4.3.2.3 Dovela de cierre	82
4.4. Carros de colado.....	84
4.5 Obra Falsa	87
4.6 Presfuerzo.....	89
5. Conclusiones.....	99

Introducción

A lo largo del desarrollo de las urbes siempre se presentan necesidades que tienen como respuesta el emprender grandes obras cuyos alcances superan los tradicionales esfuerzos comunes.

La Supervía es una respuesta a una incesante necesidad dentro de la complicada capital de este diverso país, los alcances obtenidos son túneles y puentes variados, complicados y sencillos.

La forma en la que se presentan los temas busca abarcar la situación previa como problemática hasta la concepción de la autopista urbana que encuentra viabilidad hasta particularizar el proyecto del puente con aspectos importantes de valor técnico constructivo.

Este trabajo pretende presentar la forma en que se ha conseguido vencer el reto que planteaba esta cañada con su río, llevándonos entre sus páginas por técnicas y acciones que dejan al lector frío.

Ver crecer los volados en el puente nos ayuda a percatarnos de lo que somos capaces cuando de vencer un obstáculo se trata y así podremos replantear las estrategias y propios retos que tengamos que vencer durante nuestra carrera profesional para alcanzar nuestros objetivos, estas y más experiencias se viven cuando nos sumamos a un proyecto de grandes alcances como es la Supervía y en el caso particular dentro del Puente 1.

Los puentes dejan al río su curso como al viajero que guarece en su camino, los puentes conducen de múltiples maneras ya sea en la ciudad que lleva del recinto del castillo a la plaza o en la autopista que se sumerge en el entramado de las redes de líneas en servicio exclusivo, de formas distintas lleva a lentos y presurosos hombres por su camino, dejándolos de orilla a orilla pues es esta la forma en que se cruzan con desfiladeros y ríos.

1. Situación Previa

1.1 Información General

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM): Abarca 4,715.3 km², y en ella se asienta una población de 20.1 millones de habitantes¹, lo cual la convierte en el segundo conglomerado demográfico más grande del mundo; está integrada por: dieciséis delegaciones del Distrito federal, cincuenta y ocho municipios del estado de México y uno perteneciente al estado de Hidalgo. Tan solo el Distrito Federal se extiende en una superficie de 1,486 km² que corresponden al 31% de la extensión total de (ZMVM).

Esta megalópolis enfrenta una serie de problemas de diversa índole siendo el de la movilidad uno de los grandes retos a solucionar. En lo que a transporte se refiere, el elemento que destaca como predominante son los vehículos de baja capacidad tanto en transportación privada como en transportación pública, en cuanto a la primera el índice de utilización es de 1.7 pasajeros por vehículo. A esto se suma la promoción para la adquisición de autos desde el año 1995 que se ha dado en toda la nación, concentrándose dicha adquisición en ZMVM, en donde el índice de crecimiento de vehículos se aumentó desproporcionadamente, triplicando el del crecimiento poblacional en los últimos años, este fenómeno se ha intensificado por el Programa Ambiental Hoy no Circula que ha derivado en la adquisición de otro vehículo en los hogares.

¹Censo General de Población 2010, informó el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi).

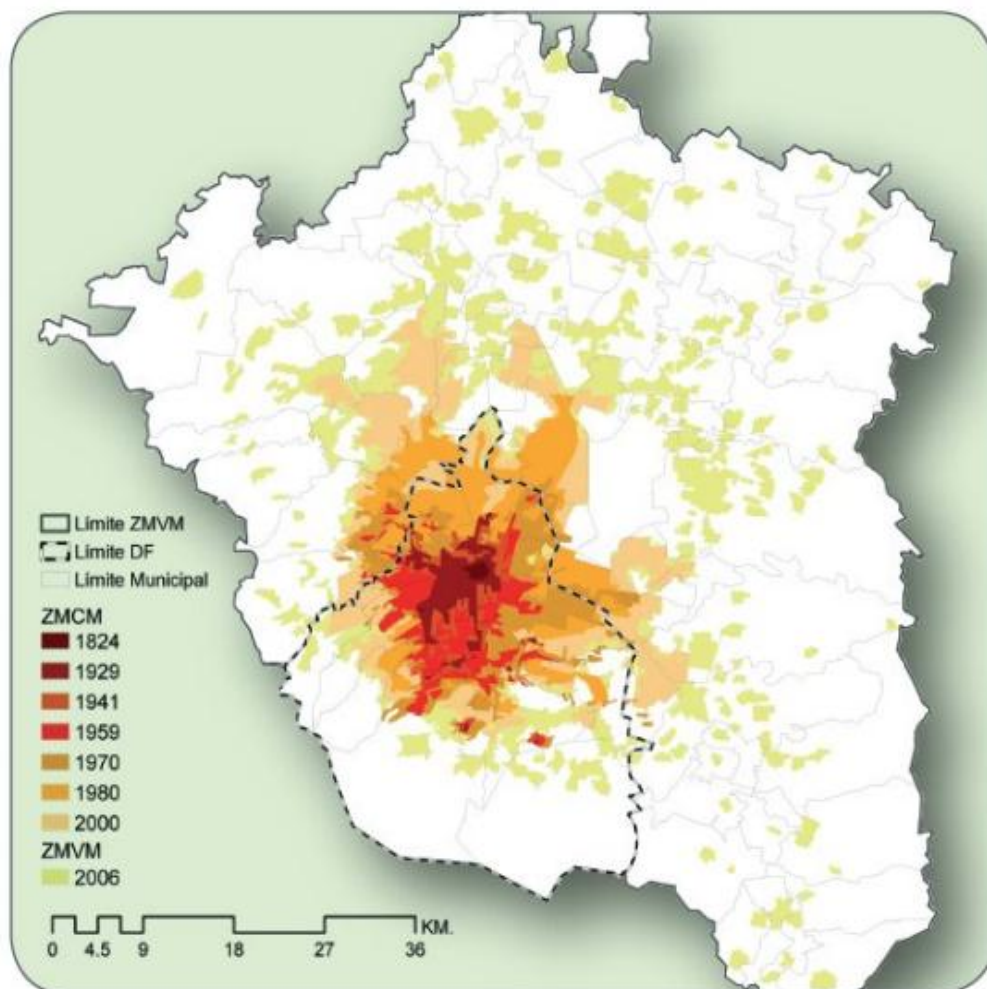


Figura 1 Crecimiento de la mancha urbana²

La problemática de la movilidad es agravada por procesos sociodemográficos diversos que afectan tanto infraestructuras como a equipamientos y servicios de transporte de la ZMVM entre los cuales pueden señalarse como de mayor impacto los siguientes:

² Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos de Energía y Medio Ambiente y otras Instituciones. "6 Estrategias De Acción Para La Zona Metropolitana Del Valle De México". México.

1. La concentración de servicios, poderes federales y sedes financieras en la ciudad de México generan una serie de actividades que atraen un gran número de viajeros
2. Cambio de uso de suelo en zonas unifamiliares por multifamiliares aumentando así la densidad poblacional
3. Crecimiento interno en algunas delegaciones periféricas del DF. En su mayoría asentamientos populares al sur-oriente contrastando con colonias de ingresos altos y medios en la zona poniente³.
- 4 Crecimiento poblacional en los municipios conurbados
5. Inversión de la pirámide poblacional es decir: ha disminuido la población económicamente activa e incrementado el número de los adultos mayores en el Distrito Federal⁴; esto abre espacios laborales a la población de municipios conurbados. Ver (Figura 2) y (Figura 3)

³ Instituto Nacional de Ecología. Publicaciones Oficiales.
<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/268/metro3.html>

⁴ Gobierno del Distrito Federal. (2007) Programa General de Desarrollo del Distrito Federal 2007-2012.

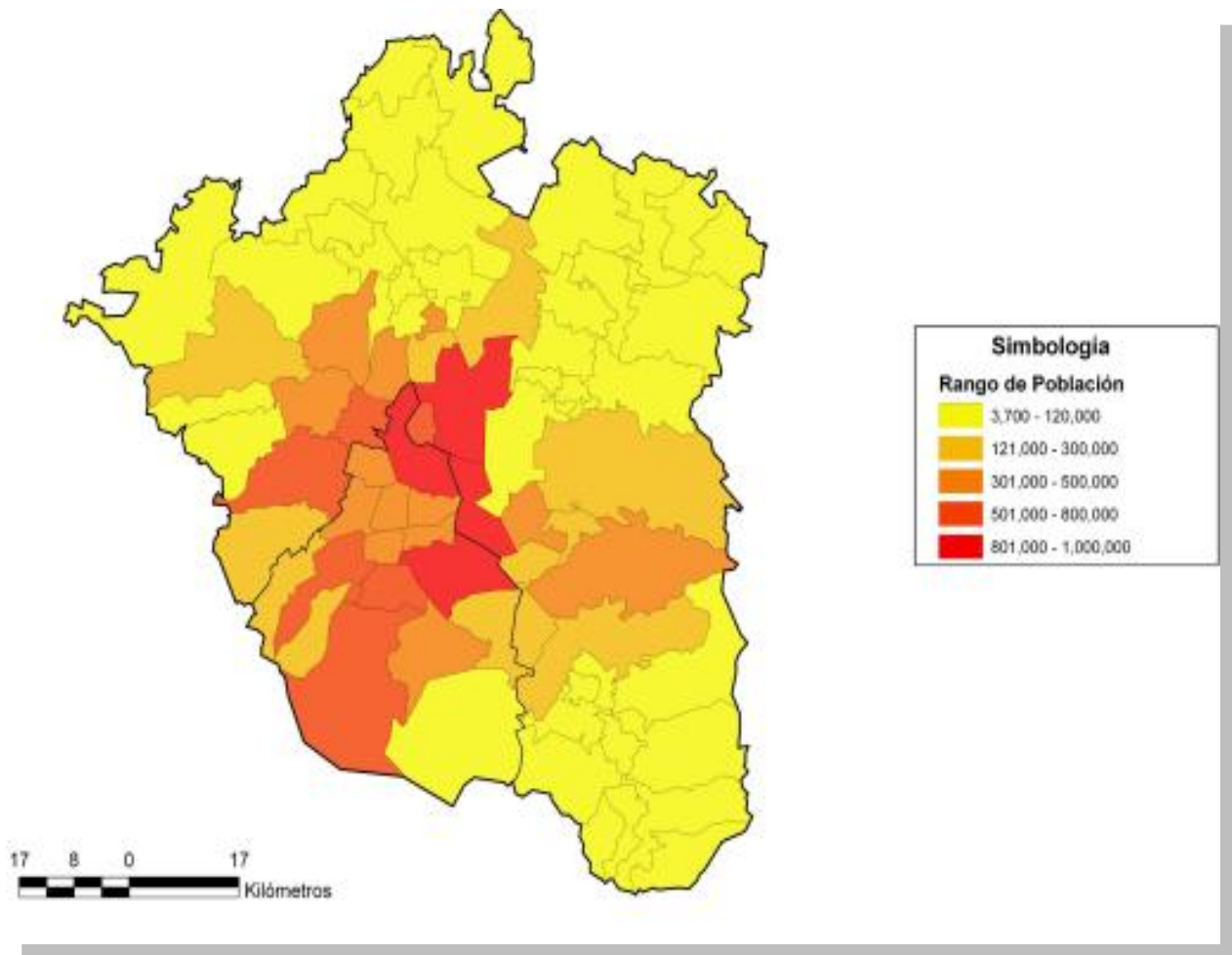


Figura 2 Distribución de la población en el año 2005, ZMVM⁵

⁵ Elaborado con base en resultados del Censo de Población y Vivienda 2005.

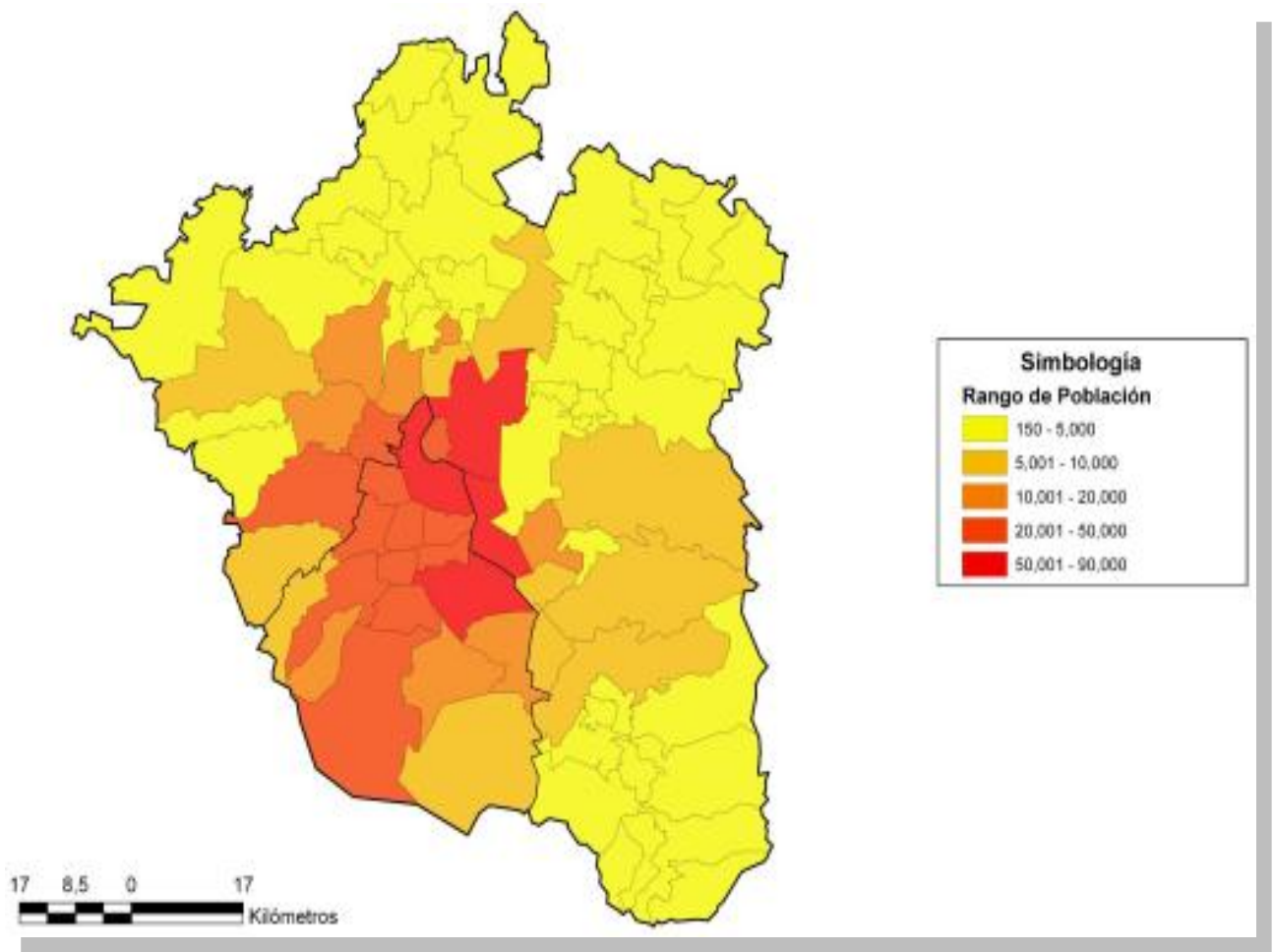


Figura 3 Distribución de la población de 65 años, periodo 2005, ZMVM. ⁶

La magnitud de la demanda de viajes, el patrón con que se llevan a cabo y las grandes distancias, constituyen elementos que agregan un alto grado de complejidad para la atención de las demandas individuales.

⁶ Elaborado con base en resultados del Censo de Población y Vivienda 2005.

El patrón de viaje es predominantemente radial que encuentra sus niveles máximos en horario matutino, el que millones de habitantes viajan de la periferia al centro con motivo de escuela o trabajo y usan para ello una insuficiente red vial y transporte masivo ineficiente.⁷

Uno de los instrumentos que permiten conocer las necesidades de movilidad de la población son los estudios de origen y destino de los viajes que realiza la misma, con ellos se obtiene información de la zonas de origen y destinos de dichos viajes, rutas, modos, costos, tiempos y otros datos que describen la forma como se realizan. Los resultados que se obtienen permiten una planeación analítica del transporte y dan cuenta de las necesidades a cubrir.

En este orden de ideas en el año 2006 se dan los pasos conducentes que permiten conocer las necesidades de transporte. Los Gobiernos del Estado de México, del DF y el Federal firmaron un convenio para ordenar al Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) la realización de la Encuesta Origen Destino de los Viajes de los Residentes del Área Metropolitana del Valle de México 2006-2007 (EOD 2007).

Desde 1994 no se realizaba dicho estudio, ahora el del 2007 sirvió para:

- Cuantificar los viajes realizados en la ZMVM y los motivos que los generan
- Conocer el tipo de transporte empleado, las rutas y los tiempos de los mismos
- Conocer la hora pico y los motivos que intensifican los viajes
- Planear el transporte a implementar y la construcción de vialidades necesarias

Esta encuesta tuvo un costo de 53.5 millones de pesos⁸, según informó el director de Planeación y Vialidad de la Secretaría de Transportes y Vialidad capitalina.

⁷ Información proporcionada por CETRAVI, 2000

⁸ Titular de la Secretaría de Transporte y Vialidad, Armando Quintero Martínez en coordinación con el INEGI

La EOD-2007 permitió establecer proyectos de planeación a 10 años que beneficiaron no sólo a las 16 delegaciones de la Ciudad de México, sino también a 40 municipios mexiquenses.

El censo de movilidad ayudo a conocer el tipo de usuarios y el origen y destino de los mismos, con esa información el gobierno se dio a la tarea de establecer líneas nuevas del Metrobús, así como la implementación del tren suburbano y tranvías, según corresponda.

El DF concentra en su núcleo los destinos de viaje que atraen el mayor número de desplazamientos por trabajo y estudios, los cuales son los principales motivos de viaje en medios de transporte. Por su parte existen municipios conurbados que destacan por atraer gran cantidad de viajes de regreso al hogar. De acuerdo con lo anterior los habitantes de la zona metropolitana efectúan casi 22 millones de viajes diarios⁹. Poco más de dos terceras partes (14.8 millones) se realizan en transporte público, casi una tercera parte (6.8 millones) en transporte privado. De los viajes diarios, 58.4% se originan en el Distrito Federal y 41.3% en los municipios seleccionados del Estado de México.

Tomando en cuenta los datos anteriores y el extenso estudio arrojado por la Encuesta Origen Destino 2007 el gobierno del DF publicó en su Gaceta Oficial del 22 de marzo de 2010 El Programa Integral de Transporte y Vialidad 2007-2012, el cual contempla dentro de su Estrategia General los siguientes Subprogramas

Subprogramas

1. Ampliación del Servicio del STC-Metro: Línea 12.
2. Sistema Metrobús: integración de hasta 10 corredores.
3. Corredor Cero Emisiones en Eje Central.
4. Corredor Cero Emisiones Eje 2 – 2A Sur.
5. Corredor Cero Emisiones Ampliación Eje Central.
6. Corredor Cero Emisiones Eje 3 Norte.
7. Corredores de Transporte Público Concesionado.
8. Tranvía de nueva generación.
9. Servicio Expreso de la RTP.

⁹ Encuesta Origen-Destino 2007

10. Redistribución de rutas de la RTP, Trolebús y otros servicios.
11. Aumento de la disponibilidad y número de los trenes del STC.
12. Incremento de la capacidad de traslado del Tren Ligero.
13. Renovación del parque vehicular de la RTP.
14. Implementación del Centro de Control del Servicio de la RTP.
15. Equidad para las mujeres en el transporte público.
16. Accesibilidad y equidad en el transporte para personas con discapacidad.
17. Movilidad para personas de la tercera edad.
18. Transporte público para zonas de menores ingresos.
19. Subsidio a la movilidad en transporte público.
20. Accesibilidad peatonal.
21. Calles con integración de todas las formas de movilidad.
22. Zonas de tránsito calmado.
23. Regularización del transporte público colectivo de pasajeros
24. Regulación del transporte de carga.
25. Programa Integral del servicio de transporte público individual concesionado de pasajeros (taxi).
26. Renovación de taxis.
27. Reordenamiento de sitios y bases de taxis.
28. Transporte escolar.
29. Servicio de transporte escolar de la RTP.
30. Movilidad en el Centro Histórico.
31. Ciclotaxis del Centro Histórico.
32. Movilidad en bicicleta.
33. Sistema de bicicletas públicas Ecobici.
34. Modernización de Centros de Transferencia Modal y creación de METROPLAZAS.
35. Seguridad para usuarios, personal e instalaciones del Metro.
36. Mejora de instalaciones, seguridad y servicio del Tren Ligero.
37. Rediseño de estaciones de la Línea 1 del METROBÚS.
38. Estacionamientos públicos subterráneos en la vía pública.
39. Eje troncal metropolitano.
40. Continuación del Segundo Piso del Anillo Periférico.
41. Sistema vial norte.
42. Sistema vial poniente.
43. Vialidad surponiente.
44. Camino Real Santa Fé.
45. Sistema vial oriente.
46. Modernización, puentes vehiculares y mantenimiento integral en el Circuito Interior.
47. Sistema integral de cobro y peaje para el transporte público.
48. Renovación de la tarjeta de circulación
49. Registro y regulación de motocicletas y sus conductores.
50. Modernización informática.
51. Mejora de la gestión, control y administración de la información y documentación del transporte.
52. Depuración, actualización y seguridad del Registro Público del Transporte.

De los anteriores Subprogramas me interesa resaltar a La Vialidad Surponiente que contiene al proyecto del Puente 1 tema central de esta tesis y por tanto citaré las dimensiones de la estrategia

TRANSPORTE Y SU INFRAESTRUCTURA PARA UN NUEVO ORDEN URBANO
de la cual forma parte:

1. Delimitación

El transporte y sus infraestructuras deben impulsar la accesibilidad y la inclusión social. Al mismo tiempo, son elementos fundamentales de la productividad económica en la ciudad y palanca para el desarrollo y equidad urbanas.

El Distrito Federal requiere mejorar el servicio de transporte, así como sus infraestructuras y equipamientos para impulsar el progreso económico de las mayorías, el ordenamiento urbano y una mejor imagen de la ciudad. El GDF asume el reto de avanzar en la construcción de una ciudad renovada, competitiva, que atraiga inversiones y turismo; pero al mismo tiempo favorezca la integración social y la identidad colectiva. El desafío es mayor si se considera que lo suceda en el DF impacta a una gran metrópoli, caracterizada por su extensión, heterogeneidad y separación funcional entre zonas habitacionales y de trabajo.

2. Perspectiva

Se mejorará la calidad y eficiencia del transporte para incrementar la competitividad de la ciudad y la calidad de vida de sus habitantes.

La meta es lograr crecimiento económico con progreso social. Para ello, es necesario que los traslados se realicen con fluidez, seguridad y menor gasto de tiempo. Aspiramos a una ciudad en donde la prioridad sean las personas y no los automóviles; en donde los espacios públicos, las formas no motorizadas de traslado y las zonas peatonales sean revaloradas y paulatinamente recuperadas.

Resulta fundamental que los proyectos de transporte, sus infraestructuras y equipamientos impulsen el orden urbano y se conviertan en detonadores de inversión y mejores oportunidades.

3 Objetivos

Reorganizar el servicio y operación del transporte concesionado de pasajeros y de carga.

Recuperar el espacio público mediante la reorganización de las opciones existentes y la implantación de nuevas alternativas.

Mejorar de manera sustantiva la infraestructura para la movilidad.

Incrementar y mejorar la red vial primaria de la ciudad, privilegiando la conectividad urbana, y los corredores metropolitanos estratégicos y la consolidación de los sistemas viales en los cuatro puntos cardinales de la ciudad.

4. Políticas

Regulación de los diversos servicios de transporte público y de carga.

Mejora del espacio público y el equipamiento para la movilidad colectiva.

Promoción y fomento movilidad en bicicleta y peatonal.

Impulso de la conectividad, mediante obras viales que privilegien las conexiones metropolitanas en los 4 puntos cardinales del DF.

Subprogramas

Citados previamente del 26 al 43.¹⁰

¹⁰ SETRAVI, 2007, Gaceta oficial del Distrito Federal "Programa Integral de transporte y vialidad 2007", México

43. VIALIDAD SUR-PONIENTE						
DEPENDENCIA (S) RESPONSABLE (S):	Oficialía Mayor del Distrito Federal.					
OTRAS ÁREAS INVOLUCRADAS:	Secretaría de Obras y Servicios, Secretaría de Transportes y Vialidad.					
OBJETIVO DEL SUBPROGRAMA	Reducir el déficit de infraestructura vial primaria en la ciudad, mejorando la conectividad urbana y metropolitana y disminuyendo los tiempos de traslado.					
PROBLEMÁTICA PRINCIPAL	El poniente del DF ha presentado en los últimos años un crecimiento urbano importante; adicionalmente la zona tiene una topografía accidentada. Lo anterior, da como resultado la insuficiencia de las vías de comunicación para conectar el poniente y el sur de la ciudad.					
PROYECTOS	Supervía Poniente Luis Cabrera-Centenario.					
ESTRATEGIA FINANCIERA	Concesión.					
METAS	Incorporación de una vía urbana de peaje concesionada en el poniente de la ciudad.					
INCIDENCIA POSITIVA PARA LA CIUDAD	MEDIANTE					
MOVILIDAD COLECTIVA	Ahorro de horas-hombre por traslados en transporte privado y público.					
MEDIO AMBIENTE	Menor consumo de energéticos y reducción de emisiones derivadas del ahorro en tiempo de traslados.					
DESARROLLO ECONÓMICO Y URBANO	Mayor efectividad en la operación vial de toda la ciudad. Inversión en la ciudad con participación gubernamental y del sector privado. Generación de empleos directos e indirectos.					
BENEFICIO METROPOLITANO	Mejorar la movilidad con impacto metropolitano.					
CIENCIA Y TECNOLOGÍA	Aplicación de nuevas tecnologías en la producción de la infraestructura y en su operación.					
RECUPERACIÓN DEL ESPACIO PÚBLICO						
DURACIÓN DE PROYECTOS/ETAPAS	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Prefactibilidad						
Obras						
Inicio de operación						

2. Marco teórico

2.1 Definiciones y conceptos generales

Por lo general, el término *punte* se utiliza para describir a las estructuras viales, con trazado por encima de la superficie, que permiten salvar obstáculos naturales como ríos, quebradas, hondonadas, canales, entrantes de mar, estrechos de mar, brazos de mar, valles, o lagos; y obstáculos artificiales, como vías férreas o carreteras, con el fin de unir caminos de viajeros, animales y mercancías.

La palabra viaducto se reserva para los puentes largos, con frecuencia de claros sucesivos, y altura constante pero sobre todo para el caso en que esas estructuras viales se construyan por necesidades urbanas o industriales (como los pasos elevados dentro de las ciudades o de los complejos industriales), o para evitar el cruce con otras vías de comunicación.

Una pasarela es una obra reservada a los peatones o dispuesta para soportar canalizaciones. Un pontón es un puente de dimensiones pequeñas (del orden de 3 a 10 metros).

La proyección y cálculo de los puentes son aspectos que pertenecen a la ingeniería estructural, siendo numerosos los tipos de diseños que se han aplicado a lo largo de la historia, influidos por los materiales disponibles, las técnicas desarrolladas y las consideraciones económicas, entre otros factores. Los cuales deben satisfacer las necesidades de funcionamiento como instalaciones soportadas, a partir de las consideraciones básicas como: flujo, condiciones de carga, particularidades del sitio, normas y requisitos geométricos (ancho de calzada, pendientes y peraltes) e hidráulicos.

El objetivo principal para la construcción de un puente es proporcionar el acceso y circulación peatonal y/o vehicular, por lo que, para un buen proyecto de diseño se requiere tomar en cuenta todos los elementos de juicio mencionados anteriormente, que al conjugarlos entre sí puedan responder ante las cargas de servicio de manera óptima.

Los puentes constan fundamentalmente de dos partes: la superestructura y la subestructura.

Superestructura o conjunto de los tramos que salvan los vanos situados entre los soportes, es la parte del puente donde actúa la carga móvil.

El tablero es la parte estructural que queda a nivel de sub rasante y soporta directamente las cargas dinámicas (tráfico); por medio de las armaduras transmite sus tensiones a estribos y pilas que, a su vez, las hacen llegar a los cimientos, donde se disipan en la roca o terreno circundantes.

Sobre el tablero y para dar continuidad a la rasante de la vía viene la superficie de rodamiento. También los tableros van complementados por los bordes o guarniciones que son el límite del ancho libre de calzada y su misión es evitar que los vehículos salgan de la misma, finalmente al borde van los postes y parapetos.

Vigas principales o elementos portantes. Reciben esta denominación por ser los elementos que permiten salvar el vano, pueden tener una gran variedad de formas como con las vigas rectas, arcos, pórticos, vigas reticuladas, vigas Vierendeel, armaduras, sección cajón etc. Existen además vigas secundarias paralelas a las principales.

Los elementos que transmiten las cargas, pueden ser:

- placas, vigas y jabalcones, transmiten por flexión o curvatura
- cables que las soportan por tensión;
- vigas de celosía, cuyos componentes resisten tensión directa o compresión
- arcos y armaduras rígidas que lo hacen por flexión y compresión a un tiempo.

Vigas transversales:

Estas vigas perpendiculares pueden recibir otras denominaciones como: viguetas, costillas, nervaduras o en otros casos vigas de puente

Diafragmas: sirven para su arriostramiento En algunos casos pasan a ser vigas secundarias cuando van destinadas a transmitir cargas del tablero a las vigas principales.

Un puente se divide en tramos, separados por las pilas y que terminan en los estribos. Cada tramo consta de una o varias armaduras de apoyo, de un tablero o piso y de los arriostrados laterales o vientos.

En otra clase de puentes el piso descansa sobre el armazón sin utilizar ni vigas ni largueros. Los arriostramientos laterales van colocados entre las armaduras para unirlos y proporcionar la necesaria rigidez lateral. El arriostrado transmite también a estribos y pilas las tensiones producidas por las fuerzas laterales, como las debidas a los vientos, y las centrífugas, producidas por las cargas dinámicas que pasan por los puentes situados en curvas. En algunas ocasiones se utilizan chapas de refuerzo transversales o diafragmas para aumentar la rigidez de los largueros. Tales diafragmas mantienen la alineación de los largueros durante la construcción y tienden a equilibrar la distribución transversal de las cargas entre los mismos. Algunos puentes construidos de hormigón armado no necesitan vientos ni diafragmas. Los puentes de gran tamaño descansan generalmente sobre cimientos de roca o tosca, aunque haya que buscarlos a más de 30 m bajo el nivel de las aguas. Cuando tales estratos están muy lejos de la superficie, es preciso utilizar pilares de profundidad suficiente para asegurar que la carga admisible sea la adecuada. Los puentes pequeños pueden cimentarse sobre grava o arcilla compacta, siempre que sus pilas y, estribos tengan la profundidad necesaria para soportar la acción socavadora de las aguas.

Apoyo: son los elementos a través de los cuales el tablero transmite los acciones que le solicitan a las pilas y/o estribos. El más común de los apoyos es el neopreno zunchado, está constituido por un caucho sintético que lleva intercaladas unas placas de acero recubiertas por el material elastómero. Pueden ser multidireccionales, unidireccionales y fijos

Juntas de dilatación, tienen la tarea de unir los espacios libres requeridos por razones de comportamiento estructural entre 2 tamos de la superestructura o un tramo de esta misma con un apoyo extremo. La junta debe de considerar los siguientes aspectos: segura transmisión de cargas a la estructura, que el anclaje

de la junta sea rígido, adaptación a los movimiento de la estructura permanente, estanqueidad entre los elementos de la junta, alta resistencia a la corrosión y deterioro y baja emisión de ruido entre otros.

Subestructura o sistema de apoyo, es la parte del puente que se encarga de transmitir las cargas al suelo, y está constituida por: estribos, pilas y cimentación.

Los estribos van situados en los extremos del puente y sostienen los terraplenes que conducen a él; A diferencia de las pilas los estribos reciben además de la superestructura el empuje de las tierras de los terraplenes de acceso al puente, en consecuencia trabajan también como muros de contención. Los estribos están compuestos por un muro frontal que soporta el tablero y muros en vuelta o muros-aletas que sirven para la contención del terreno, las losas de aproximación a veces son remplazados por pilares hincados que permiten el desplazamiento del suelo en su derredor.

Las pilas son los apoyos intermedios de los puentes de dos ó más tramos; Deben soportar la carga axial y transmitirla a la cimentación, así como soportar los movimientos transversales o longitudinales respecto al eje del tablero, evitando o admitiendo hundimientos controlados Cuando un puente salva una corriente de agua, es necesario que las pilas tengan una geometría hidrodinámica que reduzca la fricción del agua sobre la sección de la pila, para ellos e emplea el elemento llamado tajamar, que por su forma permite disminuir la resistencia que la estructura opone a la corriente, incluso uniformando su cauce.

La cimentación está compuesta por las rocas, terreno, zapatas, losas de aproximación y pilotes que forman la base y soportan el peso de estribos y pilas. Cuando el terreno no tiene suficiente resistencia o cuando es preciso prevenir los peligros de la erosión es necesario reforzar con cimentación profunda utilizando pilotes; pueden ser de cualquier tipo de funcionamiento a saber: apoyados por punta, flotantes o de fricción negativa.

La calzada es la superficie de la carretera compuesta por carriles destinada a la circulación de los vehículos.

Los entronques son los lugares donde confluyen dos o más caminos a un mismo nivel.

El parapeto es el barandal colocado a lo largo del puente a uno y otro lado de su calzada, para protección y seguridad del tránsito de vehículos y peatones.

2.2 Clasificaciones de los puentes

Las clasificaciones en general de los puentes pueden ser comprendida por:

- Tipo de tránsito.
- Materiales
- Destino
- Estructuración.
- Procedimiento constructivo.

- Tipo de tránsito

Peatonales o pasarelas

Los tamaños son muy diversos, debido a la poca carga para la que están concebidos y a la limitada longitud que han de atravesar, el diseño de los mismos puede llegar a ser muy sencillo es frecuente encontrarlos como estructuras provisionales.

Vehiculares

En gran medida el número y tipo de cargas que circularan sobre una carretera definen la mayoría de las ocasiones la geometría de la sección transversal del camino, y por tal motivo del puente a proyectar.

Ferrocarril.

Algunos de ellos se construyen con un tablero que soporta un piso o losa y después de esto se coloca el balasto durmientes y vía como si estuviera en suelo firme, otros llevan adosadas las vías a la superestructura directamente. Las dimensiones por fuerza son mayores pues las cargas aumentan en comparación con los vehiculares y por el gálibo que exigen estas vías.

Mixta.

Buen número de puentes está destinado para que a través de él circulen todo tipo de tránsito, destinando para ello los elementos necesarios.

Embarcaciones

Todas las embarcaciones que circulan por cuerpos de aguas en los cuales exista un puente que lo divida deberán ser móviles estos a su vez pueden ser:

- Levadizo
- Basculante
- Plegable
- Rodante
- Elevación vertical
- De mesa
- Retractable
- Balanceador
- Sumergible
- De inclinación
- Giratorio
- Transbordador

- Materiales

Madera

La madera es un material que desde el punto de vista constructivo y estructural ofrece algunas ventajas, como puede ser la capacidad de admitir esfuerzos de tensión, facilidad de manejo, puede adoptar formas y dimensiones de acuerdo a las necesidades; también presenta desventajas, una de ellas es el mantenimiento, durabilidad y sobre todo que es un recurso natural de preciado valor ecológico y ambiental esto hace necesario su cuidado y restricciones en su uso, por estas y otras razones cada vez es menos usado este material en este tipo de construcciones.

Mampostería.

La mampostería es una de las técnicas constructivas que durante mayor tiempo fue empleada, por consecuencia los puentes más relevantes con este material son

los de arco. Los elementos básicos de un puente en arco son: en primer lugar, el arco formado por las dovelas con clave al centro, en segundo lugar, la calzada, cuyo trazo facilitó el paso de peatones y caballerías, el relleno entre arco y calzada constituyen el tercer elemento básico, y sirve de transmisor de las acciones de uno a otro elemento. Finalmente los tímpanos laterales que constituyen el elemento de contención lateral del relleno. Todos estos elementos básicos se han mantenido a lo largo de los siglos, con pocos cambios. El puente arco de roca constituye la tipología básica de los puentes que se construyeron con la finalidad de permanecer a través del tiempo. Con orígenes no bien definidos, este hizo posiblemente sus primeras apariciones en Asia, alcanzando con los romanos las formas típicas que conocemos actualmente.

Concreto reforzado.

El concreto armado o reforzado es una colaboración del acero y el concreto, concebido especialmente para resistir esfuerzos de flexión.

A inicios del siglo XVIII, John Smeaton desarrolló el cemento puzolánico y Joseph Aspdin, en 1824, desarrolló un nuevo cemento artificial "Pórtland", base del actual utilizado en la construcción de puentes y otros tipos de estructuras. El concreto es muy adecuado para resistir compresiones y el acero en barras para resistir tensiones. Por ello a finales del siglo XIX se introducen las barras de acero en el concreto en el borde que debe resistir las tensiones, y gracias a la adherencia entre los dos materiales, las primeras resisten las tensiones y el segundo las compresiones.

Concreto presforzado

El principio básico del pretensado o presfuerzo fue aplicado a la construcción quizás hace siglos, cuando se ataban cintas o bandas metálicas alrededor de duelas de madera para formar los barriles. Cuando se apretaban los cinchos, estaban bajo una fuerza que creaba un esfuerzo de compresión entre las duelas y

las habilitaban para resistir la tensión en arco, producida por la presión interna del líquido contenido.

El concreto presforzado se puede considerar un nuevo material; su diferencia con el concreto armado es que él armado es pasivo, es decir, entra en carga cuando las acciones exteriores actúan sobre la estructura; en el presforzado, en cambio, la armadura es activa, es decir se tensa previamente a la actuación de las cargas que va a recibir la estructura (peso propio, carga muerta y cargas de tráfico), comprimiendo el hormigón, de forma que nunca tenga tracciones o que éstas tengan un valor reducido.

La estructura se pone en tensión previamente a la actuación de las cargas que van a gravitar sobre ella, y de ahí su nombre de concreto presforzado. En definitiva, es adelantarse a las acciones que van a actuar sobre la estructura con unas contra-acciones que es el momento en que se tesan las estructuras; se pueden tesar antes de colar la pieza, es decir, pretensarlas, o se les puede dar carga después de colar la pieza, es decir, postensarlas.

Hablaremos de ese material más tarde.

Metálicos
Fundición
Hierro forjado
Acero

El empleo de metales significó una transformación radical en la construcción en general, y en los puentes en particular; sus posibilidades eran mucho mayores que las de los materiales conocidos hasta entonces, y por ello se produjo un desarrollo muy rápido de las estructuras metálicas, que pronto superaron en dimensiones a todas las construidas anteriormente. Hoy en día sigue siendo el material de las grandes obras, y en especial de los grandes puentes, si bien el hierro que se utiliza ahora no es el mismo que se utilizó en los orígenes, porque el material también ha evolucionado significativamente; hay diferencia considerable de características y de calidad entre los aceros actuales, y el hierro fundido que se utilizó en un principio

Al igual que otros tipos de materiales, la resistencia del acero estructural ha aumentado con el tiempo, siendo común la utilización de aceros ASTM grados 50, cuando hace apenas un par de décadas el acero de uso común era el ASTM grado 36, ahora aunque mucho más costoso existe el acero ASTM grado 70.

Mixtos

Los puentes mixtos nos ofrecen las características de todos los materiales y técnicas que con ellos se emplean aplicándolos puntualmente donde las exigencias estructurales y de diseño lo requieran.

Una de las principales ventajas de los puentes mixtos es que su construcción por ejemplo: se puede lograr igual que la de un puente metálico con las ventajas que esto representa por su mayor ligereza; es más fácil montar un cajón metálico de 30 ó 40 m de luz que uno de concreto; una vez montado el cajón metálico sólo queda hacer el tablero de concreto, bien in situ, o bien prefabricado, esta solución es clásica en pasos superiores sobre autopistas en funcionamiento.

El problema singular de las estructuras mixtas es la conexión entre los materiales para asegurar que ellos trabajen conjuntamente y transmitir los esfuerzos rasantes que se desarrolla en la unión de un material a otro. Esta conexión se realiza normalmente con elementos metálicos, los conectores, que van soldados o remachados al acero y embebidos o anclados en el concreto o madera respectivamente.

- Por su destino

Esta clasificación es para ver qué tipo de obstáculo se tiene que atravesar. La clasificación es la siguiente:

1. Puente:

Esta se refiere al diseño de la estructura cuyo objetivo es preservar el área natural con la que se encuentre en su construcción ya sean lagos, barrancas, ríos, entrantes de mar, entre otras.

2. Viaducto:

Viaducto es la estructura que tenga como obstáculo un elemento artificial, ya sea el paso de una carretera, de una autopista, de algún canal, incluso de algún transporte. Otra manera en la que se tiene que construir un viaducto es cuando el terreno no permite tanta carga y por ello es necesario la construcción de un mayor número de claros haciendo pues una longitud importante.

3. Pasos a desnivel:

Los pasos a desnivel son aquellos que se construyen para cruzar o atravesar una vía de comunicación, a diferencia del viaducto la longitud es menor y cuenta con menos claros. Existen varios tipos de pasos a desnivel que se mencionan a continuación:

- Paso Inferior Vehicular- PIV: el camino es por debajo de la estructura.
- Paso Superior Vehicular- PSV: la circulación es por arriba de la estructura.
- Paso Inferior Peatonal- PIP: el camino igual que el PIV es por debajo sólo que es para uso de peatones.
- Paso Superior Peatonal- PSP: igualmente que el PSV es por arriba sólo que este es diseñado para peatones.
- Paso Inferior de Maquinaria Agrícola- PIMA: es para el paso de maquinarias para las tareas agropecuarias, se puede transitar tanto el camino principal como el secundario.
- Paso Superior de Ferrocarril- PSFFCC: el camino pasa por arriba, de manera que se respeta las vías del ferrocarril.

- Estructuración

Esta clasificación se refiere a la forma de apoyo o conexión de la superestructura con relación a la subestructura del puente. La clasificación es la siguiente:

1. Puente simplemente apoyados

Esta es la estructuración más simple, en ella se representan los elementos portantes principales como elementos independientes con apoyos articulados en

sus extremos, uno de ellos fijos y el otro queda móvil este método es para no generar inestabilidad. Para el peralte de las trabes hay que tener en cuenta la relación entre la longitud del claro oscile entre los valores de 18 a 23, para que 20 sea así pues la media.

2. Continuos o de viga continua

La característica principal de estos puentes es la disminución del número de juntas de calzada o dilatación utilizadas, este tipo tiene sus ventajas que son las siguientes: una, es más cómoda para los usuarios y dos, es la mejor manera de distribuir los elementos mecánicos, resultado de las cargas permanentes y vivas a que estará sujeta la estructura.

3. De marco

Son en los cuales hay una continuidad física entre los elementos de la superestructura con los elementos de la subestructura, es decir, no hay elementos para apoyos del tablero, en vez de estos hay colados de continuidad si es que la estructura es de concreto, o si es de acero hay continuidad.

4. De arco

Está constituido por dos elementos fundamentales, uno, es el arco como bien lo dice su nombre, es el elemento principal y dos, el tablero que debe adaptarse geométricamente a las características de la rasante de la vía, entre estos dos elementos se disponen las pilas que transfieren las cargas del tablero al arco y así lo transmite a la cimentación. Existen varios tipos de arco según su posición la transmisión de carga puede ser:

- Arco con tablero superior: por medio de pilas.
- Arco con tablero inferior: por medio de tirantes.

- Arco con tablero intermedio: por medio de columnas, y en centro por medio de cables.
- Arco tímpano: con un tímpano macizo.

5. Estructura tipo Gerber

Este es utilizado cuando el claro a salvar con vigas prefabricadas es mayor que la longitud de la viga, está constituido por tramos sobre pilas y tramos intermedios apoyados sobre los primeros a través de ménsulas invertidas.



Figura 4 Distribuidor vial San Antonio

- Procedimiento constructivo:

Esta clasificación hablará en términos generales y los procedimientos constructivos más comunes que se mencionan a continuación:

1. Montaje de superestructura por medio de grúas

Es considerado el más sencillo, incluso el más económico por el costo de sus operaciones. Para que se pueda hacer a través de este procedimiento es necesario que la altura desde el nivel del terreno natural al punto de apoyo de la

trabe sea poca, además de que debe haber espacio suficiente para la instalación del equipo que necesita la grúa, por ello es más común utilizarlo en estructuras urbanas donde hay espacio suficiente para las maniobras que ésta requiere.

2. Lanzadora de traves

Este montaje se refiere a la estructura de un puente cuando se utiliza para la elaboración del puente la celosía de acero, regularmente es utilizada cuando por cuestión de espacio no se puede maniobrar con grúa, por lo que es mejor utilizar esta estructura que puede colocarse sobre los cabezales de pilas, y estribos para desde ahí maniobrar a lo largo.



Figura 5 Lanzadora de trabe en fase de descenso

3. Empujados

Este procedimiento es conocido también como avance de voladizos sucesivos. El elemento principal que podemos observar es que existe una nariz de lanzamientos

de acero, debe ser menos pesada que el tablero para reducir el peso sobre los apoyos.



Figura 6 Puente la Marquesa

4. Doble voladizo

El procedimiento de doble voladizo es parte de esta tesis por lo que se explica brevemente ya que se habla a detalle más adelante. Este se trata de construir el tablero de un puente e ir avanzando por tramos consecutivos, de manera que el ya construido tenga la resistencia para ir soportando el peso del siguiente tramo llamado dovela.



Figura 7 Puente de la amistad, frontera internacional

5. Atirantados

Al igual que el procedimiento de doble voladizo se utiliza el sistema de avance, sólo que en este caso se hace por medio de tirantes mismos que se usarán en el servicio del puente. La ventaja de que los tirantes sean los apoyos elásticos anclados a las dovelas disminuye los peraltes del tablero, lo que permite el soporte en tramos iguales a la separación de cada tirante. De acuerdo a su disposición respecto al pilón y al tablero se pueden clasificar en tres tipos de atirantamiento:

- En abanico: la colocación de los tirantes es en la parte superior del mástil o pilón.
- En semiabanico: el anclaje es un punto independiente por lo que se necesita que el pilón tenga mayor longitud.
- En arpa: para la colocación de los tirantes en arpa se tiene que hacer de manera paralela abarcando la longitud del pilón.

Otra manera de clasificarlo es de acuerdo a su anclaje transversal, los mástiles pueden ser por suspensión axial que consiste en un solo plano de tirantes montados sobre un mástil de una sola pieza, y por suspensión lateral, que a diferencia del axial tiene dos o más planos de tirantes anclados a un mástil doble.



Figura 8 Puente atirantado parque Tecnológico Santander

6. Colgantes

Este procedimiento constructivo de puente no es el más común en nuestro país, sin embargo tiene una estructura a través de un tablero suspendido y sostenido por cables, similar al Puente atirantado, sólo que los cables catenaria (funicular) anclados en el mástil son el soporte más importante, ya que sobre estas se colocan los pendolones que luego soportarán las dovelas para formar el tablero.



Figura 9 Puente Golden Gate

3. Proyecto Supervía

La Supervía es un proyecto que surge luego de los resultados obtenidos en la Encuesta Origen-Destino antes ya mencionada, realizada por el INEGI, en ella se observa la necesidad de vialidades alternas que resuelvan la conectividad entre el sur y el poniente de la Ciudad de México por ello, el Gobierno del Distrito Federal plantea como solución dentro de su plan integral de vialidades y transporte público construir una ciudad mejor comunicada, con vialidades y transporte público moderno, seguro y eficiente.¹¹

Supervía es una vía rápida concesionada entre Avenida Centenario en Santa Fe y Luis Cabrera en la Ciudad de México, cuya longitud total es de aproximadamente 7 kilómetros, de los cuales 3 kilómetros son túneles y puentes, y 4 kilómetros de tramo elevado ya que por su accidentada orografía es una obra de gran complejidad técnica ya que además de ser un área urbana reducida es también una zona ecológica importante que se debe preservar.¹²

Este proyecto consiste en la construcción y operación de una vía nueva rápida confinada, con sistema de peaje que une la Avenida de los Poetas con Avenida Luis Cabrera mediante un sistema de túneles y puentes; el proyecto incluye los entronques nuevos con las avenidas Centenario, Las Águilas, Las Torres y Luis Cabrera así como la construcción de las adecuaciones geométricas necesarias para agilizar el tránsito en el entronque de la Avenida Carlos Lazo con la autopista México-Toluca en Cuajimalpa, así como adecuaciones geométricas y las llamadas Adecuaciones Viales Complementarias en Avenida Luis Cabrera, que consisten en dos puentes nuevos vehiculares de libre circulación en el cruce con la Calle Magnolia y en la incorporación a Periférico.

¹¹ En línea: <http://www.autopistaurbanaponiente.mx/>

¹² En línea: <http://www.ohlmexico.com.mx/>

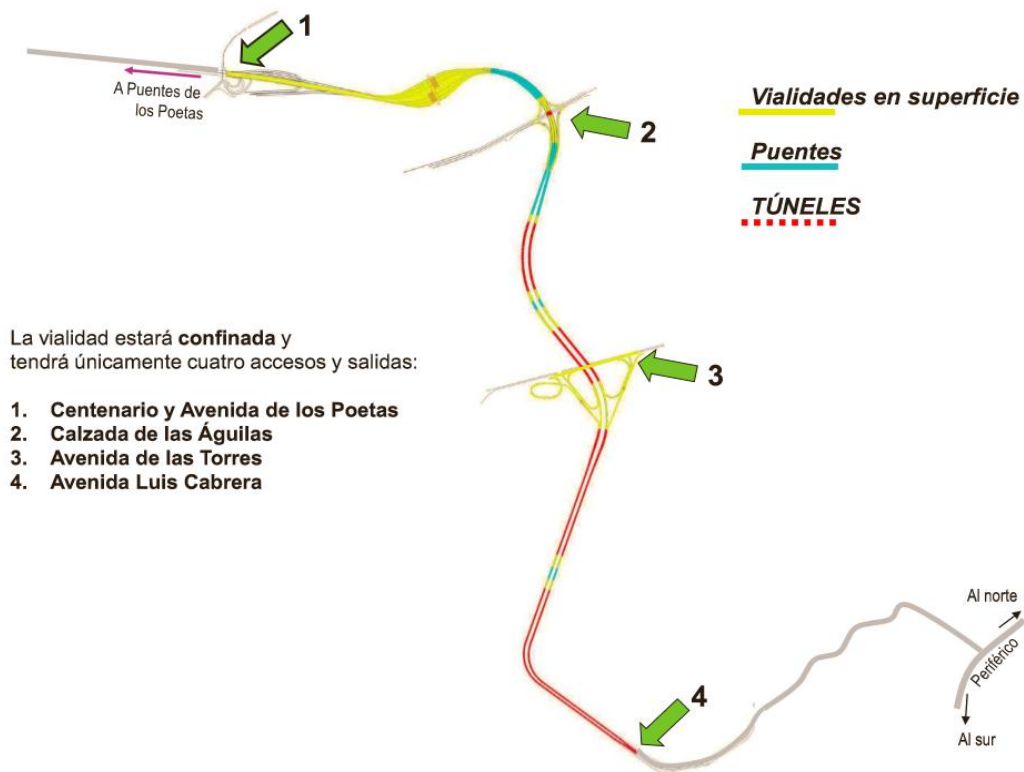


Figura 10 Ruta Supervía Poniente

La Supervía Poniente fue construida por la empresa “Controladora Vía Rápida Poetas, mediante el esquema de concesión, el cual obliga a la empresa a diseñarla, construirla, conservarla y mantenerla, por un periodo de 30 años.

El proyecto confinado de 5,240 metros se compone de 2,060 metros de terracerías, 730 metros de puentes y 2,450 metros de túneles; las pendientes máximas son del 6% en puentes y terracerías y del 3% en túneles. Estas pendientes permiten la circulación tanto de vehículos particulares y de transporte público.

Las obras de construcción de la Supervía Poniente se realizaron con la ejecución de todas las obras de mitigación del impacto ambiental ordenadas por la Secretaría de Medio Ambiente.

Por tratarse de un esquema de concesión, el Gobierno no gastó de los impuestos que pagan los habitantes de la Ciudad en su construcción, al contrario, una vez puesta en operación, el Gobierno recibe el 1% de todos los ingresos que se recauden por peaje.

Las obras duraron dos años aproximadamente, para cuando terminó de construirse, ya estaban construidos los otros dos tramos de la Autopista, el Tramo Norte y el Tramo Sur del Periférico.

La Supervía Poniente beneficia a todos los capitalinos. A los habitantes de las Delegaciones Álvaro Obregón y Magdalena Contreras ya que va a desahogar las vialidades existentes y además se reduce el tiempo de traslado dentro de las mismas delegaciones. Por supuesto que beneficia a todas las personas que transitan por la zona por motivos de recreación, trabajo y escuela, pues facilita la conexión de ingreso y salida de la zona. Por otro lado, a la misma ciudad en su conjunto la beneficia porque se reducirán en el transcurso de los años las emisiones de gases contaminantes, como el dióxido de carbono, principal gas de efecto invernadero. Cabe mencionar que la Supervía generó también más de 60 mil empleos, impulsando la actividad económica de la Ciudad.

Los predios para la construcción de la Supervía poniente, fueron expropiados por decreto del Jefe de Gobierno del Distrito Federal, su superficie total es aproximada a las 34 hectáreas. En total suman 63 predios, de los cuáles 56 ya fueron pagados y de 7 el pago está pendiente o en proceso.

3.1 Características

Este proyecto cuenta con una longitud troncal confinada total de más de cinco mil metros entre Avenida Centenario y el entronque con Luis Cabrera, y otros cinco mil metros lineales, aproximadamente, de entronques y adecuaciones viales complementarias. Además, se contempló realizar entronques y vialidades complementarias que ayuden a evitar la saturación de las vialidades de las zonas

sur y poniente, contribuyendo a mejorar la calidad de vida de los vecinos y de todas las personas que transitan por la Ciudad.

El trazo de la Supervía respeta las zonas de valor ambiental de La Loma y la Barranca del parque Tarango, como se había mencionado anteriormente se buscó preservar estos lugares y las barrancas de la zona, sin embargo la construcción fue blanco de críticas por parte de ambientalistas, vecinos de la zona, entre otros, pero el proyecto vial de la Supervía contempla la dificultad del área y es así como responde a las necesidades de tener vialidades adecuadas y mantener los lugares de preservación ecológica. No se puede impedir un proyecto vial que beneficiaría a decenas de miles de personas diariamente sin una razón válida.¹³

Es importante subrayar que la obra no se realizó sobre zonas de recarga del acuífero. El suelo donde se construyeron los túneles es de toba, un tipo de piedra que impide la filtración de agua al subsuelo. Esto último ha sido estudiado por los expertos responsables de la construcción de los puentes y túneles, como es el caso del ingeniero Enrique Santoyo, especialista en mecánica de suelos de la UNAM, quien tiene amplio reconocimiento internacional.¹⁴

3.2 Tramos-Descripción del proyecto

La Supervía en su extremo poniente parte de la intersección entre la Autopista Constituyentes-La Venta y la Avenida Arq. Carlos Lazo. Siguiendo el trazo de esta última, atraviesa Av. Tamaulipas, siguiendo por Av. Arq. Carlos Lazo y los puentes de los poetas, Av. de Los Poetas, hasta el cruce con Av. Centenario.

A partir de este punto la Supervía comienza a ser una vialidad nueva ya que no existe una vialidad previa; después de Av. Centenario la vialidad entra en la zona

¹³ En línea: <http://www.reforma.com/> Por: Sergio Sarmiento 2010/07/30

¹⁴ En línea: <http://www.autopistaurbanaponiente.mx/>

del Parque "Tarango", atravesando el arroyo Puente Grande para encontrarse de frente con la Calzada de las Águilas frente al parque "Las Águilas".

Pasando Calzada de las Águilas atraviesa el arroyo San Angel Inn e inmediatamente entra en un túnel, pasando debajo de la Av. Desierto de los Leones, saliendo junto a la Universidad Anáhuac para posteriormente entrar a otro túnel saliendo bajo la Av. de las Torres.

Pasando Av. de las Torres vuelve a entrar a un túnel bajo el Parque Ecológico y recreativo La Loma, sale del túnel a la altura de la barranca La Malinche y se vuelve a meter al túnel para pasar debajo de la colonia La Malinche, saliendo finalmente del túnel en Av. Luis Cabrera Pasando Av. San Jerónimo.

Continúa por Av. Luis Cabrera por medio de viaducto elevado, principalmente hasta su entronque con el Anillo Periférico, donde por medio de un distribuidor se podrá continuar circulando por la llamada Autopista Urbana Sur, que es el segundo piso del Anillo Periférico.¹⁵

La vialidad cuenta con accesos en las avenidas Centenario, Calzada de Las Águilas, Las Torres y Luis Cabrera aparte de en sus dos extremos.

Los entronques e incorporaciones son las siguientes en sus diferentes tramos:

a) Tramo 1: Centenario- Águilas.

* Incorporación Autopista Urbana dirección Avenida Centenario.

* Libramiento autopista urbana dirección Avenida Centenario y Avenida Los Poetas.

* Incorporación Avenida Centenario dirección Autopista Urbana.

* Incorporación Avenida Águilas dirección Autopista Urbana.

* Incorporación Autopista Urbana dirección Avenida Águilas.

¹⁵ En línea: <http://www.autopistaurbanaponiente.mx/>

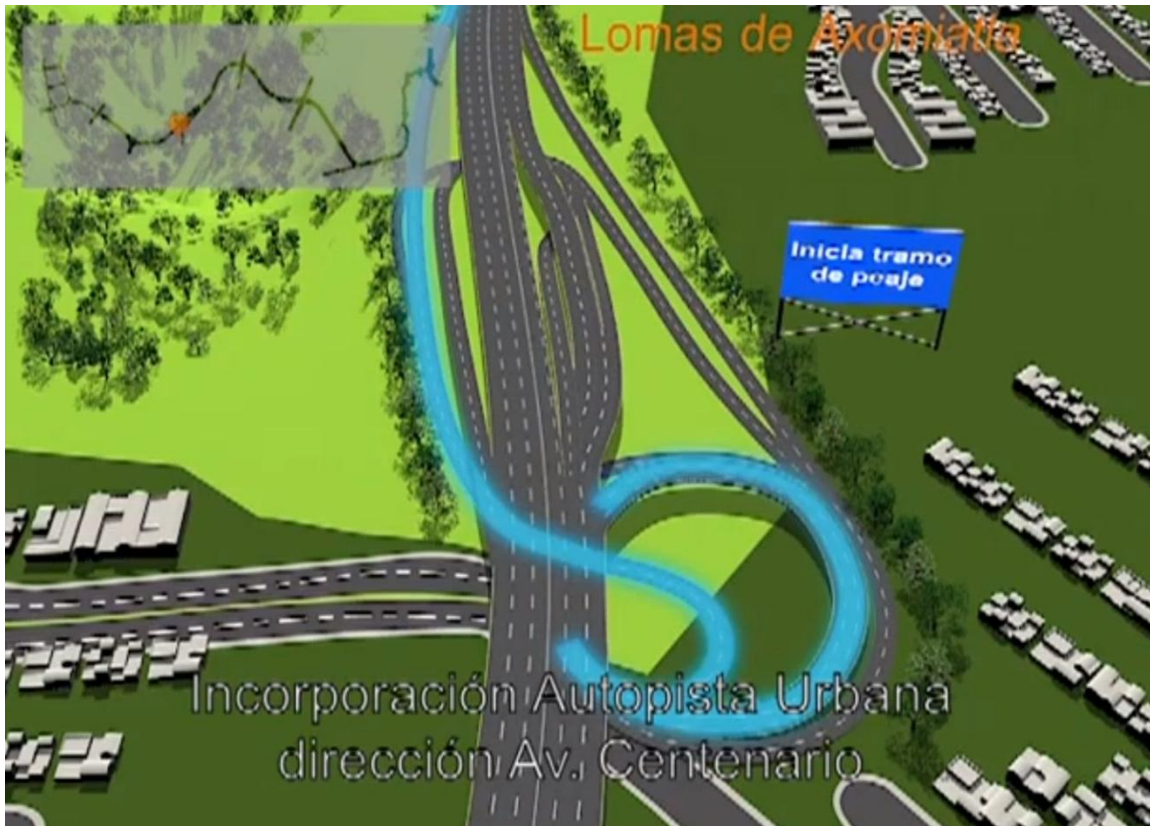


Figura 11 Entronque Centenario

b) Tramo 2: Águilas- Torres

- * Incorporación Avenida Águilas dirección Autopista Urbana
- * Incorporación Autopista Urbana dirección Avenida Águilas
- * Incorporación Avenida de las Torres- Autopista Urbana
- * Incorporación Autopista Urbana- Avenida de las Torres



Figura 12 Entronque Av. Águilas

c) Tramo 3: Torres- Periférico

- * Incorporación Avenida de las Torres-Autopista Urbana
- * Incorporación Autopista Urbana- Avenida de las Torres
- * Incorporación Anillo Periférico dirección Avenida Luis Cabrera
- * Incorporación Avenida Luis Cabrera dirección Anillo Periférico

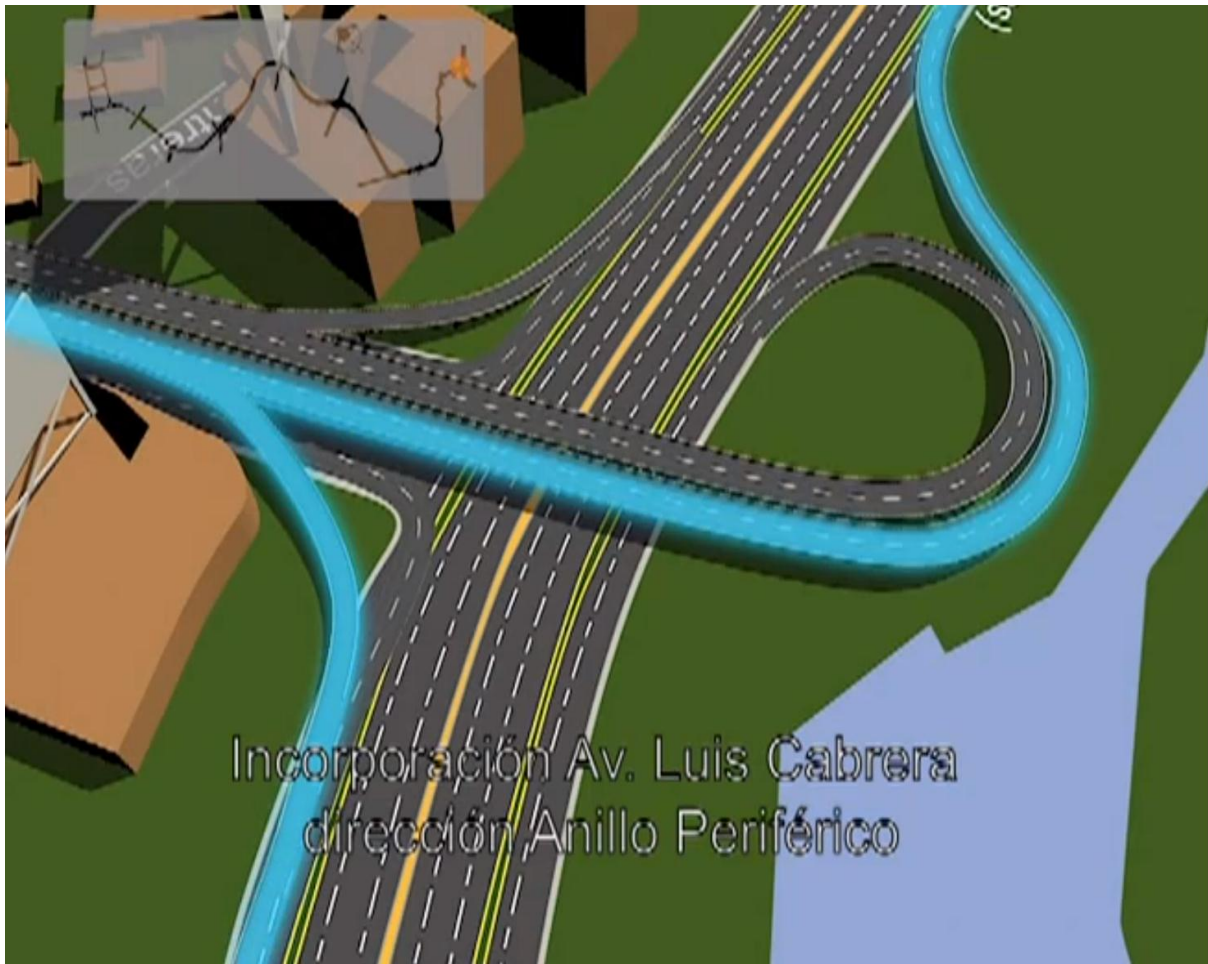


Figura 13 Entronque Periférico

3.3 Estructuras

Como se había mencionado anteriormente la construcción de la Supervía fue un reto para la Ingeniería ya que debía construirse garantizando la preservación del área ecológica, por ello fue necesario el uso de túneles y puentes en el diseño del proyecto. Es la primera vez en la historia de la Ciudad de México que se construyen túneles vehiculares de tal magnitud.¹⁶ Las estructuras o sistemas constructivos que se utilizaron para puentes y túneles se describirán brevemente a

¹⁶ En línea: http://www.transparenciaautopistaurbana.df.gob.mx/normatividad/info_general.pdf

continuación, recordando que el Puente 1, se mencionará posteriormente ya que es el tema central de esta tesis.

Conformación de La Supervía:

El Túnel 1 se construyó con la técnica de tubos hincados, se trata de un procedimiento alemán para abrir túneles someros bajo terraplenes de vialidades, consiste en injertar una estructura de acero en la masa del terraplén sin suspender el tránsito del paso superior y con hundimientos mínimos, En este caso la geometría es rectangular, de 28.8 m de longitud, con dos vías de 13.5 m de ancho y 8.0 m de altura.

Los túneles 2, 3, 4 y 5 de la Autopista Poniente están contruidos en un 75 por ciento en el sistema de marcos, el cual consiste en cavar un metro de terreno a fin de introducir un marco metálico y reforzarlo con un lanzado de concreto; el otro 25 por ciento consiste en un sistema tradicional, en el cual se cava de manera manual, se construye la estructura metálica y se rellena en sitio. Cabe mencionar que el túnel más extenso es el que pasa por debajo de Luis Cabrera, con una extensión de 950 metros de largo.¹⁷

Los puentes 2, 3 y 4 son de traveses presforzados, el puente 2 en especial tiene 11 claros de 50 metros cada uno, los puentes 3 y 4 son de uno y tres claros respectivamente.

¹⁷ En línea: http://www.transparenciaautopistaurbana.df.gob.mx/normatividad/info_general.pdf

4. Proceso Constructivo

4.1 Obras complementarias

4.1.1 Torres Grúa

Para un proyecto como el de puente 1 en el que se desplazaran muchas cargas en todas direcciones es imprescindible contar con torres grúa, no es nuestro caso pero en ocasiones son ellas también encargadas de subir el concreto con el que se colara cada elemento.



Figura 14 Cross Member en el aire

La carga máxima que levantara la grúa en cualquier punto o línea descrita por su movimiento será lo que defina el tipo de grúa por su capacidad, en esta ocasión la grúa tendría que subir un ensamble de los carros de colado llamado Cross Member que pesaba más de 6 toneladas, por tanto el modelo 2070 de la marca Linden Comansa cumple con lo requerido pues su capacidad es de 12 toneladas

cuando el gancho esta junto a la torre y 2.5 toneladas cuando está en la punta de la pluma que es de 70 metros.

Una vez definida por su capacidad su ubicación es la decisión más importante, pues en el caso de grúas pluma fijas el espacio que ocupen no podrá ser proyectado más adelante para ningún tipo de maniobra ni colocación de elementos constructivos. También la ubicación nos importa pues el área de acción que está descrita por una circunferencia no deberá de ser interrumpida y tendrá que ser lo mejor aprovechada siendo este el único espacio en el que se podrán desplazar las cargas.

Otro de los aspectos decisivos para la colocación de una torre grúa es el acceso por el que tendrá que transitar una grúa móvil pues estas siempre necesitan estar lo más cerca posible de sus cargas, esto es: entre más lejos este la carga de la base de la grúa esta necesitara ser de mayor capacidad.

Para el caso del puente 1 se utilizaron 2 torres grúas y se colocaron lo más cerca que se pudo de los apoyos. En la zona del apoyo 3 se contaba con suficiente espacio para desplantar la grúa en el sitio que quedaba libre entre ambas zapatas.

En el apoyo 2 la colocación de la grúa era mucho más difícil, pues no había espacio entre zapatas, el camino de acceso terminaba con el puente provisional 2 y todo alrededor era talud o cañada, por tanto esta terminó alejada del apoyo hacia el estribo 1 y fuera de eje hacia aguas abajo, otro de los aspectos importantes de la zapata del apoyo 2 es que quedo en un punto en el que no había acceso construido, por tanto el colado de la zapata y hacer llegar los elementos necesarios para ella no fue cosa fácil.

Los trabajos estaban proyectados durante 24 horas 6 días de la semana y 10 horas los domingos por tanto se requería que hubiera 2 operadores uno por cada turno cada uno con su respectivo maniobrista que es quien dicta los movimientos al operador mediante un radio, es una tarea delicada y de mucha responsabilidad ya que también debe de asegurar el correcto amarre de las cargas y habrá muchos puntos ciegos para el operador en los que se tendrá que confiar plenamente al maniobrista.

Otro aspecto fundamental de la operación de las torres es la correcta y continua alimentación de energía, que para el caso en particular solo era viable resolverlo con plantas de luz, se utilizaron unas a base de motores Diesel y generadores trifásicos que alimentaban las demandas máximas de la grúa que eran de 150 kilo watts a 220 volts .

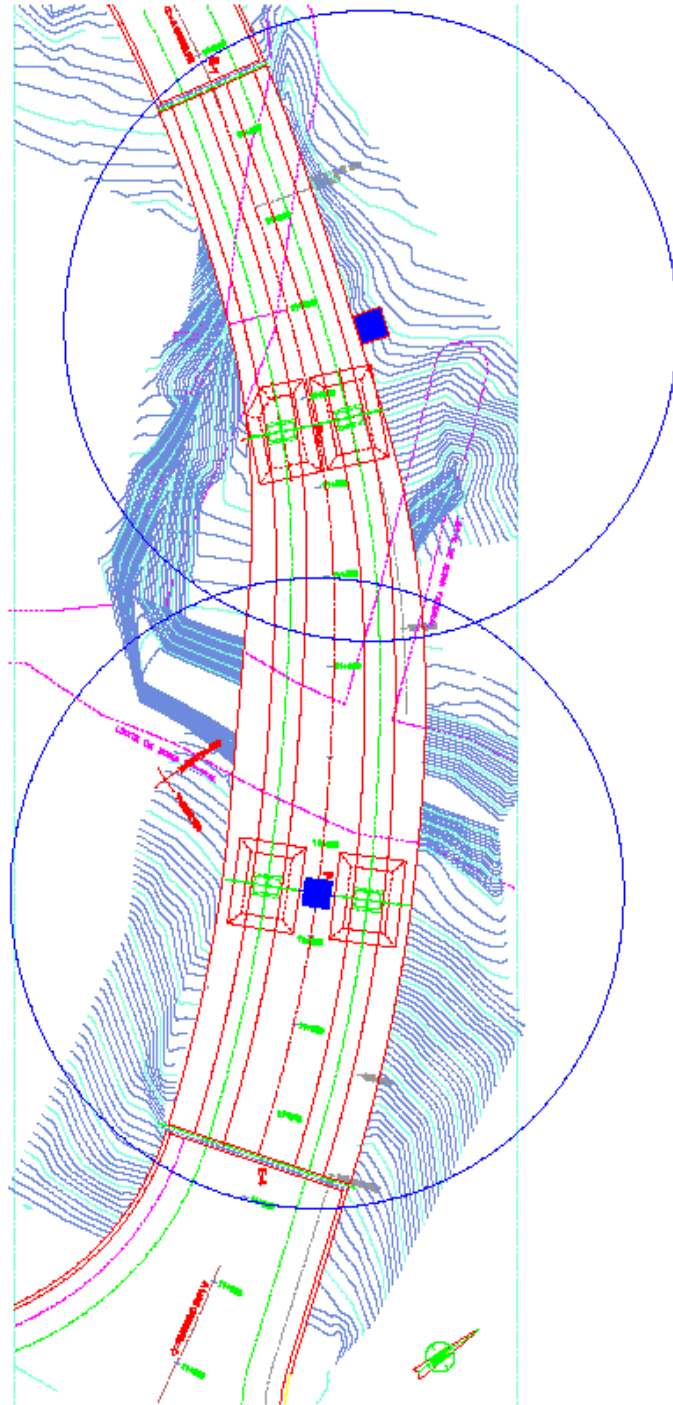


Figura 15 Ubicación y radios de acción de las grúas torre

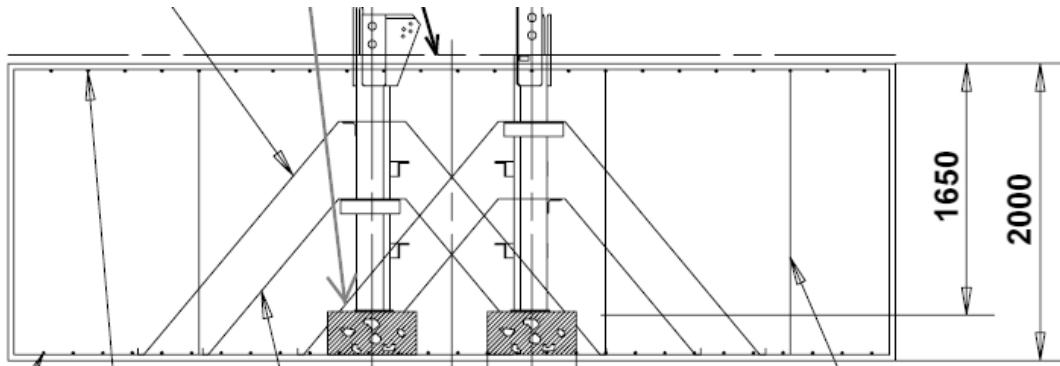


Figura 16 Colado de zapata de torre con pies de empotramiento ahogados, parrilla superior e inferior y estribos de sujeción

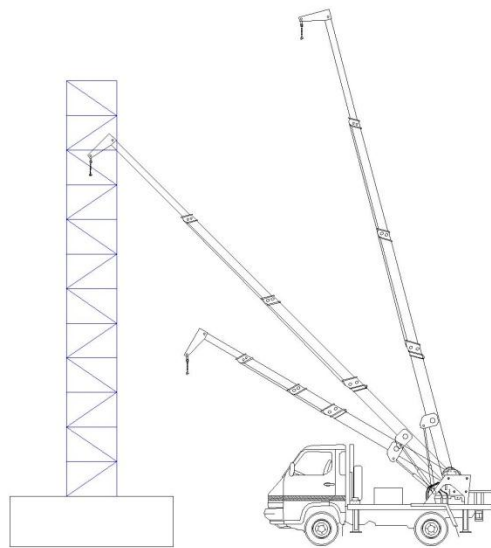


Figura 17 Ensamble y montaje de los 3 primeros elementos de torre

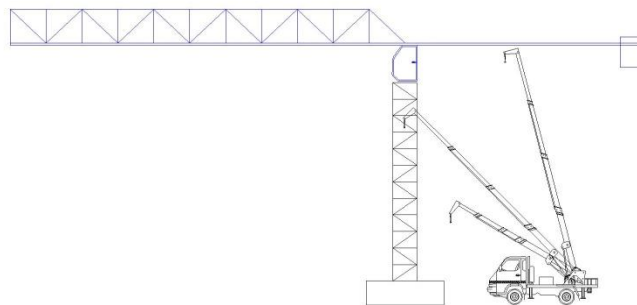


Figura 18 Ensamble y montaje de primera sección de pluma, parte trasera y contrapesos

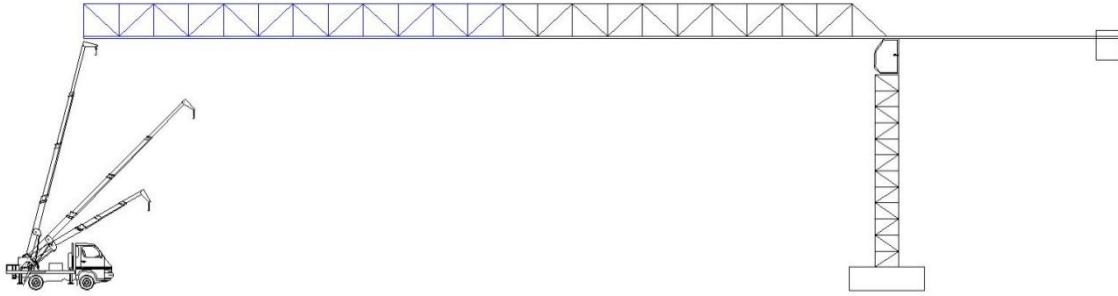


Figura 19 Ensamble y montaje del resto de la pluma

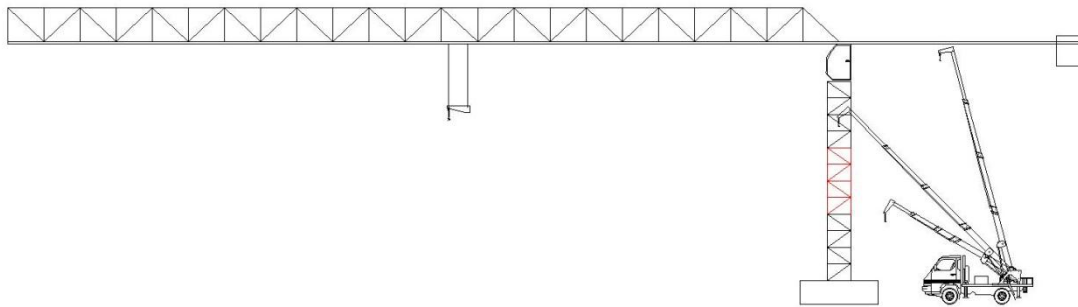


Figura 20 Montaje de la jaula y puesta en marcha

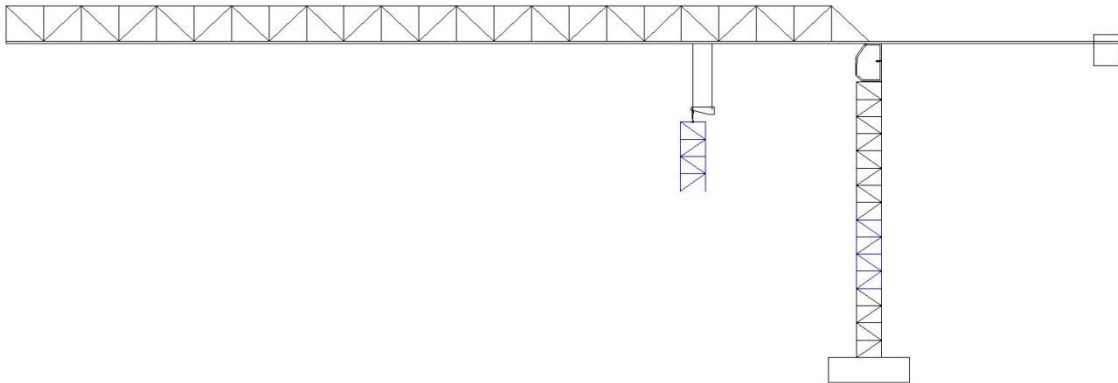


Figura 21 Auto montaje de secciones de torre restantes

4.1.2 Caminos de acceso

Los caminos de acceso a las pilas de cimentación de los apoyos 2 y 3 fueron gran parte del atraso de la construcción pues este se encontraba detenido por la resolución de la Manifestación de Impacto Ambiental; una vez terminada, parte de la resolución exigía respetar los escurrimientos, para lo que se excavaron cepas que conservaban la dirección tenían y se introdujo material filtrante desde boleos, gravas y finalmente finos que permitan la infiltración necesaria que cumpliera con la continuidad a los escurrimientos.

Se hicieron cortes en el terreno teniendo en algunas de las secciones más de 12 metros de altura en el talud, esto teniendo en cuenta que el material tenía la cohesión suficiente para soportar taludes con relaciones mayores de 1.5:1 de inclinación.

En las curvas más importantes que tienen a la barranca en uno de sus costados, se rellenó y estabilizó el terreno utilizando costaleras que permitieran alcanzar los niveles para así eliminar los cambios de pendiente y dejarlos con capacidad suficiente para transitar equipo pesado sobre ellos.

El material del lugar es una arcilla de alta plasticidad, lo que llevo a mejorar el material revistiendo con gravas y una vez colocadas se moto conformaron y aplanaron

Una vez terminados los caminos de acceso y ya con algunos días en operación se continuó con la iluminación de estos, se colocaron más de 18 lámparas en cada uno de los caminos y se buscaron equipos ahorradores para evitar desviar demasiado la capacidad de las plantas generadoras y se interconectaron con cable de aluminio que es mucho menos atractivo para el robo.

4.1.3 Puentes provisionales

El camino de acceso a pila 2 atravesaba dos grandes escurrimientos que incluso son considerados arroyos pues solo tienen flujo estacional, en la resolución de impacto ambiental se estableció la condición de conservación de esos arroyos, por esto se construyeron dos puentes provisionales con estructura metálica y con losacero.

Se tenían que colocar los estribos que en esta ocasión están formados por una zapata y un muro, por tanto se excavó el borde superior de la cañada con medios manuales con apoyo de equipo mecánico menor, se traspaleo hasta 10 metros de altura, posteriormente se colocó una plantilla de concreto con un $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ y 5 cm de espeso, fabricado en sitio y acarreado con carretilla para que una vez fraguada se colocara el armado de acero de refuerzo con la cimbra. En el otro borde se colocó concreto ciclópeo con un $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$, y piedras de 30 a 50 cm de diámetro, este fue elaborado en sitio con una revolvedora de 1 saco y acarreado con carretilla alrededor de 120 m, esto garantizaría la capacidad del puente para soportar las cargas que transitarían.

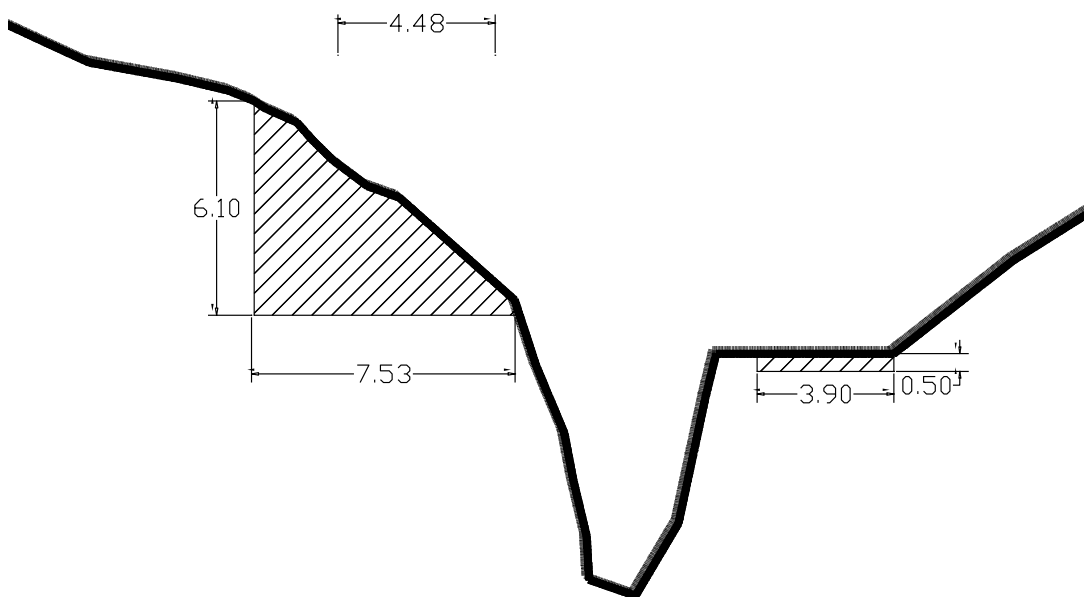
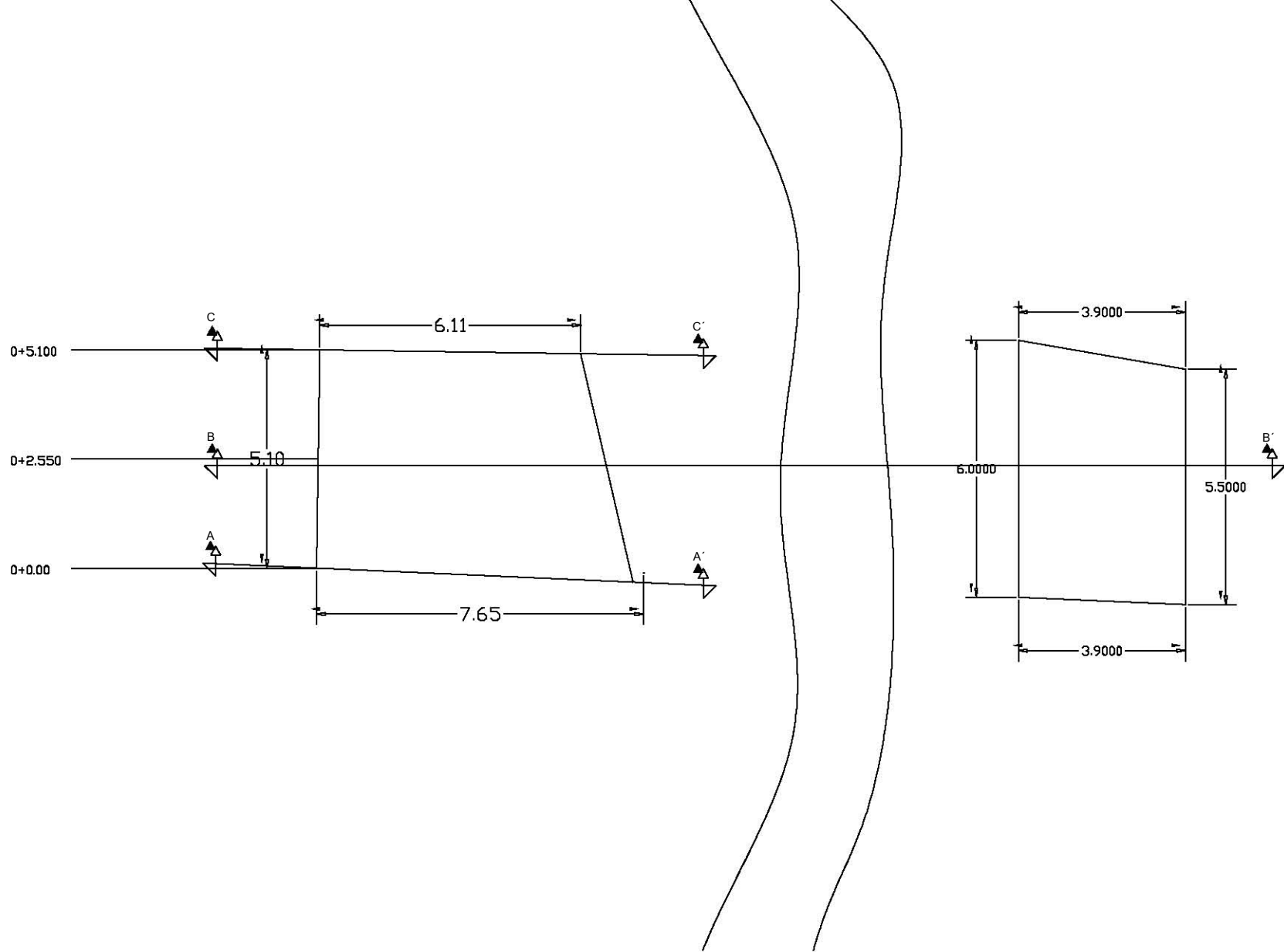


Figura 22 Corte A A' puente provisional 1



PLANTA
PUENTE PROVISIONAL 1

Figura 23. Planta de puente provisional 1

Una vez cimbrados ambos lados del puente se procedió al colado de muros y zapatas, para esto se usó un concreto elaborado en planta con un $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$, el cual fue colocado mediante bombeo, utilizando para esto una bomba con 150 metros de tubería y vibradores.

Una vez obtenida la resistencia se procedió a colocar las celosías de 16.09 metros que serán la spuer estructura, lleva 4 de ellas en sentido longitudinal y repartidas a cada 90 cm, dejando un volado de cada lado soportado por ménsulas soldadas a las celosías externas logrando así un ancho de calzada de 4.5 m

Con las celosías en posición se comenzó a soldar la lámina calibre 24 del sistema, después se armó la parrilla con varilla del # 3, # 4 y #6 según se indicaba en proyecto, y finalmente se coló concreto con un $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$ de igual manera bombeado.

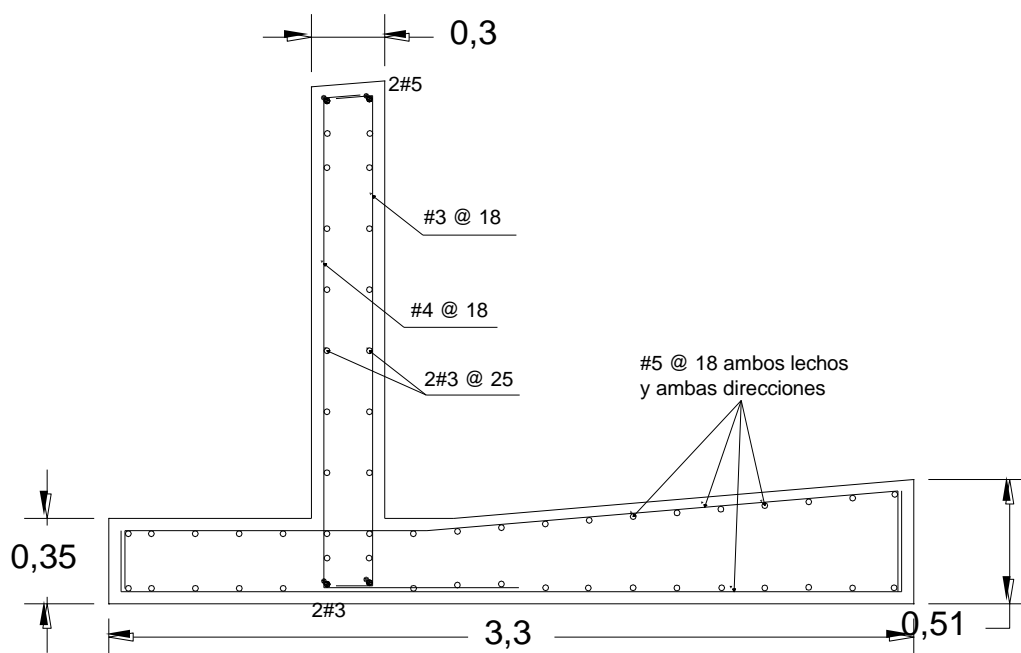
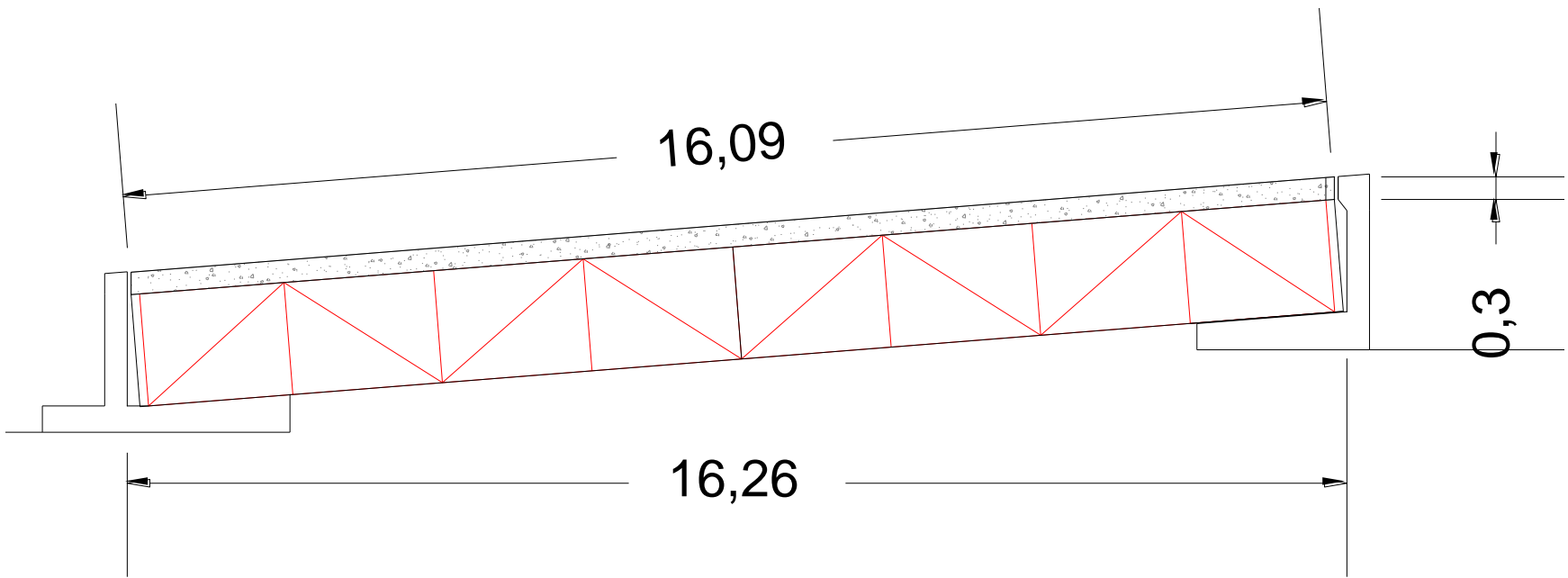


Figura 24 Corte de zapata en puente provisional 1



Corte de puente provisional 1

El segundo puente provisional se construyó de la misma manera que el primero pero con algunas diferencias, y es que debajo de las zapata de margen izquierda se rellenó con material suelo cemento para mejora de suelo en el desplante del puente con una altura hasta de 1.00 metro, en él se dejaron ahogados unos tubos que serían la cimbra de 8 pilotes de concreto con un $f'c=250$ kg/cm² de 1.45 metros de altura, un metro quedarían en el suelo cemento y 45 centímetros conformando la zapata. En éste caso la celosía medía 25 metros y el puente quedaba sin pendiente, los demás procesos fueron iguales.

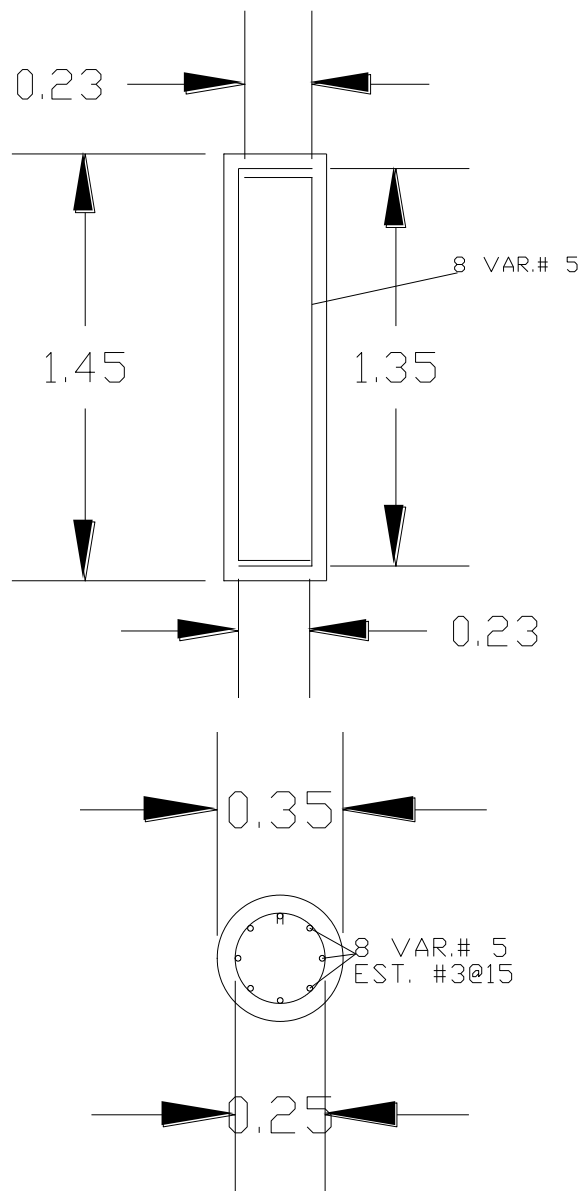


Figura 25 Armado de pilotes de estribo

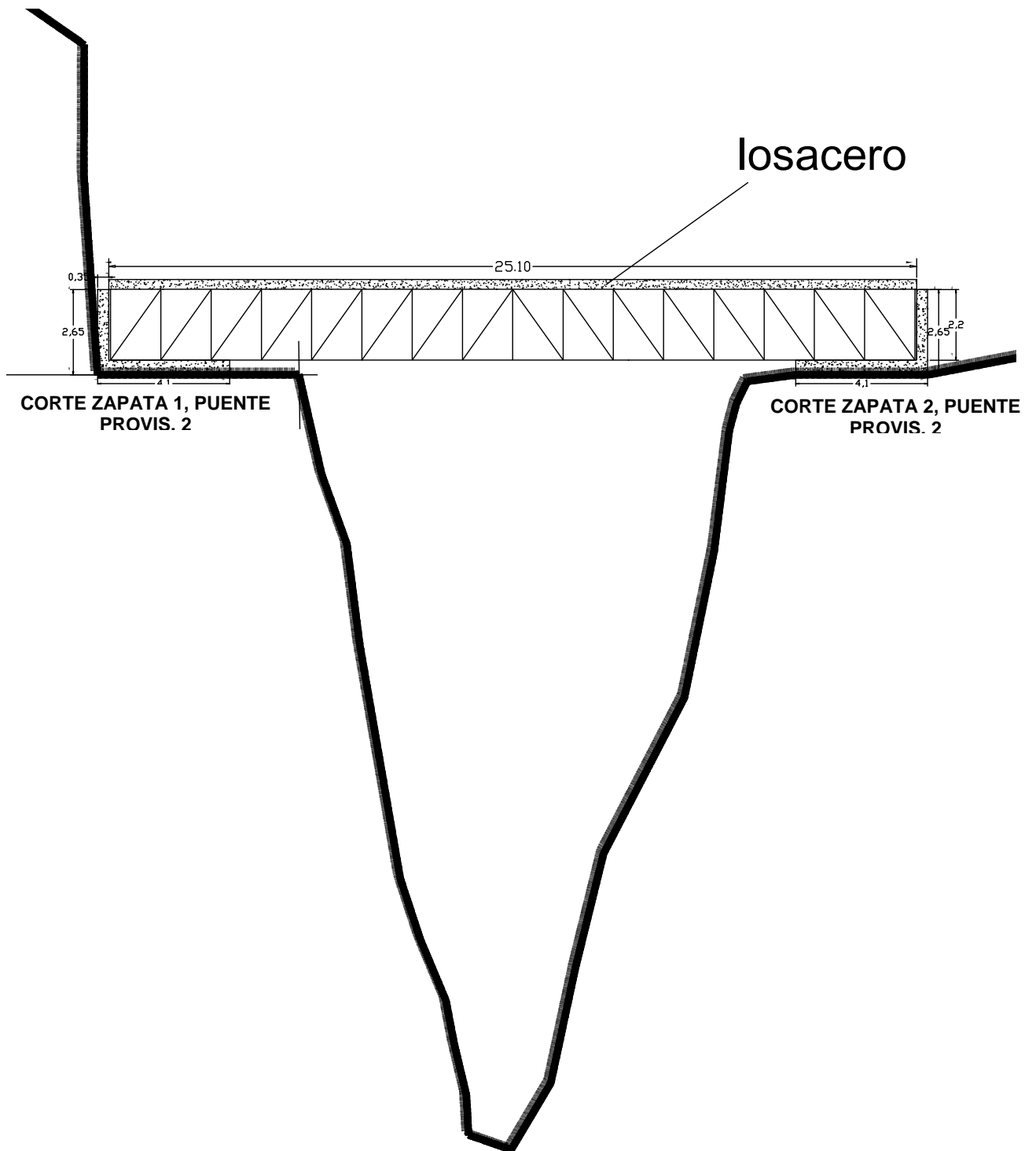


Figura 26 Corte A A' puente provisional 2

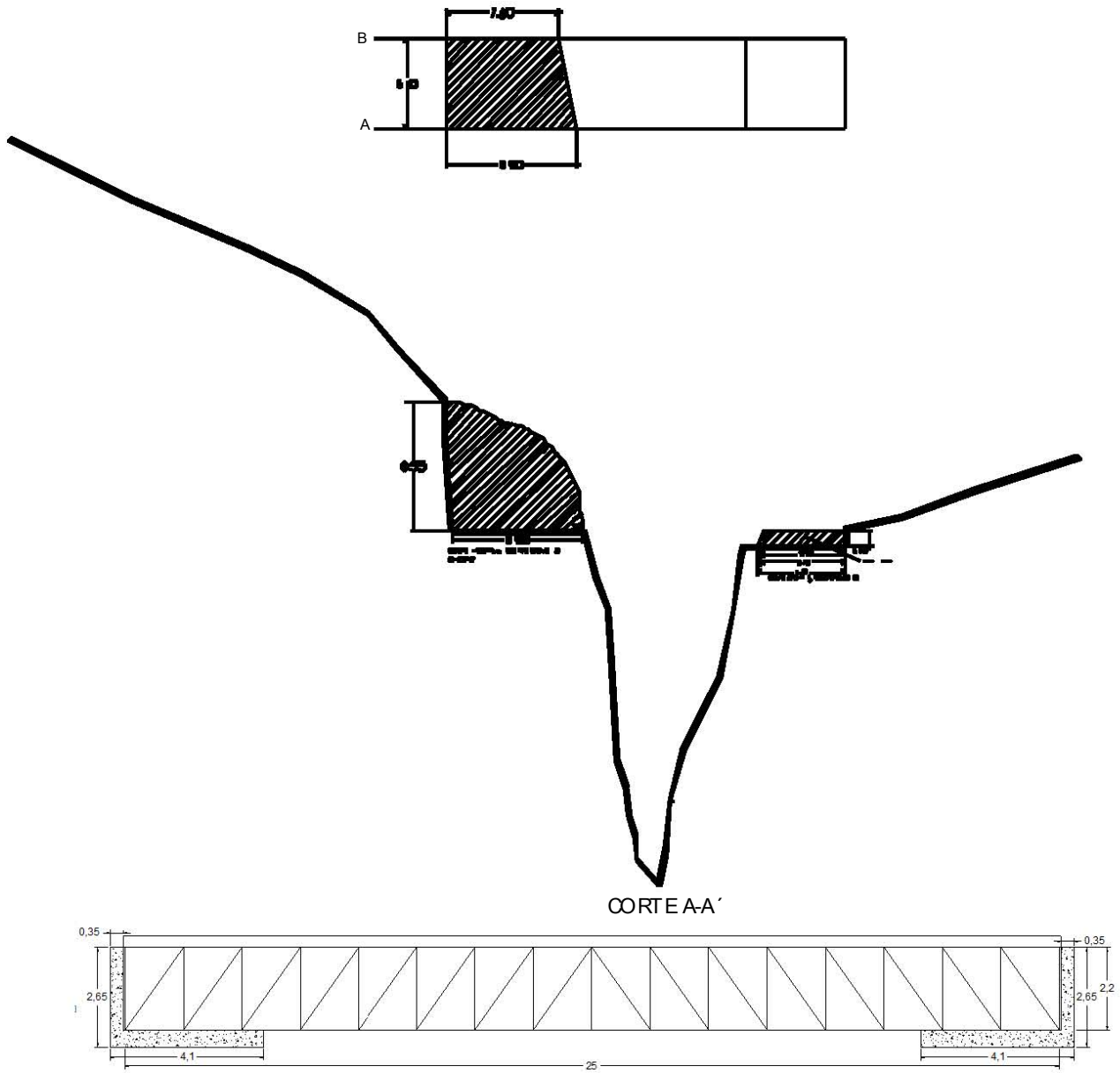


Figura 27 Corte y planta puente provisional 2



Figura 28 Pilotes dentro del suelo- cemento

4.2 Apoyos

4.2.1 Pilas

4.2.1.1 Pilotes

El puente cuenta con 2 cuerpos que al final fueron solidarizados por distintos elementos, pero estos cuerpos podían ser construidos independientemente, por eso existen dos pilas en el denominado apoyo 2 y dos pilas en el denominado apoyo 3, una del cuerpo derecho y otra del cuerpo izquierdo en ambos apoyos, la ubicación de estas era un asunto muy importante pues se necesitaba que los volados que comenzaban sobre ellas fueran lo más eficientes posible, las diferencias entre ellas era mínima aunque en pila 3 las secciones eran un poco más grandes pues conforme los cuerpos se separaban, los elementos superiores eran de mayor tamaño.

Los primeros elementos que describiremos serán los de cimentación en los que encontramos las zapatas y los pilotes de cimentación, los pilotes tienen un diámetro de 1.40 metros, y una longitud entre el plano inferior de la zapata y la punta del pilote de 16 metros, la distribución de ellos era en una cuadrícula de 4 por 5 pilotes con separaciones de 3.93 metros en un sentido y de 4.60 en el otro sentido para el caso de pila 2 pero en el cuerpo derecho falta uno de esquina y esto fue por la falta de espacio, pues inmediatamente se encontraba la cañada. Para el caso de pila 3 quedo la misma cantidad de pilotes pero con diferentes separaciones, en ambos sentidos fue de 4.20 metros.

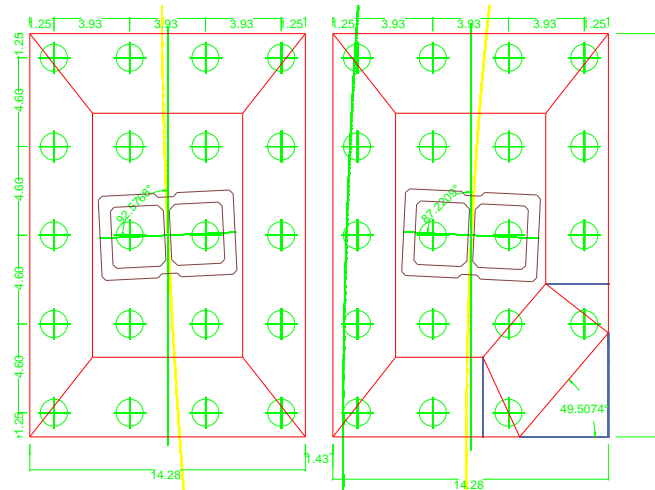


Figura 29 Sembrado de pilotes en Pila 2

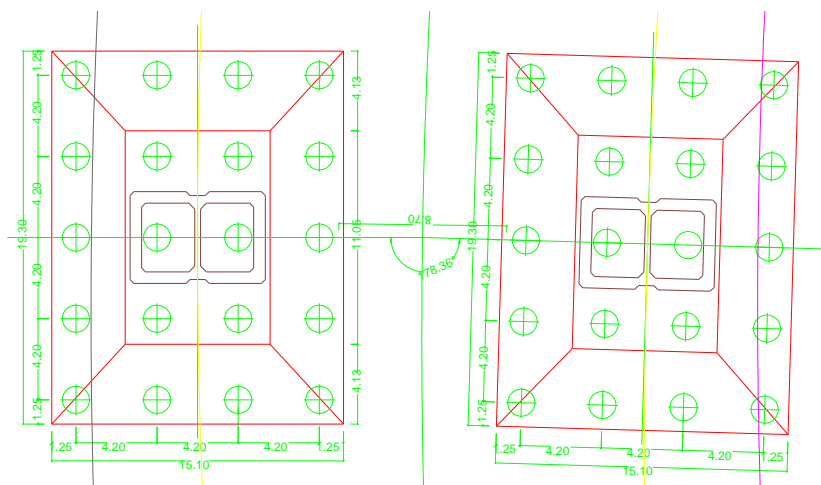


Figura 30 Sembrado de pilotes en Pila 3

La maquinaria utilizada para perforar el suelo fue una perforadora de barreno telescópico modelo R 416 marca Soilmec, esta maquinaria está equipada con orugas para poder tener acceso a lugares difíciles y para lograr mayor tracción con el suelo mientras trabaja, tiene una capacidad máxima de diámetro perforado de 1.5 metros y puede llegar a una profundidad de 55 metros.

Se armaron los pilotes con 36 varillas del # 8C en sentido longitudinal y estribos del # 5C a cada 20 centímetros y a cada 10 en los 3 metros de cabeza, el recubrimiento de los pilotes deberá de ser de 7.5 centímetros por lo que los

estribos deberán ser de 1.25 metros de diámetro. En el diseño se comprobaron los elementos mecánicos producidos en los pilotes por toda su longitud. Los máximos elementos mecánicos se producen siempre en la cabeza de los pilotes, como consecuencia del empotramiento que el terreno ejerce sobre la cimentación.

El armado se compone de varillas longitudinales colocadas en la periferia y de estribos transversales o espirales en algunos casos.

El acero longitudinal se coloca sobre apoyos y se marca los espaciamientos establecidos, se debe colocar los separadores, estos con un espaciamiento entre 1 - 1.5 m sobre lo largo del armado, no deberán coincidir en una misma sección transversal; seguido a ello, se realiza el amarre con los estribos hasta lograr la longitud requerida del pilote.

Una vez perforado y armado se introdujo el acero mediante una grúa estructural marca link belt de 50 toneladas, que al igual que la perforadora está montada sobre orugas y finalmente se coló con un concreto con un $f'c=300$ kg/cm² con ayuda de tubería tremie.

El tubo tremie debe ser un tubo de acero, en tramos de 1 m a 6 m con uniones herméticas, de preferencia lisas; esto es para que no tengan coples salientes que puedan atorarse con el acero de refuerzo. Se aconseja que el diámetro del tubo sea por lo menos seis veces mayor que el tamaño máximo del agregado grueso del concreto (3/4”).

La tubería tremie se introduce en el interior del armado se bajan en tramos de tubos acoplables hasta el fondo de la perforación, se coloca la tolva en su parte superior, se obtura unión tolva con tubería mediante un embudo. Luego se vuelca el concreto en la capacidad de la tolva, se retira el embudo y en forma continua se inicia el llenado del pilote. El volumen de concreto que se carga por tolva se desliza hacia el fondo desplazando el aire hacia el exterior. A medida que avanza el llenado se van retirando los tubos.

Es necesario usar este tipo de tubería pues si el concreto es arrojado directamente este se disgrega.



Figura 31 Pilotes en Pila 2



Figura 32 Pilotes en Pila 3

Ya colado y fraguado el concreto de los pilotes se procede a la demolición de la parte superior o descabece, para integrarlos al resto de la cimentación. Utilizando equipos de demolición tanto neumático como eléctrico se consigue quitar la última

parte del pilote, previamente se descubre esta misma parte en este caso con maquinaria.



Figura 33 Descubrimiento de Pilotes

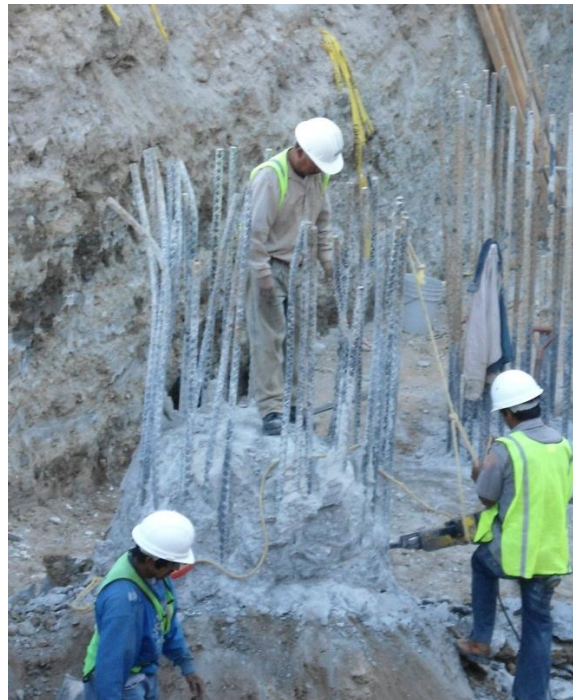


Figura 34 Descabece de pilotes

4.2.1.2 Zapata

Para la cimentación del puente 1 el proyecto incluye pilotes, siempre que se tienen pilotes estos deben de quedar empotrados dentro de las zapatas, y a su vez la pila quedara empotrada en la zapata, las zapatas tienen grandes dimensiones que ayudan a distribuir la carga concentrada que lleva la pila hacia el suelo, también aumenta el momento de inercia del puente, finalmente son elementos de transición de grandes dimensiones.

Las zapatas de este proyecto variaban, la del cuerpo derecho en el apoyo 2 estaba trunca pues como se dijo antes se omitió un pilote y las del apoyo 3 eran del mismo tamaño aunque no eran simétricas, la suma de áreas de contacto por apoyo es prácticamente igual.

Después del descabece de pilas se emparejó el terreno y finalmente se colocó una plantilla de concreto pobre con un $f'c=100\text{kg/cm}^2$, siendo esta de 10 cm de espesor, es lo que en otros lugares se conoce como concreto de limpieza, ya fraguado se comenzó a colocar el acero de refuerzo en este caso fueron alrededor de 186 toneladas de acero por zapata, tienen hasta 5 capas de varilla del #12C, para todo el armado de una zapata se llevaban casi una semana con 90 oficiales fierreros de 8am a 8pm y 40 oficiales fierreros de 8pm a 8 am, el acero ya estaba habilitado en su mayoría aunque no podía ser descargado en el sitio donde se armaba la zapata y tenía que ser trasladado a mano por todo el camino de acceso. Otro aspecto importante es que en diámetros muy grandes el traslape de varilla requiere grandes longitudes por lo que se vuelve muy costoso, para evitar esto se utilizaron conectores extruidos que garantizan la continuidad en las propiedades mecánicas de la varilla, fue solo en las zapatas y al principio de las columnas donde se utilizaron este tipo de conectores.

La cimbra que se utilizó para la zapata fue cimbra de tipo tradicional compuesta por polines, barrote, triplay y alambón, se cubrió toda la superficie y en algunas partes fue contra terreno, toda la zapata tendría un recubrimiento de 5 centímetros para esto se utilizaron apoyos de concreto mejor conocidos como pollos.



Figura 35 Personal técnico colocando conectores extruidos

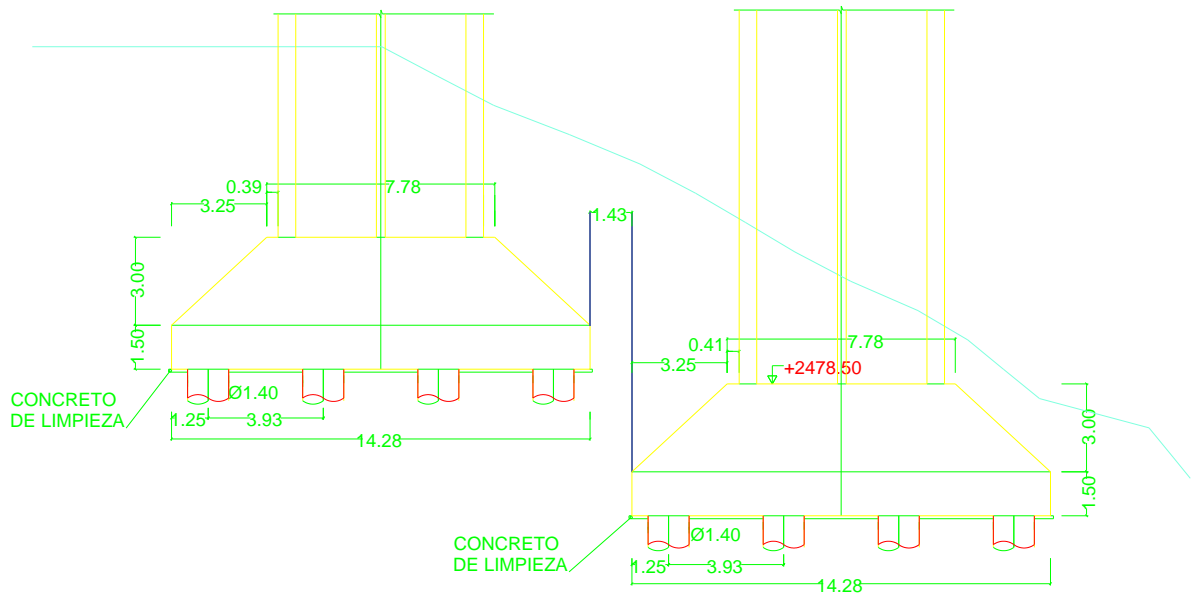


Figura 36 Corte de Zapatas Pila 2

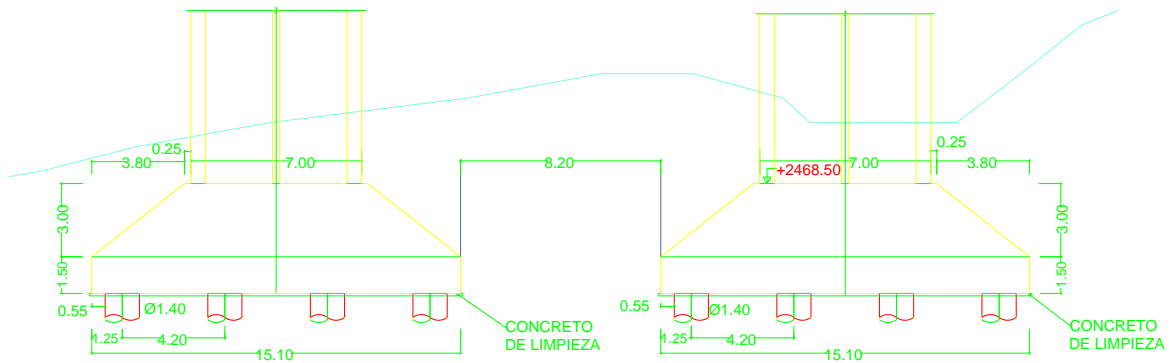


Figura 37 Corte de Zapatas Pila 3

4.2.1.3 Pilas

El armado de la pila comenzaba dentro de la zapata con el acero longitudinal o también conocido como disparos, que son los que más tarde serán traslapados o acoplados, esta vez con conectores roscados, el armado de pila a pila variaba pues la rigidez que se necesitaba era diferente a lo largo de todos los puntos de las pilas, todo esto resultado del análisis estructural, para sismo con distintas combinaciones pues ambos cuerpos deben moverse monolíticamente.

Los diámetros que se utilizaron para el acero longitudinal son del #10C en el exterior y del #8C en el interior y para el acero transversal del #6C y #4C para estribos y del #5C para grapas u horquillas.

Los fierros se apoyaban con diferenciales o polipastos que les ayudaba a mantener el acero en su lugar, la grúa torre subía atados de varillas que dejaban suspendidos en los muros mientras eran colocados, el proceso de armado de una trepa utilizaba 24 horas del ciclo, al igual que en casi todos los elementos el suministro de acero era ya habilitado por la empresa HESA.

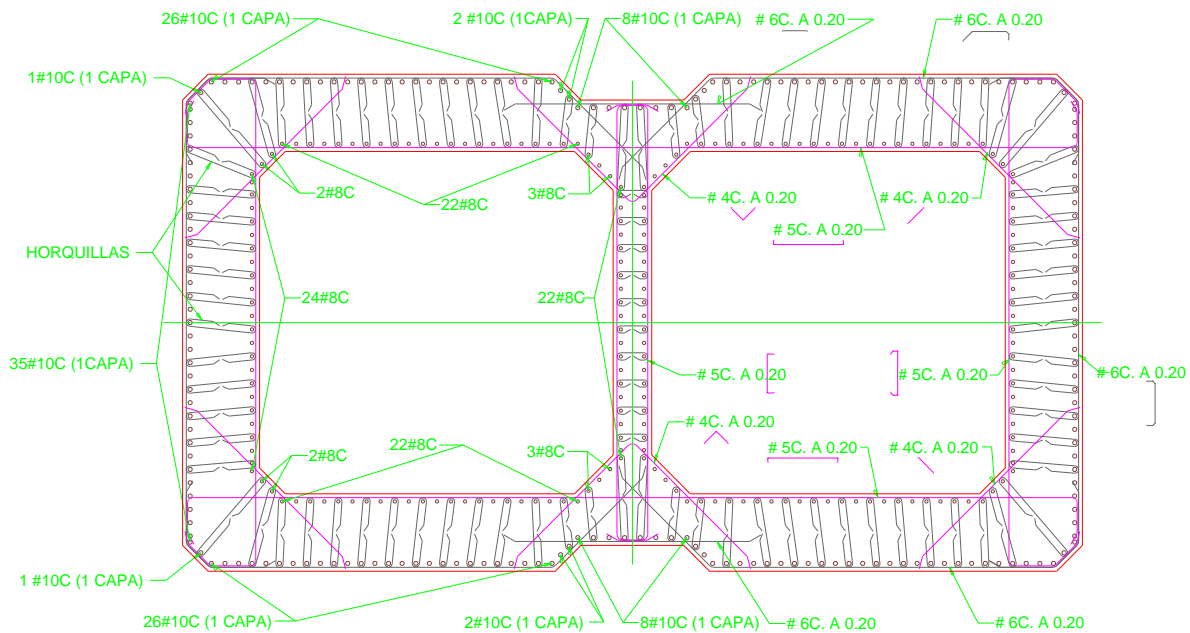


Figura 38 Armado de pila tipo

La sección que se utilizó fue la de pilas con doble núcleo o pilas con diafragma, esta sección es muy eficiente pues tiene suficiente rigidez sin tener que ser macizo, a la vez cuenta con bastante momento de inercia que logra hacerla sumamente estable, el diseño no necesita poner especial atención en fallas por esbeltez o pandeo, esto a menos que sean demasiado altas.

El diseño principalmente resiste la condición de cargas muertas más sismo, que es la que rige en este caso por ser la más desfavorable, se revisan condiciones que involucran a la temperatura pues los efectos térmicos en pilas con inercias grandes es un factor importante a revisar sobre todo por ser un puente continuo.

Las trepas que se colaron eran de 3 metros de altura, por tanto las pilas tenían que ser previamente ajustadas para después lograr terminar todo su desarrollo con trepas iguales y así alcanzar alturas compuestas por múltiplos de 3 metros más el ajuste.

Esto es:

-Pila 2 izquierda, con altura de 29.79 metros, ajuste de 2.79 metros más 9 trepas de 3 metros.

-Pila 2 derecha, con altura de 34 metros, ajuste de 1 metro más 11 trepas de 3 metros.

-Pila 3 izquierda, con altura de 42.82 metros, ajuste de 82 centímetros más 14 trepas de 3 metros.

-Pila 3 derecha, con altura de 41.66 metros, ajuste de 2.66 metros más 13 trepas de 3 metros.

Las Pilas son constantes en 2 de las caras y en las otras 2 reducen a medida que se aproximan a la superestructura pero todas terminan con la misma sección que es de 7 por 3.61 metros, para después empotrar con una dovela de pila.

Para lograr alcanzar la altura de trabajo de las pilas se utilizaron escaleras de obra que son modulares, tubulares y de fácil armado, en cada apoyo se utilizó una para ambas pilas.

4.2.1.4. Cimbra trepadora

El proceso de colado fue con cimbra trepadora doka modelo 150F, que es de los más sencillos y eficientes, esta cimbra tiene diferentes componentes para así modular las dimensiones de muro que fuesen necesarias.

Se habilitaron 14 juegos por pila, el modo de sostenerla es con conos de trepado que tienen una gran capacidad a la tracción, cada juego utiliza 2 de estos.

Los módulos de cada muro son troquelado con barras de 15mm, la cimbra de contacto es triplay con cubierta fenólica clavado a vigas H20 de diferentes medidas que son ensambladas a perfiles metálicos llamados Steel waling, estos a su vez reparte la carga en dos perfiles más que junto con un dispositivo de tijera abre y cierra la cimbra contra el muro, las ménsulas de carga transmiten la fuerza al cono de trepado en sentido horizontal que es en el que más capacidad tienen,

estos conos son recuperables, solo queda ahogada una placa con barra que es la que retiene al cono mediante un roscado, el cono tiene una cabeza que es donde tracciona la ménsula.

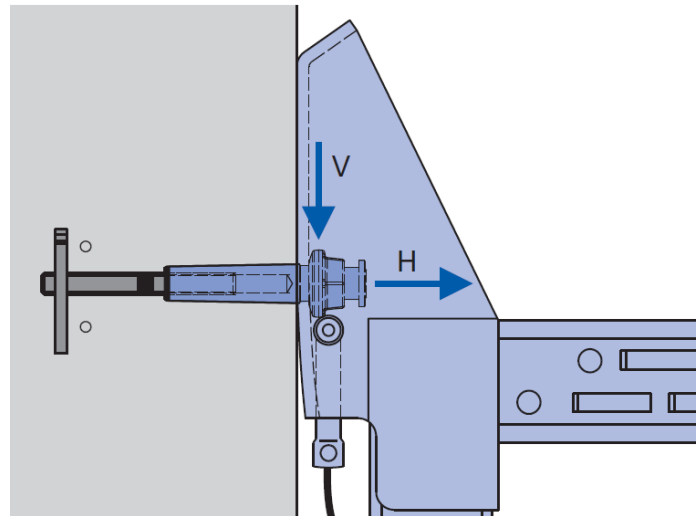


Figura 39 Cono de trepado¹⁸

**Carga Vertical $V=35$ kN
Carga Horizontal $H=65$ kN**

La cimbra cuenta con 3 plataformas de trabajo, en la superior se realizan los trabajos de colado, en la intermedia los de cimbrado y en la inferior se efectúan los trabajos de aparentado y remoción de conos, el proceso de izaje, los tubos rigidizan el armado y ayudan a que todo se mueva en una sola pieza, con este tipo de cimbra se podrían alcanzar trepados de 6 metros.

La sección no es completamente cuadrada, tiene chaflanes en las esquinas y dos huecos a la altura del diafragma, para los cuales se confeccionaron cajones y cartabones con cimbra tradicional, os recubrimientos que quedaron van de 5 a 7 centímetros.

Este tipo de cimbra es muy eficiente para tener ciclos de trepado más cortos, en este caso fue de 48 horas, colando diario en cada apoyo un día izquierdo y un día derecho, para lograr esto se utilizó concreto con un $f'c=300$ kg/cm² y resistencia rápida para lograr el 80% de la resistencia a las 24 hrs y seguir trabajando.

¹⁸ En línea: <http://www.doka.com/web/products/system-groups/doka-climbing-systems/crane-lifted-climbing-formwork/climbing-formwork-mf240/index.la.php#>

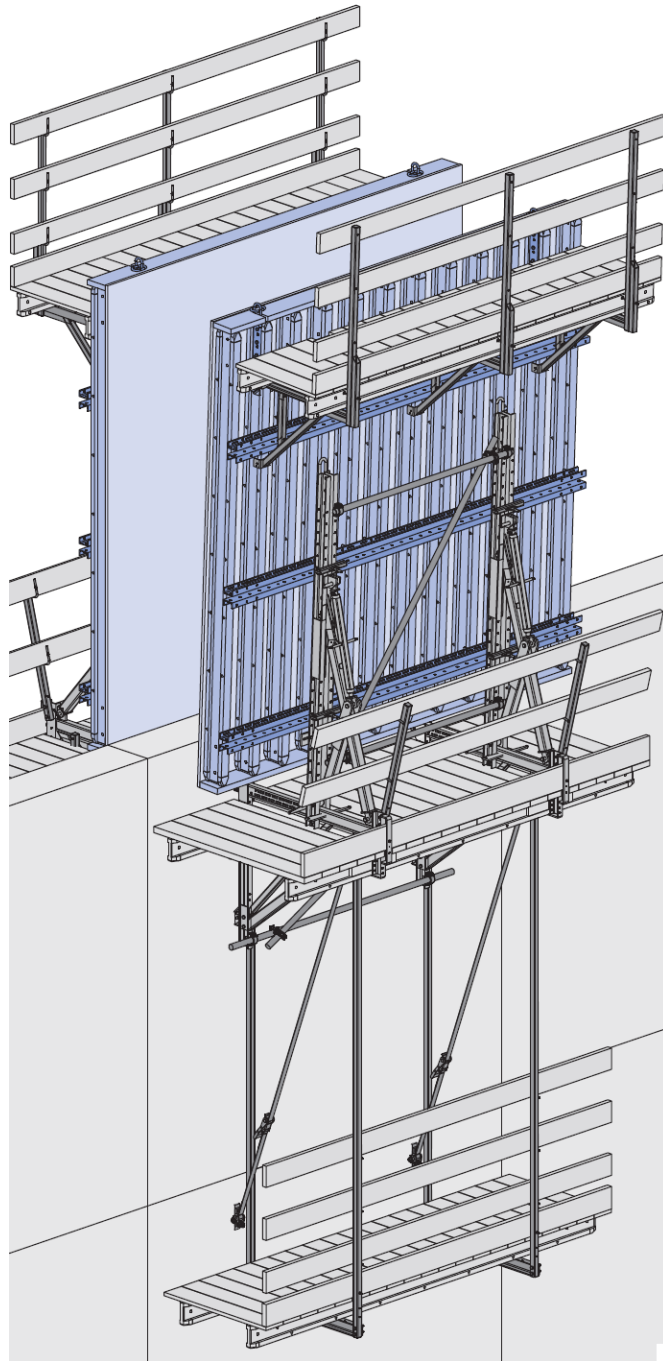


Figura 40 Cimbra Doka F 150

4.2.1.5 Obra falsa

Al terminar los trepados las pilas están empotradas en el tablero mediante la dovela de pila y para esto se necesita elaborar una estructura u obra falsa debajo de la dovela para tener espacio y continuar con los trabajos.

La obra falsa está formada con elementos metálicos como son celosías, vigas principales, largueros, apoyos o puntales y escuadras de barandal, lo demás es madera.

Para poder lograr montar esta obra falsa fue necesario dejar preparaciones en el último trepado de la pila; con la geometría en negativo de 4 ménsulas llamados cajetines, a su vez tendrían dos pasos de barra de presfuerzo cada una, estas serían tensadas manteniendo el par encontrado de ménsulas dentro de su preparación y así transmitiendo la carga dentro de la pila, en las ménsulas caerían los husillos con rosca y cabeza esférica dentro de un dispositivo con forma de rotula todo esto permitiría descargar teniendo tolerancias en la ubicación.



Figura 41 Montaje de Ménsulas



Figura 42 Montaje de estructura de Obra falsa

4.2.2 Estribos

4.2.2.1 Cimentación

Igual que en las pilas los estribos cuentan con zapatas y pilotes con separaciones de 4.2 metros en ambos sentidos, 16 metros de profundidad y que de la misma manera fueron preparados, armados y fabricados con los mismos equipos y procedimientos descritos anteriormente.

Para el estribo 1 la zapata mide 27.7 x 6.6 metros y se tiene una altura de 3 metros, los pilotes son catorce con 7 en un sentido y 2 en otro.

En el estribo 4 la situación fue un poco diferente pues como el terreno natural tenía un desnivel considerable entonces se proyectó una zapata escalonada con 8.5 metros de desnivel, la longitud total es de 24.7 x 8.1 metros de ancho y al igual que el estribo 1 la altura de la zapata es de 3 metros, los pilotes están en dos secciones 10 para la parte superior y otros 10 para la parte inferior de la zapata, la distribución es de 5x 2 para cada parte y separaciones de 4.20 x 5.70 metros en ambas direcciones.

4.2.2.2 Losas de aproximación

Las losas de aproximación o transición ayudan al suelo que está detrás del estribo a transmitir las cargas a la estructura pues de lo contrario es muy fácil que se presenten hundimientos previos a la entrada del puente. Los estribos 1 y 4 tenían diferentes consideraciones pues cada cuenta con diferente arreglo de losas, para el estribo 1 solo es una losa contrapuesta a la ménsula de la junta, esta mide 4.5 metros de ancho por 20 centímetros de espesor y va todo a lo largo del estribo. En el estribo 4 se cuenta con 5 losas de aproximación, una que también esta contrapuesta con la ménsula de la junta, con 4.5 metros de ancho 20 centímetros de peralte y va a todo lo largo de los carriles centrales, otras dos que miden 11 metros de ancho y están cada una al borde de la zapata en las diferentes alturas que esta tiene y finalmente otras dos que quedaron en los ramales que están a una cota más alta en ambos casos.

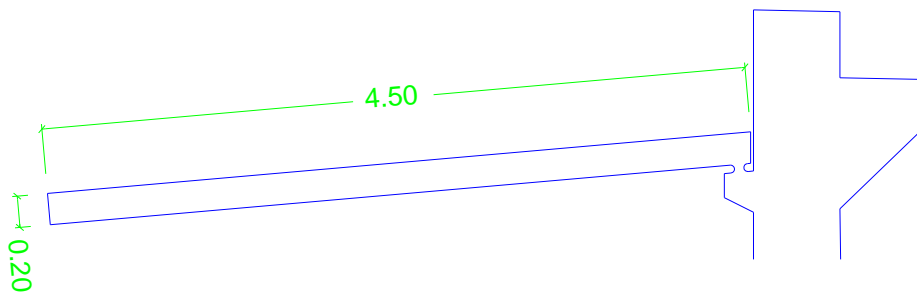


Figura 43 Losa contrapuesta a ménsula de junta

4.2.2.3 Muros Aleros

El estribo 1 cuenta con los dos muros aleros que van en los extremos de este, son parte de los muros de contención previos al puente, pero si vamos al estribo 4 observamos que este tiene 8 muros aleros, estos están a los extremos en 2 grupos, y cada grupo es el apoyo para los ramales, esta disposición da mayor rigidez al estribo, contiene y compacta con mayor eficiencia el material.

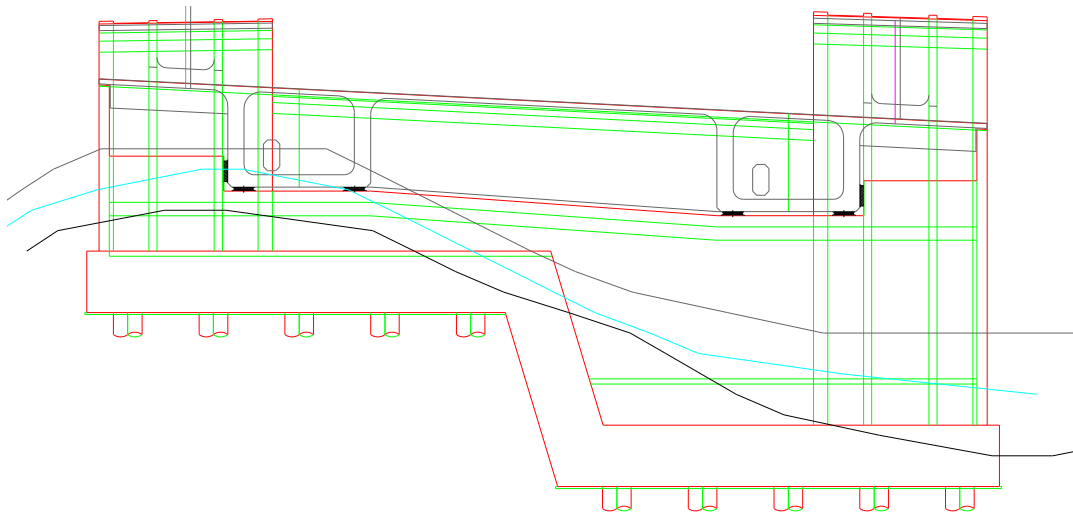


Figura 44 Estribo 4 con proyección de Muros Aleros

4.2.2.4 Relleno fluido

Los estribos como en cualquier puente están situados al inicio y al final, tienen que garantizar la transición del suelo firme hacia el puente, también son apoyos de la superestructura y contenedores de las juntas de dilatación, neoprenos y bloques antisísmicos, por todo lo anterior necesitan ser lo más estable y estanco posible.

Como la barranca del parque Tarango no contaba con mucha estabilidad pues el material se erosionaba con facilidad se llegó a la solución de contener el suelo que quedaba a espaldas de los muros estribos pues es preciso cuidar que las losas de aproximación no sean socavadas, por tanto se utilizaron muros de relleno fluido, esto garantizaba que tendrían más capacidad y permanencia que un terraplén, a parte de las limitaciones de espacio por condiciones de la zona federal vecina.

Se hizo un levantamiento y posteriormente se excavó hasta el punto donde se habían proyectado, se escalono de abajo hacia arriba como muros de contención y a continuación se colocó el geotextil, después se comenzó a vaciar suelo-cemento, se contaba en el sitio con una hormigonera auto cargable marca Caterpillar, que dependía del suministro de agua y cemento que mezclados con el suelo existente era colocado en el muro, a esto se le sumó el suelo cemento que se traía fabricado en planta, previamente se cimbraba en los lugares donde no se

coló contra terreno, mientras se vaciaba se colocaban tubos que servirían de drenes del terraplén a espaldas del muro estribo.



Figura 45 Muros de relleno fluido

Los estribos fueron igual que las zapatas de pilas colados con concreto con un $f'c=300\text{kg/cm}^2$ bombeado, con cimbra tradicional y conectores extruidos para varillas del #12C.

4.3 Tablero y Superestructura

4.3.1 Tablero

El tablero está apoyado en los estribos vertical y transversalmente, permitiéndose el desplazamiento según el eje longitudinal del mismo. Se permiten los giros del tablero sobre los tres ejes, tiene una pendiente longitudinal del 2% y transversal del 5% esto es porque está en curva, consta de tres claros, el claro 1 mide 78.19 metros el claro 2 mide 104.43 metros y el claro 3 mide 60.06 metros; resultando una longitud total de puente de 242.68 metros, hacia el estribo 4 el puente ensancha pues de él salen 2 gasas, la del lado derecho es mucho más alta y fue construida una vez terminadas las dovelas que la sostienen, también esta fue cimbrada con cimbra tradicional, cuenta con neoprenos que separan la losa de las columnas por lo que no es monolítica. En el lado izquierdo la sobre elevación es mucho menor por esto solo los últimos 12 metros se comenzó a separar la losa de la gasa y termino 70 centímetros por encima de la de la dovela.



Figura 46 Gasas Puentes 1

Tiene 2 cuerpos que son construidos independientemente y finalmente unidos por una franja justo en el eje del puente que mide 2 metros de ancho y los 246.68 metros de largo, da continuidad a la losa y a las nervaduras, toda fue cimbrada mediante cimbra tradicional.



Figura 47 Unión entre cuerpos

Como hemos citado en otros puntos el puente se es muy largo y todos sus elementos son continuos unos con otros excepto en el estribo que es donde se presentan los movimientos, la contracción y la expansión que por efecto térmico sufre todo el tablero es superior a los 5 centímetros.

Por tanto al final de este, entre los estribos y la última dovela se coloca una junta de dilatación marca Trelleborg que está constituida por módulos de caucho reforzados con acero galvanizado, estos van anclados a ambos lados de la junta estructural.

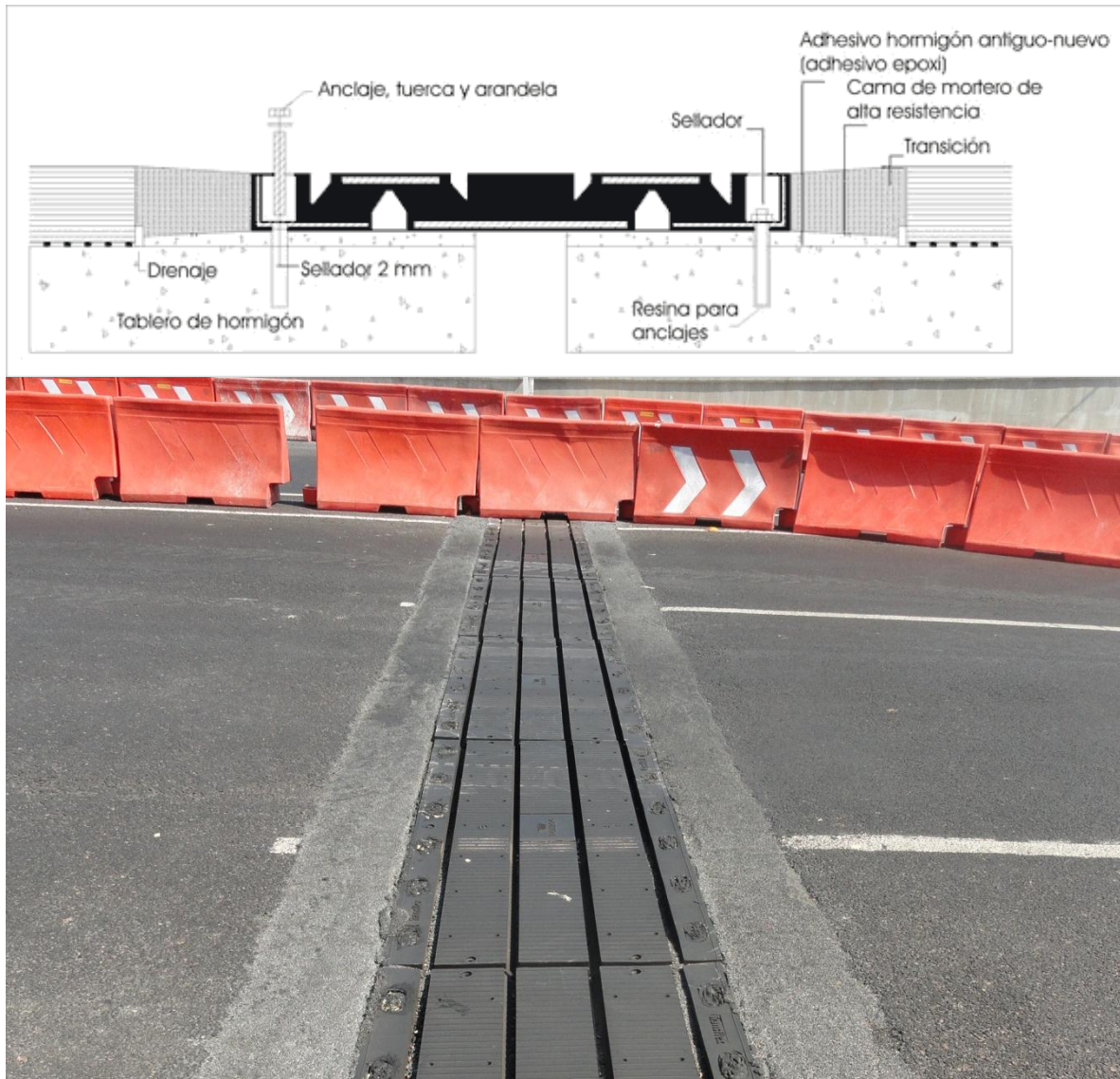


Figura 48 Junta de dilatación¹⁹

4.3.2 Dovelas

4.3.2.1 Dovela de Pila

La superestructura del puente 1 se conforma a base de dovelas que en conjunto forman una sección doble cajón con nervaduras y riostras que unen los dos cuerpos a la altura de los apoyos.

La dovela de pila como vimos anteriormente necesita de una estructura llamada obra falsa, una vez armada esta estructura se procede a tapar los huecos de la

¹⁹ En línea: http://www.mexpresa.com/productos/juntas_t.php

pila con una losa, para esto se usa una cimbra muerta esto es porque no se podrá recuperar, a partir de esa losa se comenzara el elemento dovela.

La dovela sobre pila es el elemento más importante pues debe ser el punto de empotramiento donde comienzan los dos cantilévers, esto solicita mucho al elemento y ahí la razón por la que es tan robusto, también es el elemento que más presfuerzo tiene pues todos los cables constructivos pasan sobre él.

El acero de refuerzo de las pilas continúa hasta la losa superior de la dovela pasando por el núcleo de ella, es en este lugar mejor conocido como la A, donde se encuentra alojado el paso hombre, otra parte del acero de pilas tiene continuidad subiendo recto y convirtiéndose en el de los muros. A este acero se le suma otra gran cantidad quedando densamente cubierto el volumen del elemento, sus losas inferiores tiene un peralte de 90 centímetros aumentando en la parte inferior con la curva de transición hacia la pila, esto es por la compresión que se lleva esta parte de la dovela es la más solicitada.

Tiene tres nervaduras, una hacia cada volado y una al centro que se proyecta a través de la A y la riostra, saliendo hacia el alero exterior. Su longitud paralela al eje del puente es de alrededor de 9 metros y el ancho de la losa es de alrededor de 20 metros, sobre las losas se deben dejar muchas preparaciones pues para el ensamble y operación de los carros de colado, se debe tener puntos de apoyo donde anclar y sujetar las piezas.

Se mostrara brevemente a continuación el proceso constructivo de la dovela sobre pila:

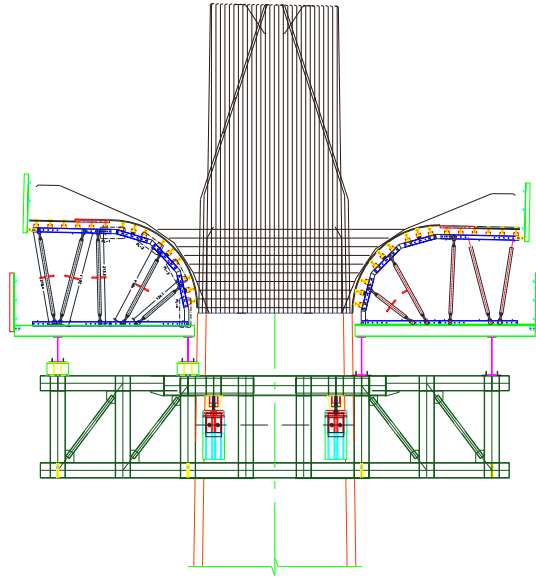


Figura 49
1° Colocación de cimbra

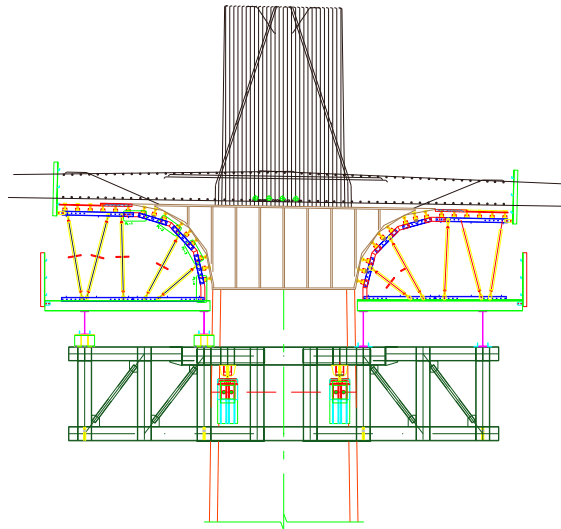


Figura 50
2° Colocación de acero de refuerzo

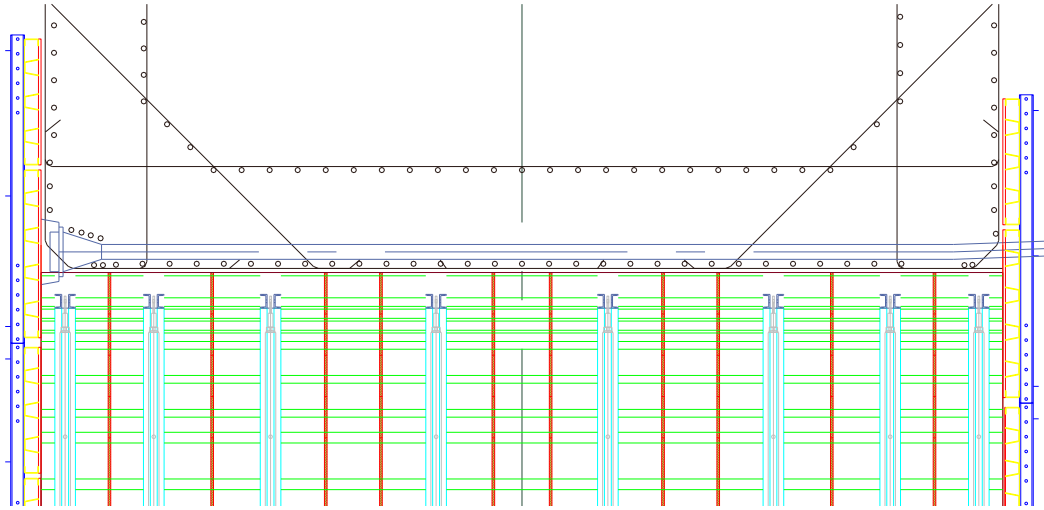


Figura 51
3° Colocación de ductos de presfuerzo en losa inferior

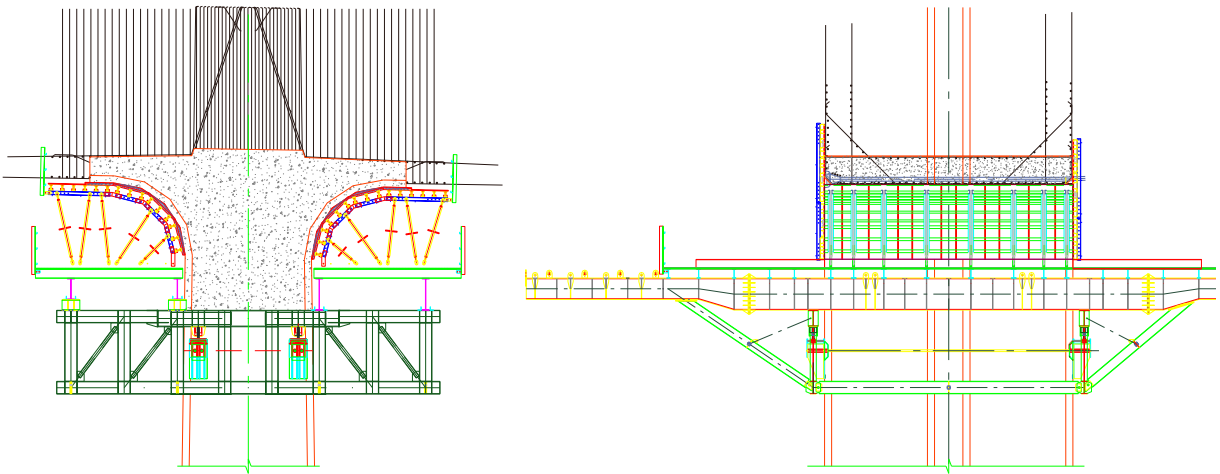


Figura 52
4° Colado de losa inferior

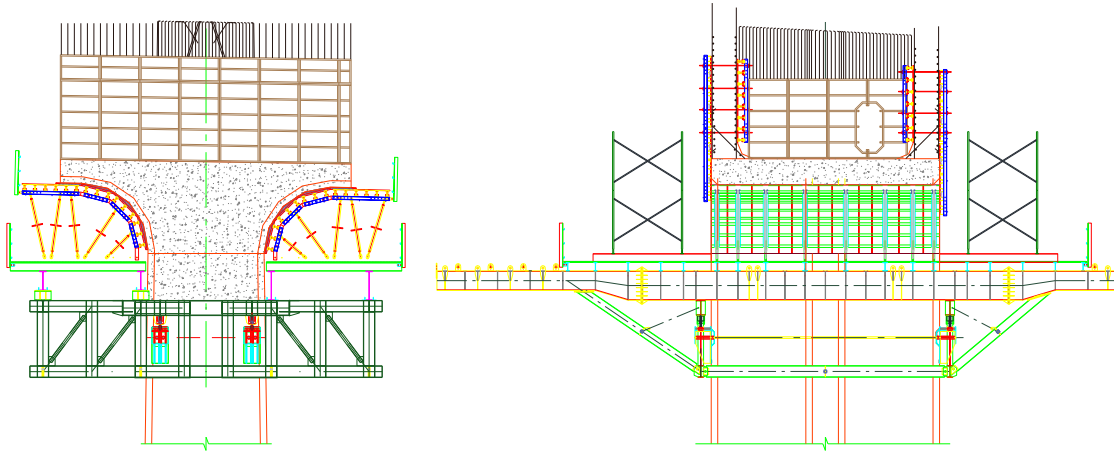


Figura 53
5° Cimbrado para muros

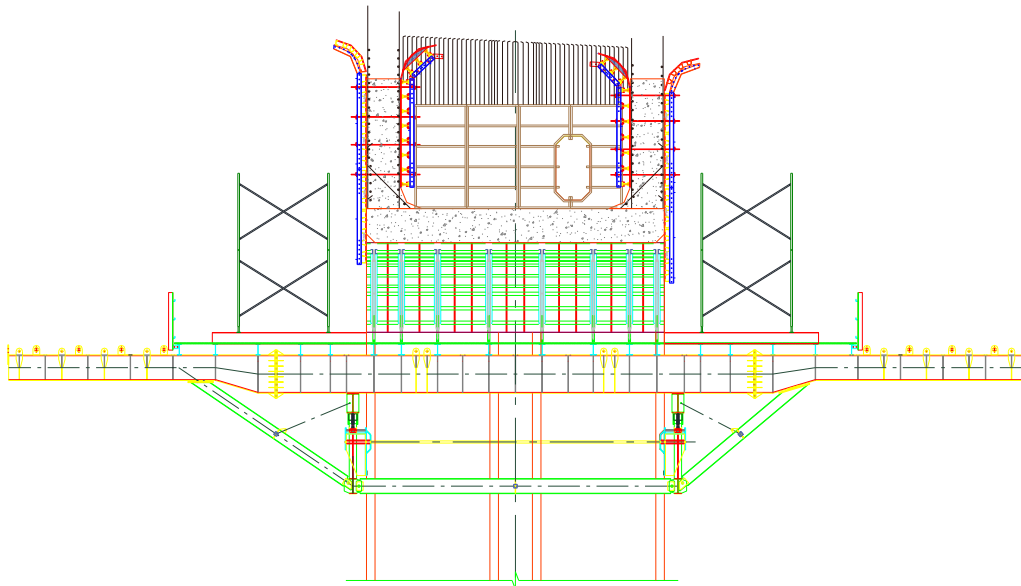


Figura 54
6° Colado de muros

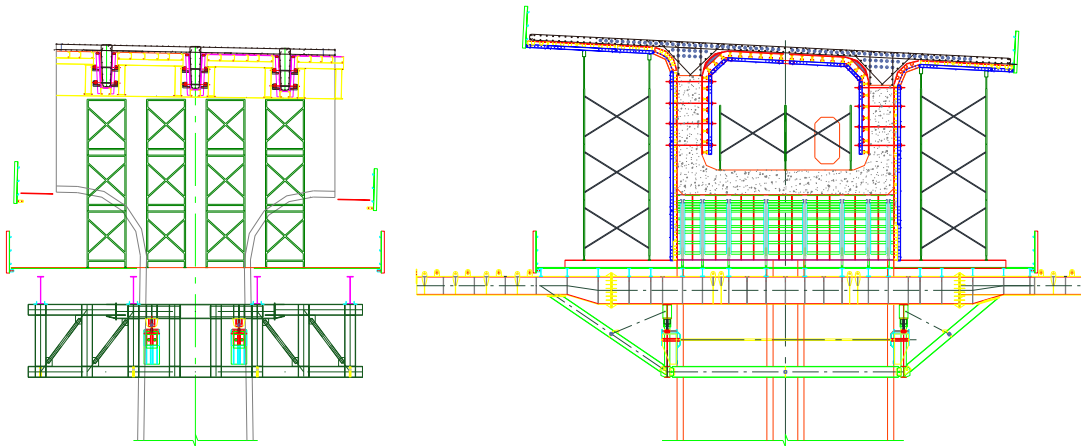


Figura 55
7° Cimbrado, colocación de ductos de presfuerzo y acero de losa superior

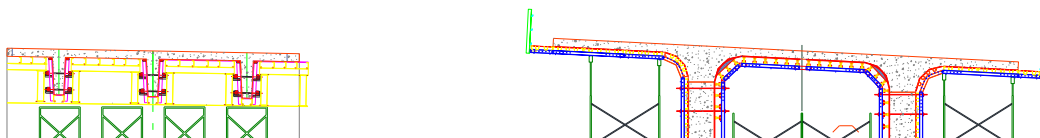


Figura 56
8° Colado de losa superior

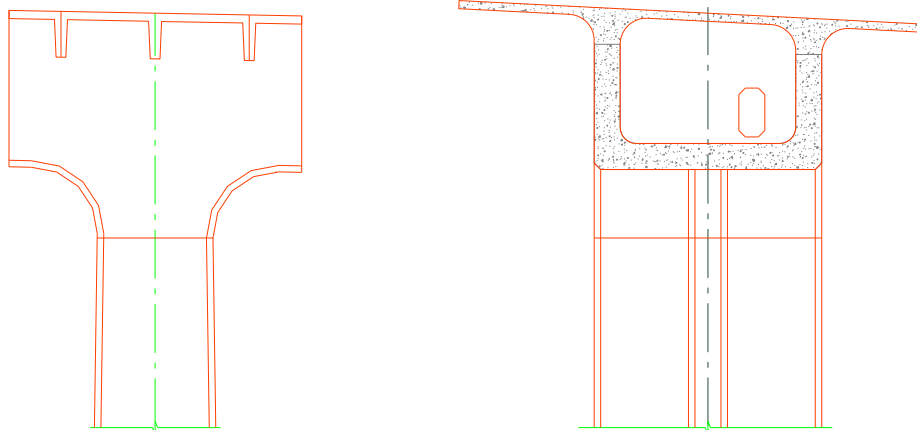


Figura 57
9° Descimbrado

4.3.2.2 Dovela Tipo

Ya presentado el concepto de dovela que utiliza el Puente 1 haremos una descripción general de las dovelas, se nombran las dovelas a partir de la dovela sobre pila; como los voladizos se construyen simultáneamente las dos dovelas en proceso de cada uno de los cantilévares llevan el mismo nombre diferenciándolas por el claro que van formando; todas ellas tienen una sección cajón que es visible en los cortes perpendiculares al cadenamiento, las medidas exteriores del cajón son constantes, esto es de peralte 4.8 metros y de ancho igual que las pilas son de 7 metros. En la parte superior y como soporte de la losa tienen dos nervaduras o costillas, éstas tienen sección trapezoidal invertida, con peralte de 1.40 metros, base mayor de 40 centímetros y base menor de 30 centímetros, la losa tiene un peralte de 25 centímetros constante, los aleros exteriores varían de tamaño y van desde 3.18 metros hasta 7.21 metros. Hay dos grosores de muro que son 80 y 50 centímetros, la losa inferior también varía y ésta va de 90 a 40 centímetros.

Las dovelas llevan presfuerzo constructivo para ayudar a sostener su propio peso y formar los volados, son 16 pares por cuerpo y fueron coladas con los carros de colado; las demás fueron coladas sobre obra falsa; en el claro 1 se colaron tres y la de estribo con obra falsa y en el claro 3 solo fue la de estribo, éstas por supuesto no llevaron presfuerzo constructivo. Por otro lado las dovelas se unen con presfuerzo en su parte inferior con cables de servicio, estos se ubican por claros y van por la losa inferior, algunas dovelas contienen los bloques de anclaje con forma de pirámide trunca, adosados a la losa inferior, donde terminan estos cables.

Para hacer llegar el concreto a estas dovelas se utilizaron unas bomba estacionarias ubicadas cerca de las zapatas de pila que subían el concreto por una tubería (la vertical) hasta llegar a la dovela sobre pila donde continuaba el flujo hacia ambos voladizos, el colado se hacía por etapas en espejo, buscando equilibrar en ambos voladizos el peso del concreto recién colocado, se comenzaba con las losas inferiores una a una, continuando por los muros con la mitad de las nervaduras y finalmente cada losa superior, esto implicaba muchos cambios y

cortes en la tubería, el resultado era un colado de 12 horas con 180 m³ colocados aproximadamente. Más adelante cuando los volados exteriores fueron acercándose a los estribos se comenzó a utilizar bomba pluma lo que también implicaba mucha tubería pero el concreto sufría menos manipulación pues las presiones de bombeo eran menores, esto daba como resultado un concreto más fresco ya colocado. El proceso era el mismo pero los camiones revolvedora disminuían en 15 minutos el tiempo de recorrido permitiendo así contar con concreto más fresco siempre y terminar los colados en 7 horas.

Las condiciones de clima muchas veces afectaron los colados pues las políticas de seguridad de las concreteras no permitían que sus unidades continuaran con los trabajos si se consideraba que estaban en riesgo.

4.3.2.3 Dovela de cierre

Estas dovelas son las que cierran los claros, una de ellas es aproximadamente de la mitad de tamaño que las dovelas tipo y tan solo tiene una nervadura, es la del claro 2, ésta fue cimbrada con la mitad delantera de un carro de colado, si vemos las dovelas de cierre en los claros 1 y 3 éstas se encuentra después de la dovela 8 y miden lo que una dovela tipo, éstas se cuelan con los mismos carros con los que se colaron los cantilévers, para el claro 1 la dovela cierra las dovelas de la obra falsa con las del volado, en el caso del claro 3 une la dovela de estribo con el volado; estas dovelas también contienen los bloques de anclaje que son los extremos del presfuerzo de servicio.



Figura 58 Dovela de cierre Claro 3 por colar

Se habilita el acero de refuerzo, dejando una ventana por donde saldrá la cimbra interior del carro de colado y se prolongan los ductos para los cables de presfuerzo que darán continuidad a la estructura en la losa inferior de la dovela.

Se coloca el carro de colado y se bloquea con ambas dovelas, se cuela la dovela de cierre y una vez fraguado se descimbra y retiran todos los elementos del carro de colado, el acero de la ventana se cierra y finalmente se cimbra con elementos pequeños a base de cimbra tradicional pues todo lo que se utilice tendrá que salir por el paso hombre; se descimbra la obra falsa que sostuvo a la dovela sobre estribo y se comienzan a desarmar el carro de colado.



Figura 59 Dovela de cierre claro 2 por colar

4.4 Carros de colado

Los carros de colado son estructuras metálicas que soportan el peso y dan posición a la dovela en construcción, su diseño ha variado con el tiempo antes eran estructuras que se colocaban por debajo de la dovela anterior y la que se encontraba en construcción con un eje que trabajaba a tensión, la tecnología de los materiales ha cambiado hasta llegar a las estructuras que se utilizaron en el puente 1 a base de barras de presfuerzo y estructuras metálicas con dispositivos hidráulicos.

Se utilizaron 8 carros de colado, estos fueron fabricados en malasia, llegaron a la obra en contenedores, se almacenaban a cielo abierto sobre el trazo de la autopista al pie de obra porque el espacio que requerían era demasiado, se

descargaron y manipularon con pequeñas grúas montadas sobre camiones y se clasificaron según las listas de empaque con que llegaron.

En cada pila se colocan 2 carros, en un inicio la configuración es de hermanamiento pues se encuentran acoplados uno con otro; el espacio que se tiene en la dovela sobre pila es tan limitado que los carros completos no cabrían lo que da origen al hermanamiento. Esta configuración utiliza las piezas de ambos carros al centro y es únicamente para colar las dovelas 1, después se separan dejando a cada uno con funcionamiento independiente.



Figura 60 Carros hermanados

Los carros cuentan con un sistema de auto desplazamiento que consiste en dos rieles sobre los que se apoyan con baleros también llamadas tortugas, en este mismo riel se acopla un gato doble efecto que tiene un pistón muy largo, este gato empuja o jala el carro a cualquier punto de avance o retroceso. Al llegar a su posición el carro es bloqueado y levantado por otros 2 gatos simple efecto que se ubican al frente y en la parte trasera en el denominado bugie trasero existe otro gato doble efecto que permite movimientos de ajuste y bloqueo. En los gatos simple efecto los carros de colado transmiten en apoyo simple a la dovela anterior el peso de la dovela en construcción, por atrás son sujetados con barras y yugos que lo mantienen pegado al tablero.

Los carros de colado dan forma a la losa superior con la cimbra interior, con los aleros y al final se les coloca una frontera con cimbra tradicional. Los muros son contenidos por cimbra que es troquelada con barra de presfuerzo de 15 mm, que es recuperable pues se deja encamisada con pvc, en la parte superior se une a las

conchas que forman las curvas, por atrás se cuela contra la dovela anterior y por delante se debe de cimbrar con cimbra tradicional dejando las culatas ahogadas pues son parte del anclaje.

Los carros cuentan con cuatro plataformas de trabajo, dos debajo de los aleros y dos al frente a la altura de las losas, se debe colocar una escalera móvil ya sea de acero o aluminio que servirá para ir de la plataforma de trabajo superior a las inferiores.

Los yugos que cuelgan de las vigas frontales ensambladas con la nariz del carro, son mejor conocidos como aretes, en ellos se sujetan las barras de presfuerzo que sostienen el frente de la estructura inferior, por la parte trasera se tiene una celosía que igual con barras toma el peso de la misma estructura; finalmente es con polipastos con los que se apoya para dar posición mas no carga a casi todos los elementos que son suspendidos, excepto a las plataformas de trabajo en las que se usan para la carga permanente.



Figura 61 Carro de Colado

4.5 Obra Falsa

Como se ha mencionado, en el puente se utilizó una obra falsa que ayudó a cerrar el claro 1 dándole continuidad a las dovelas que los carros de colado venían formando, para ello se fabricaron 3 dovelas completas sobre la obra falsa.

La obra falsa consistía en un par de cabezales, cada uno sostenido con dos pilotes continuados por pilas, la excavación en la que quedaron los pilotes fue realizada sin ningún tipo de maquinaria, todo fue con herramienta menor y a mano, fueron colados con tubería tremie igual que los pilotes del puente, la parte de pilas fue cimbrada con moldes metálicos circulares para pilas de 1.5 m de diámetro, Los cabezales median 6 x 1.5 x 1.5 metros.

Sobre los cabezales se colocó una estructura metálica llamada SICEA con una longitud de 36 metros, sobre ellos se colocaron unas vigas llamadas binarios. En el diseño original sobre los binarios se colocaban tan solo un par de armaduras llamadas AR1 para finalmente colocar una serie de armaduras AR2 que quedaron en contacto con la cimbra de madreira de las dovelas, pero esta obra fue más compleja de lo que se diseñó en un principio pues las cargas de diseño fueron supuestas más bajas, ya con posteriores diseños y análisis termino aumentando a 4 armaduras AR1 reforzadas con vigas llamadas Grand Frames sumando lo ya descrito anteriormente. El otro punto de apoyo de las armaduras AR1 fue junto a la zapata del estribo donde se colaron unos dados en lo que se apoyaban con un balancín que daba llevaba a lograr un apoyo simple



Figura 62 SICEA



Figura 63 Conjunto de Obra Falsa

4.6 Presfuerzo

El presfuerzo consiste en introducir intencionalmente esfuerzos a una estructura, generalmente de concreto, con la finalidad de optimizar las deformaciones y la capacidad de carga, una vez que se encuentre en estado de servicio.

El acero de presfuerzo consiste en un cable denominado torón, compuesto de siete alambres dispuestos en forma helicoidal llevando siempre uno solo al centro, con un paso uniforme. Los torones se clasifican en dos grados según su resistencia última mínima.

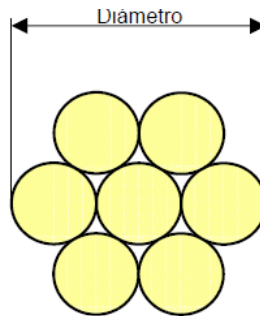


Figura 64 Torón

El acero de presfuerzo utilizado en este puente fue del grado 190 con una resistencia última de $18,967 \text{ kg/cm}^2$, con un diámetro nominal de 6 décimas de pulgada (1.524 centímetros). La resistencia última de cada torón se obtiene multiplicando su área transversal por la resistencia última, es decir, para un torón de 0.6, con un área nominal de 1.4 cm^2 tiene una resistencia última a la tensión de 26,553 kg.

El tablero está compuesto a todo lo largo por 338 cables constructivos, cada cable contiene 12 torones de 0.6 de pulgada, en este caso se utilizó un factor de seguridad de 0.8, por lo que la fuerza de diseño de cada torón es de 21,243. kg, es decir, cada uno de los cables se tensó a una fuerza de 255,000 kg.

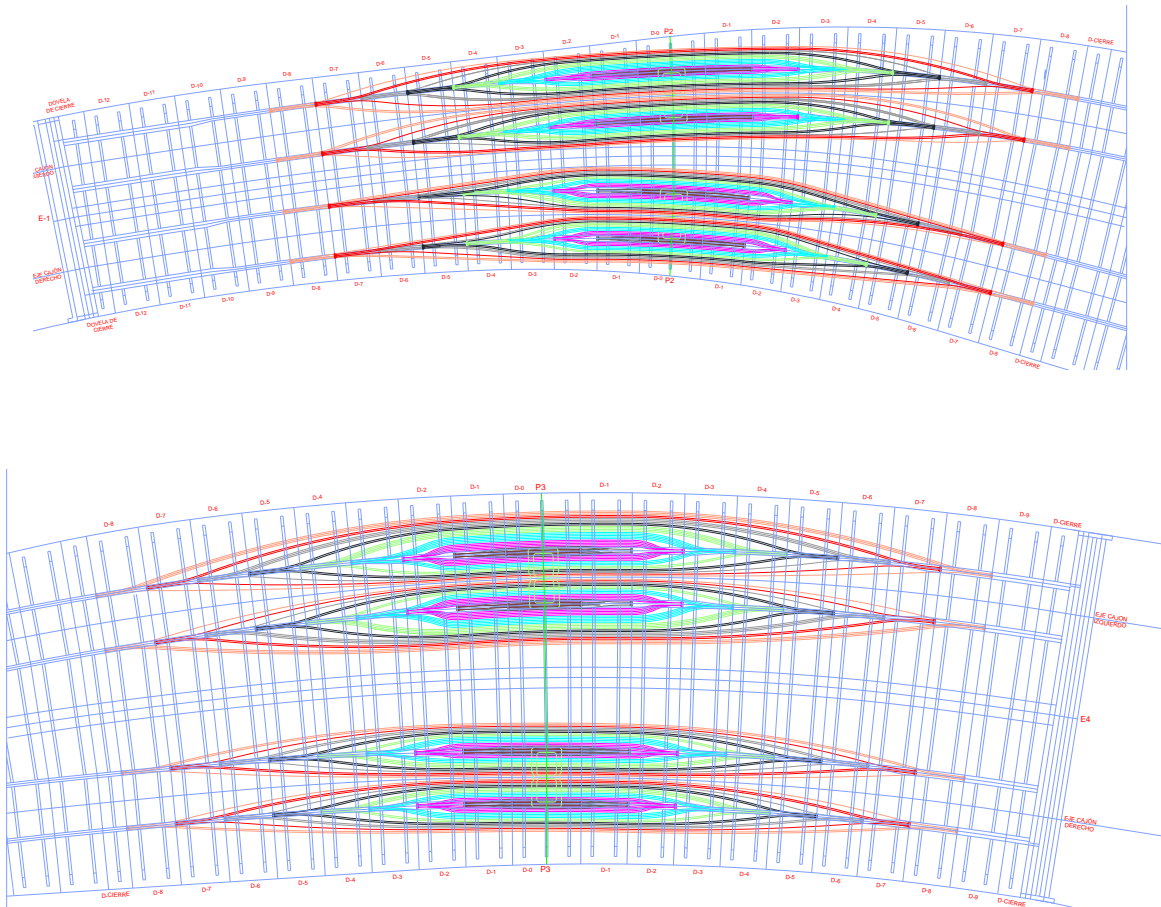


Figura 65 Cables de presfuerzo constructivo por apoyo

En el caso de los cables de servicio fueron 88 en total y estos fueron de 19 torones de 0.6 de pulgada que para efectos de carga al 80% terminan aportando 403,617 kg en tensión que ayudan a los claros a sobretodo al central a soportar las cargas de diseño.



**Figura 66 Bloques de anclaje de cables de servicio
en el interior del túnel de cuerpo derecho**

Para asegurar la calidad del acero de presfuerzo que fue utilizado durante la construcción del puente, se debe de muestrear el acero de presfuerzo con probetas de 610 mm.

La resistencia a la ruptura del torón se muestra a continuación:

Unidades en N (kg)

Diámetro nominal del torón mm	Carga inicial	Carga mínima para alargamiento del 1 %	Resistencia a la ruptura mínima
Grado 176			
6,35	4 000 (408)	34 000 (3 466)	40 000 (4 077)
7,94	6 500 (663)	54 700 (5 576)	64 500 (6 575)
9,52	8 900 (907)	75 600 (7 706)	89 000 (9 072)
11,11	12 000 (1 223)	102 300 (10 428)	120 100 (12 242)
12,70	16 000 (1 631)	136 200 (13 884)	160 100 (16 320)
15,24	24 000 (2 446)	204 200 (20 815)	240 200 (24 485)
Grado 190			
9,52	10 200 (1 040)	87 000 (8 869)	102 300 (10 428)
11,11	13 800 (1 407)	117 200 (11 947)	137 900 (14 057)
12,70	18 400 (1 876)	156 100 (15 912)	183 700 (18 726)
15,24	26 100 (2 661)	221 500 (22 579)	260 700 (26 575)

20

El límite de fluencia mínimo del torón, es determinado por el método de deformación bajo carga para una deformación del 1%, y no debe ser menor del 85% de la resistencia de ruptura mínima indicada en la tabla, según su diámetro nominal.

El alargamiento total del torón bajo carga, debe ser como mínimo del 3.5%, con base a una longitud calibrada de 610 milímetros.

El torón de presfuerzo se suministra en bobinas, cada bobina de torón debe tener su identificación y su reporte de características (como mínimo: Diámetro, área nominal, peso unitario, y curva de esfuerzo-deformación hasta la rotura). Estas características se requieren en distintos momentos de la instalación.

Las instalaciones de obra deben incluir también un espacio cubierto donde puedan resguardarse los equipos y donde se les puedan practicar las operaciones de mantenimiento.

La colocación del sistema debe realizarse conjuntamente con el armado de los elementos a colar, para empezar se debe de ubicar la trayectoria de los planos en el espacio físico real, posteriormente se procede a habilitar, tender el ducto para lo

²⁰ En línea: <http://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-2-03-002-04.pdf>

cual se emplean silletas que darán posición a los ductos, los tramos de ducto se unen utilizando coples roscados, se sellan con cinta canela todas las uniones para evitar que pudiera entre lechada durante el colado



Figura 67 Ductos dentro de armado de acero

La colocación de culatas de anclaje y refuerzos contra reventamiento es muy importante pues cada culata debe ir fijada a un cajetín que da forma exterior al anclaje. El anclaje debe tener la proyección indicada en planos buscando que el plano de apoyo para el tensado sea ortogonal a la trayectoria del cable, la punta del ducto va acoplada con la culata y la unión se sella con cinta. Todo esto es en espacios pequeños donde es difícil darle lugar y posición a todos los elementos. Por último se amarran respiraderos a los ductos en los extremos, a cada 20 metros sobre el ducto, en los puntos altos, esto solo si el cable tiene varias curvaturas.

El vibrado debe ser bien observado, para prevenir aplastamientos o deformaciones en los ductos y debe ser especialmente cuidado y garantizado alrededor de los anclajes; se debe de asegurar que todo el anclaje quede perfectamente embebido pues esto podría provocar hundimientos al tensar.

La inserción de cables representa un problema muy serio en largas distancias debido a las distintas trayectorias y curvaturas que los ductos han formado dentro del concreto, esto atasca los cables y sencillamente ya no es posible introducir todos los torones a mano. La técnica usada es introducir un torón de guía que en uno de los extremos estará engasado a un paquete previamente armado con la totalidad de los torones necesarios para formar el paquete y unido con soldadura de bronce, en el otro extremo será tensado con un gato llamado misil que siendo monotorón desplazara toda la guía con el paquete dentro del ducto.



Figura 68 Paquete de torones por insertar en el ducto

La secuencia de tensado es importante debido a que si las excentricidades generadas superan la resistencia a esfuerzos no calculados, podemos agrietar o incluso fracturar el elemento; en el tensado de las dovela siempre se buscaba no superar el 50% de la carga de un solo cable por muro, así se garantizaba la compensación de tensiones; otra alternativa también usada fue tensar simultáneamente los cables correspondientes.

El equipo para llevar a cabo un tensado es el siguiente:

1. Gato hidráulico.
2. Central hidráulica.
3. Placa de acuñamiento.
4. Cuñas.

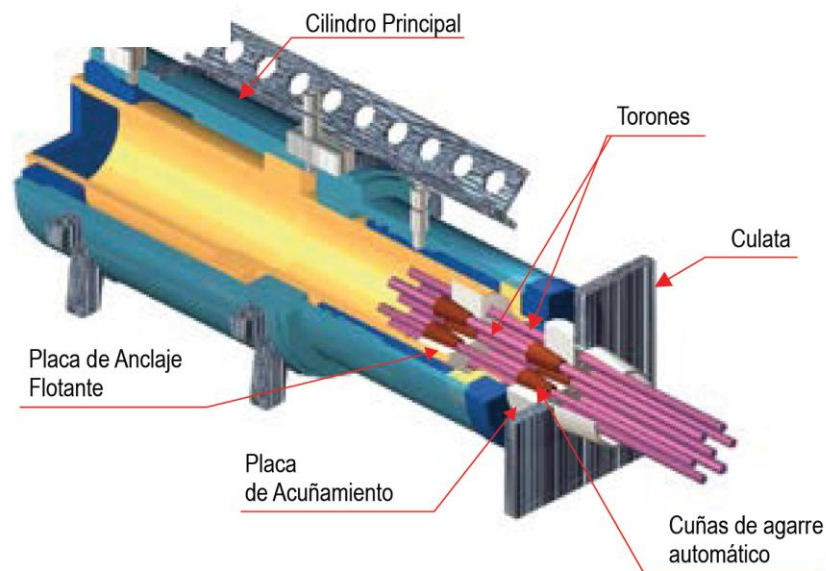


Figura 69 Gato Hidráulico para tensado de cables²¹

El procedimiento para llevar a cabo un tensado es el siguiente:

Se cortan las puntas de los cables a una distancia de 40 cm de la placa de culata (70 cm si se prevé la posibilidad de destensar), se eliminan los sobrantes de ducto que hayan quedado en el interior de los conos de las culatas después se coloca la placa de acuñamiento con sus cuñas. Se coloca el marco portante, la placa de acuñado y luego el gato, estando éste suspendido por las grúas torre.

²¹ En línea <http://www.mexpresa.com/pdf/postensado-multitoron.pdf>

Se inicia el tensado con una presión hidráulica de 100 bar, Con esta precarga se puede comenzar con las lecturas escalonadas de 100 en 100 bar. contra alargamientos con las que se elaboraran las gráficas de esfuerzo deformación.

Finalmente se cortan las puntas a una distancia de 3 cm. de las cuñas, los cajetines se sellan con concreto de por lo menos 250 Kg/cm² para formar los tapones para la inyección, se introduce aire comprimido con un compresor, después agua a presión por uno de los ductos de inyección utilizando la inyectora que después prepara la mezcla en las tinas donde se mantiene agitada por medios mecánicos, se bombea la mezcla hasta que salga por todas las mangueras de inyección del cable que en cuestión, se procede cerrándolas sin detener el bombeo, con lo cual sube la presión, cuando ésta alcanza 8 Kg./cm² o el valor indicado en el proyecto, se cierra la manguera de entrada y se desconecta.

Índice de Figuras

Figura 1 Crecimiento de la mancha urbana	6
Figura 2 Distribución de la población en el año 2005, ZMVM	8
Figura 3 Distribución de la población de 65 años, periodo 2005, ZMVM.	9
Figura 4 Distribuidor vial San Antonio	27
Figura 5 Lanzadora de trabe en fase de descenso	28
Figura 6 Puente la Marquesa	29
Figura 7 Puente de la amistad, frontera internacional	29
Figura 8 Puente atirantado parque Tecnológico Santander	30
Figura 9 Puente Golden Gate.....	31
Figura 10 Ruta Supervía Poniente	33
Figura 11 Entronque Centenario	37
Figura 12 Entronque Av. Águilas.....	38
Figura 13 Entronque Periférico.....	39
Figura 14 Cross Member en el aire	41
Figura 15 Ubicación y radios de acción de las grúas torre.....	44
Figura 16 Colado de zapata de torre con pies de empotramiento ahogados, parrilla superior e inferior y estribos de sujeción	45
Figura 17 Ensamble y montaje de los 3 primeros elementos de torre.....	45
Figura 18 Ensamble y montaje de primera sección de pluma, parte trasera y contrapesos.....	45
Figura 19 Ensamble y montaje del resto de la pluma.....	46
Figura 20 Montaje de la jaula y puesta en marcha	46
Figura 21 Auto montaje de secciones de torre restantes	46
Figura 22 Corte A A´ puente provisional 1	48
Figura 23 Planta de puente provisional 1	49
Figura 24 Corte de zapata en puente provisional 1	50
Figura 25 Armado de pilotes de estribo.....	52
Figura 26 Corte A A´ puente provisional 2	53
Figura 27 Corte y planta puente provisional 2	54
Figura 28 Pilotes dentro del suelo- cemento	55
Figura 29 Sembrado de pilotes en Pila 2	57
Figura 30 Sembrado de pilotes en Pila 3	57
Figura 31 Pilotes en Pila 2.....	59
Figura 32 Pilotes en Pila 3.....	59
Figura 33 Descubrimiento de Pilotes.....	60
Figura 34 Descabece de pilotes	60
Figura 35 Personal técnico colocando conectores extruidos	62
Figura 36 Corte de Zapatas Pila 2.....	62

Figura 37 Corte de Zapatas Pila 3.....	63
Figura 38 Armado de pila tipo	64
Figura 39 Carga Vertical $V=35$ kN.....	66
Figura 40 Cimbra Doka F 150	67
Figura 41 Montaje de Ménsulas	68
Figura 42 Montaje de estructura de Obra falsa	69
Figura 43 Losa contrapuesta a ménsula de junta.....	70
Figura 44 Estribo 4 con proyección de Muros Aleros	71
Figura 45 Muros de relleno fluido	72
Figura 46 Gasas Puente 1	73
Figura 47 Unión entre cuerpos	74
Figura 48 Junta de dilatación	75
Figura 49 1° Colocación de cimbra	77
Figura 50 2° Colocación de acero de refuerzo	77
Figura 51 3° Colocación de ductos de presfuerzo en losa inferior	78
Figura 52 4° Colado de losa inferior	78
Figura 53 5° Cimbrado para muros	79
Figura 54 6° Colado de muros.....	79
Figura 55 7° Cimbrado, colocación de ductos de presfuerzo y acero de losa superior	80
Figura 56 8° Colado de losa superior	80
Figura 57 9° Descimbrado.....	80
Figura 58 Dovela de cierre Claro 3 por colar.....	83
Figura 59 Dovela de cierre claro 2 por colar	84
Figura 60 Carros hermanados.....	85
Figura 61 Carro de Colado.....	86
Figura 62 SICEA	88
Figura 63 Conjunto de Obra Falsa	88
Figura 64 Torón.....	89
Figura 65 Cables de presfuerzo constructivo por apoyo	90
Figura 66 Bloques de anclaje de cables de servicio en el interior del túnel de cuerpo derecho	91
Figura 67 Ductos dentro de armado de acero	93
Figura 68 Paquete de torones por insertar en el ducto	94
Figura 69 Gato Hidráulico para tensado de cables	95

5. Conclusiones

Con un plazo de concesión de 30 años a partir de su puesta en operación, la autopista conforma el eje poniente del proyecto de autopistas urbanas de peaje que integrará las salidas a Querétaro, Toluca y Cuernavaca. En su desarrollo se han previsto múltiples acciones de protección ambiental, mejoramiento urbano e inclusión de una ruta de transporte público.

La Supervía poniente fue una obra necesaria que reduce significativamente los tiempos de traslado y, sobre todo, ofrece una alternativa vial eficiente para el sur-poniente de la ciudad, mejorando la calidad de vida de miles de capitalinos.

El proceso constructivo del Puente 1 es susceptible a muchas mejoras, aunque tomando en cuenta la planeación, tiempos de ejecución, distribución de recursos, coordinación interna y externa de empresas constructoras los resultados son satisfactorios.

Un proyecto de las dimensiones de puente 1 que se sitúa sumergido en la ciudad tiene que contemplar características de seguridad, tráfico, vecindad y ambientales que normalmente no están presentes en los desarrollos carreteros.

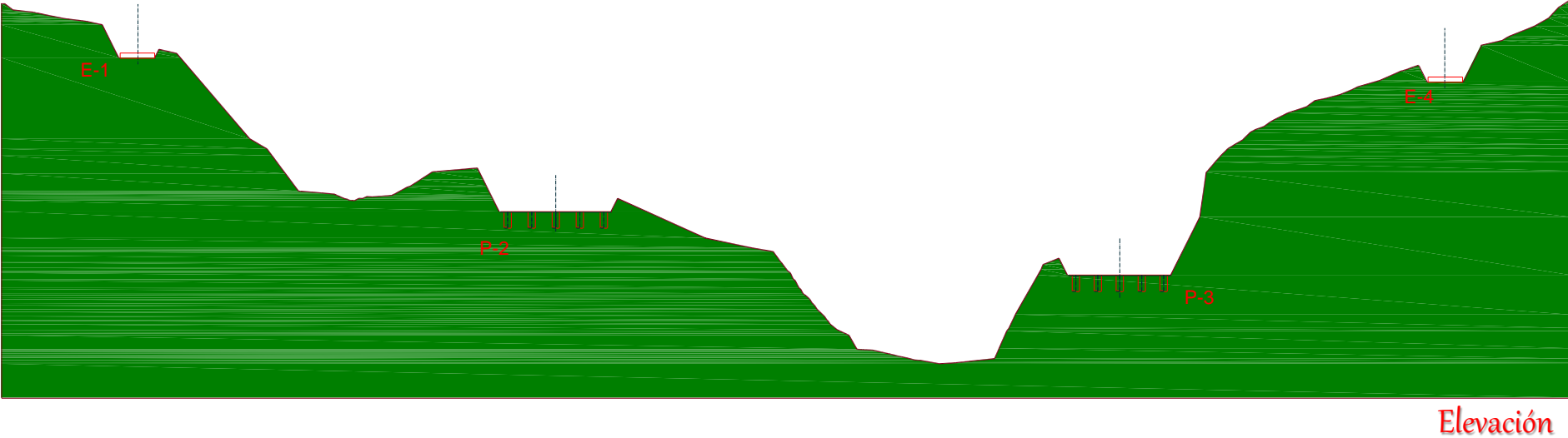
Se podría considerar que por estar dentro de la ciudad tendrá también muchas ventajas de abastecimiento de materiales y herramientas aunque eso puede caer en vicios de falta de planeación con pérdidas cuantiosas de tiempo y repetición en el número de viajes con mismos destinos.

El mayor de los defectos de la Supervía poniente es que contribuye con la centralización del país lo que encarece los costos en los servicios.

Proceso Constructivo

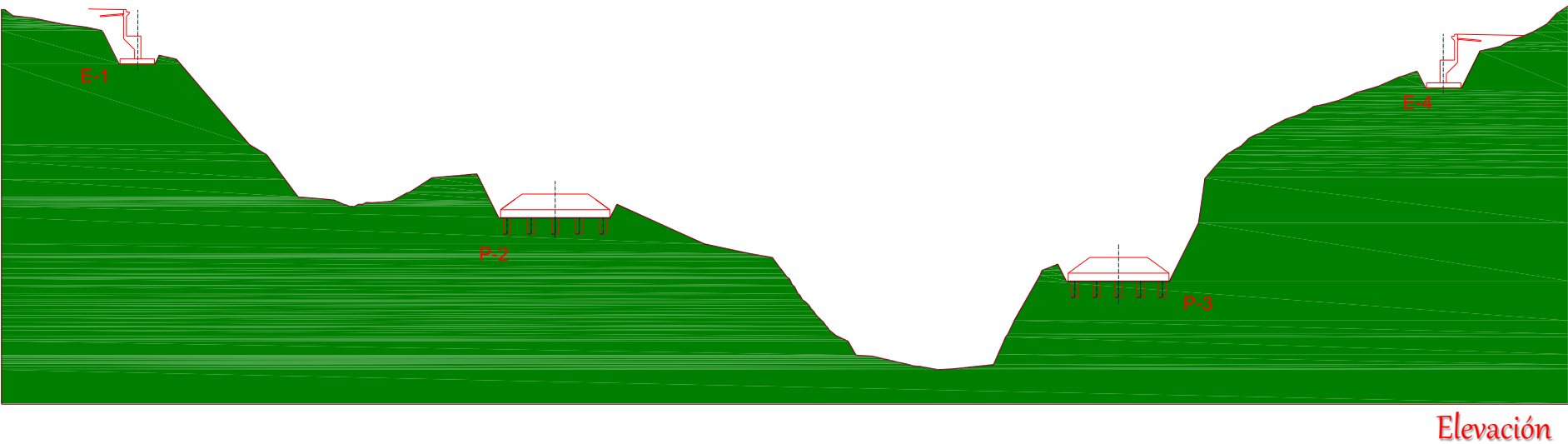
(Iniciando con un solo cuerpo)

Puente No. 1



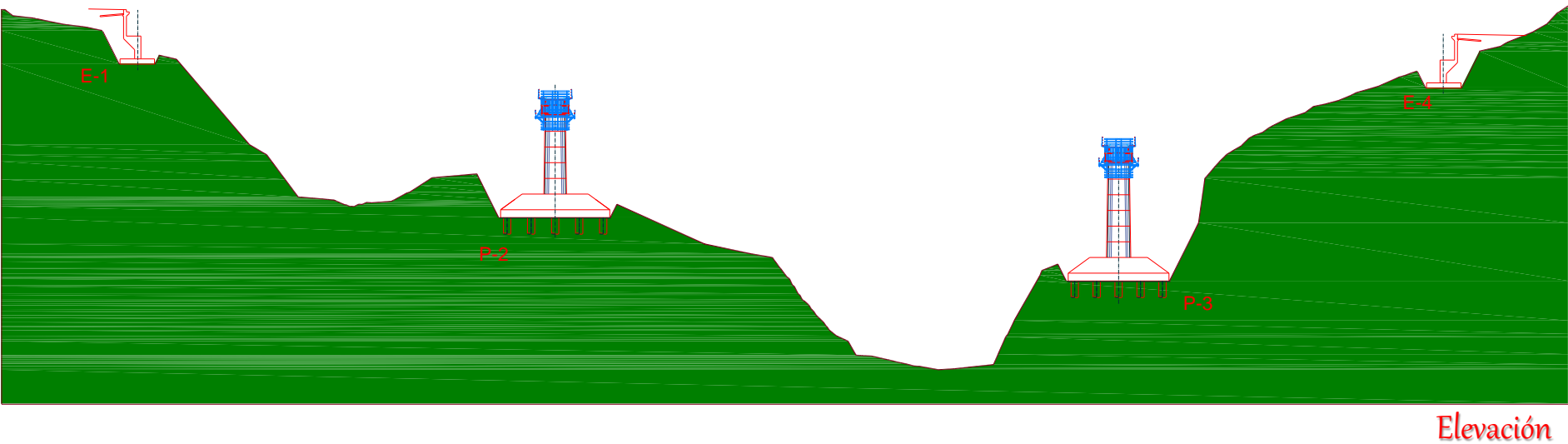
Fase 1:

- CONSTRUCCION DE PILOTES DE CIMENTACION EN CUERPO IZQUIERDO

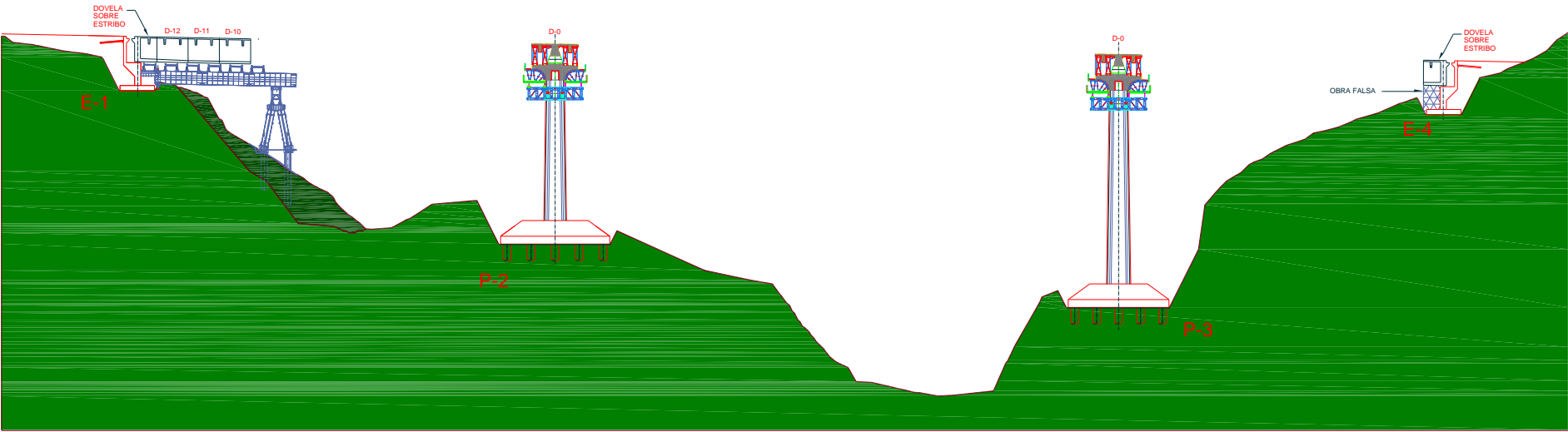


Fase 2:

- CONSTRUCCION DE ESTRIBOS Y CIMENTACIONES EN AMBOS CUERPOS

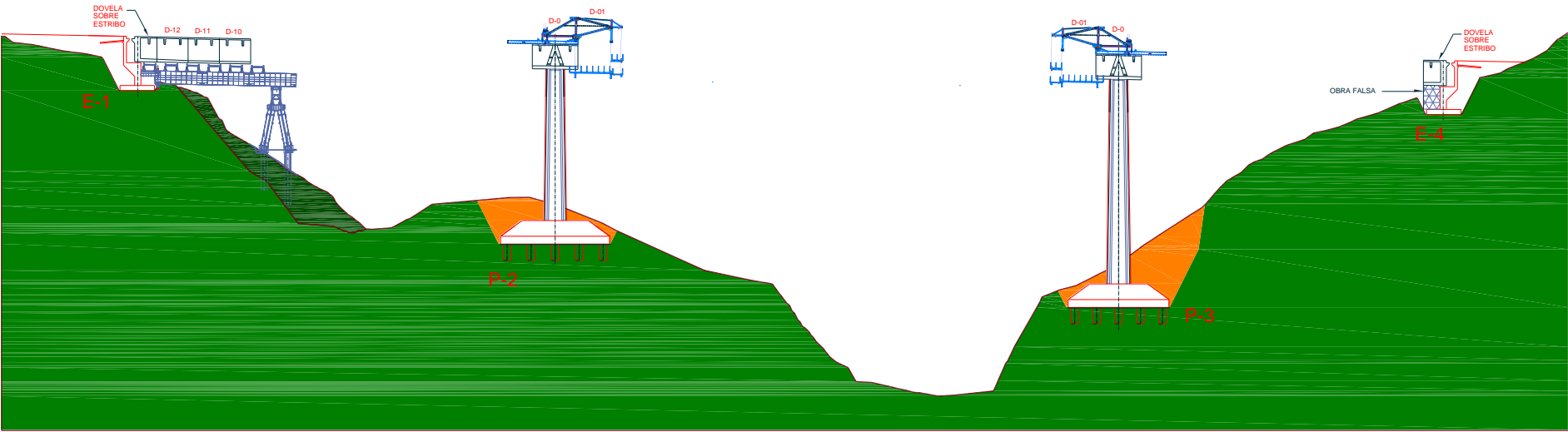


Fase 3: - EJECUCION DE PILAS DE AMBOS CUERPOS.



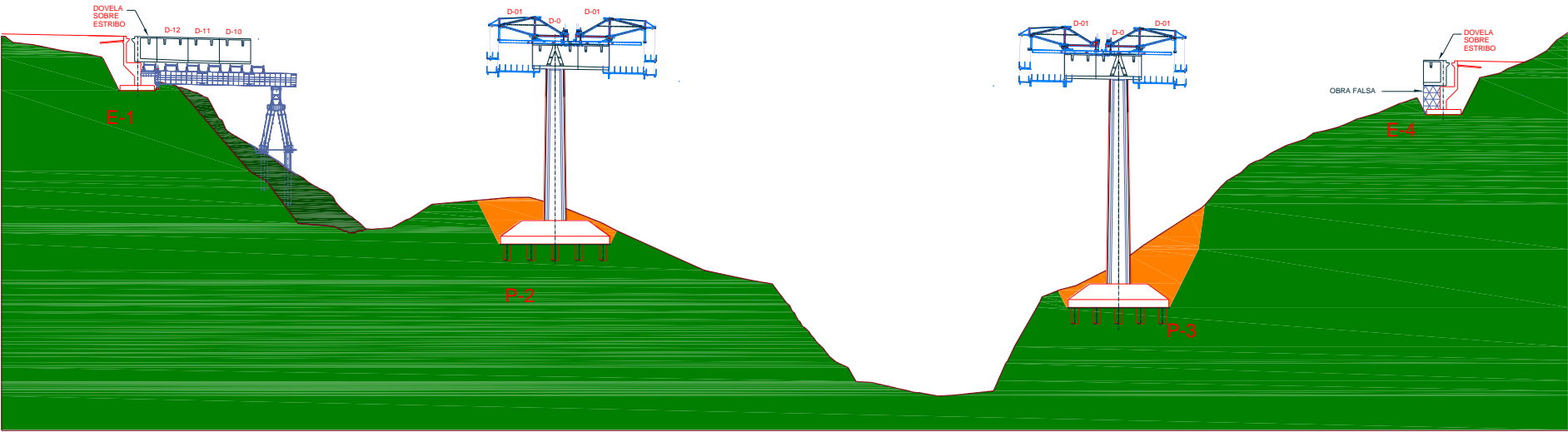
Elevación

Fase 4:



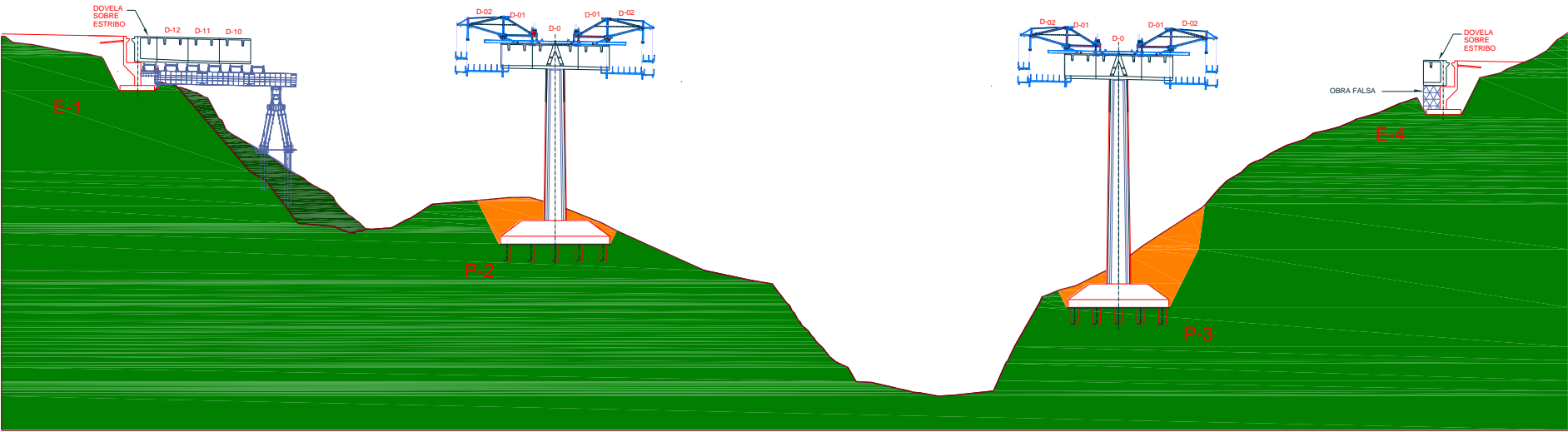
Elevación

Fase 5:



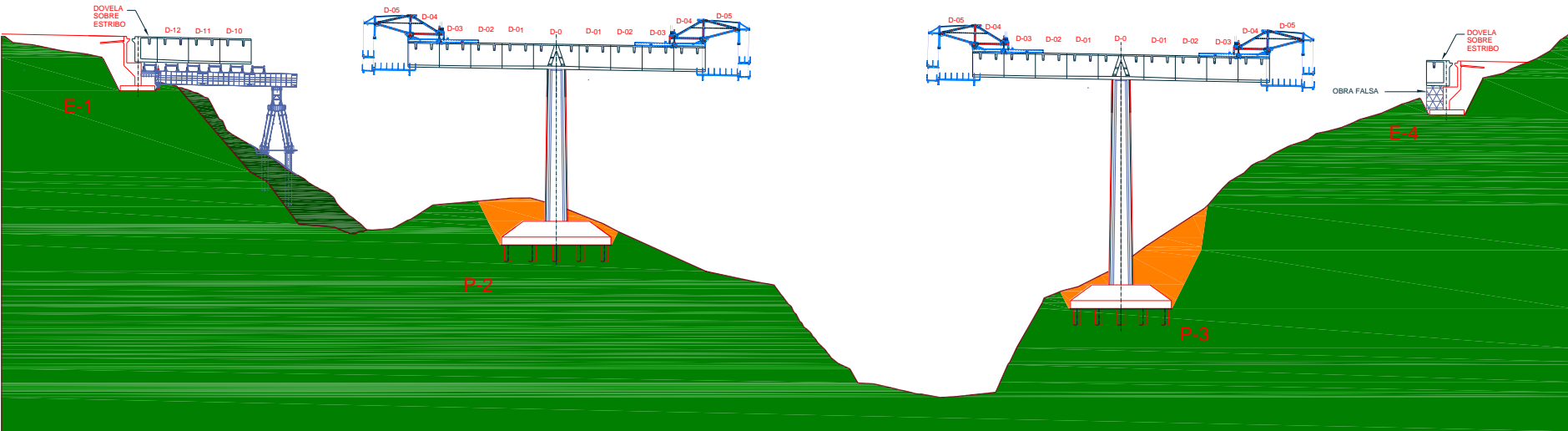
Elevación

Fase 6:



Elevación

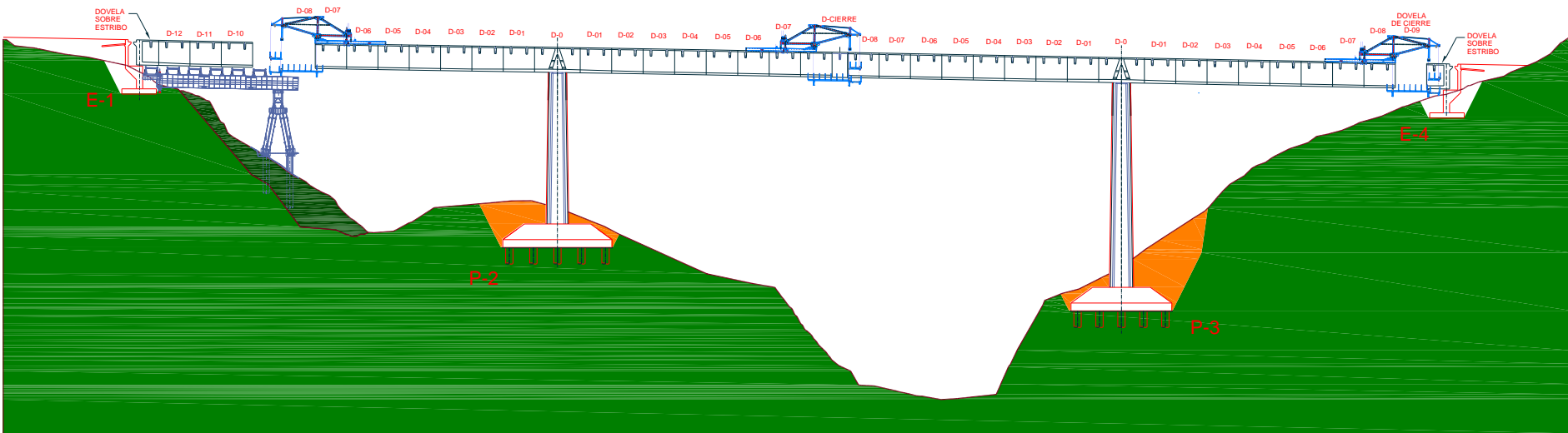
Fase 7:



Elevación

Fase 8:

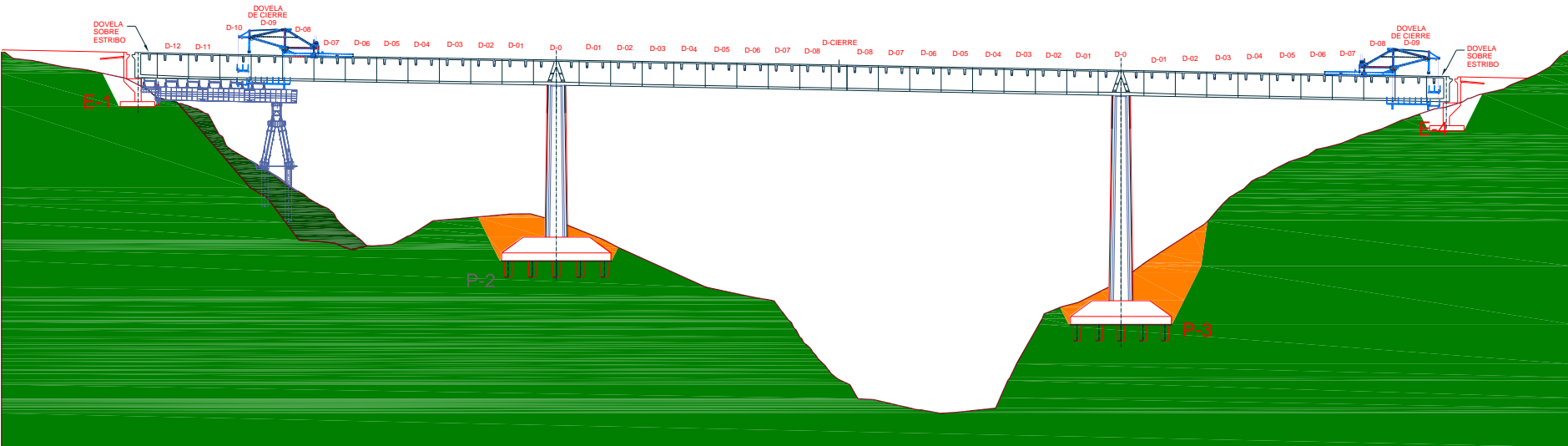
- AVANCE Y COLADO DE DOVELAS SUBSECUENTES EN CUERPO IZQUIERDO



Elevación

Fase 9:

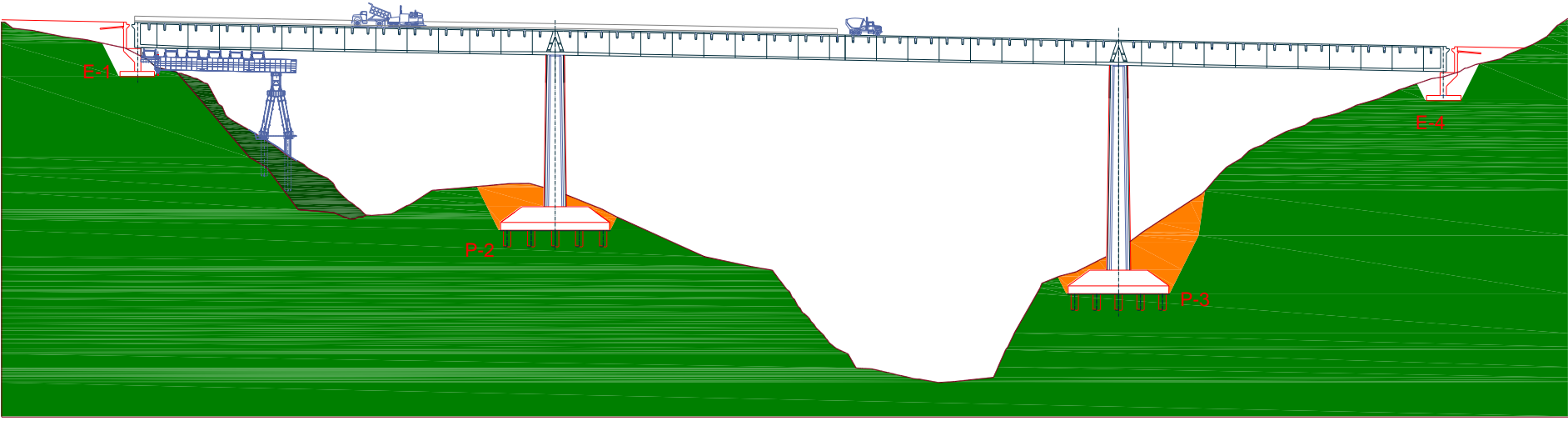
- DESMONTAJE DE CARRO Y REUBICACION DEL OTRO CARRO PARA CONSTRUCCION DE DOVELA DE CIERRE EN CENTRO DEL CLARO EN CUERPO IZQUIERDO.



Elevación

Fase 10:

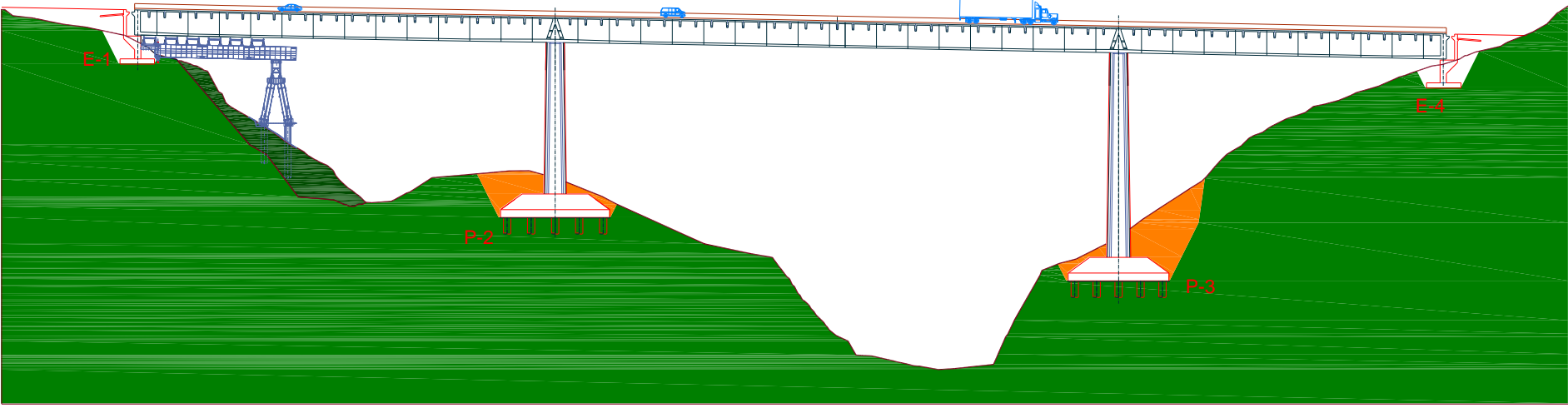
- CONSTRUCCION DE DOVELAS DE CIERRE EN ESTRIBOS
- COLOCACION PRESFUERZO DE FLEXIONANTE POSITIVO EN LOS TRES CLAROS



Elevación

Fase 11:

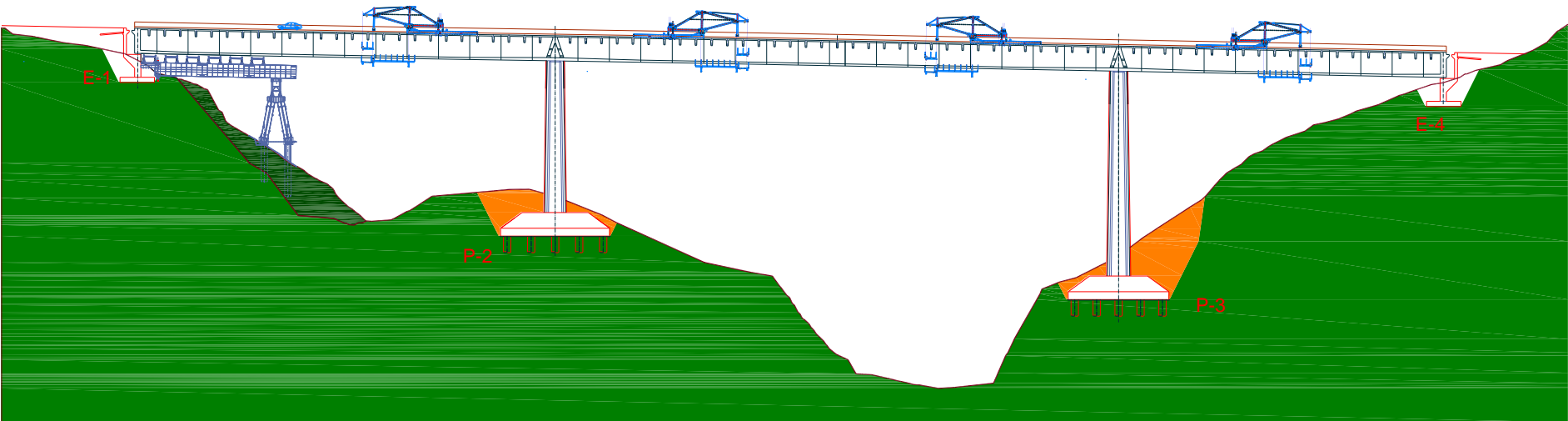
- CONSTRUCCION DE PARAPETOS Y CARPETA ASFALTICA CUERPO IZQUIERDO



Elevación

Fase 12:

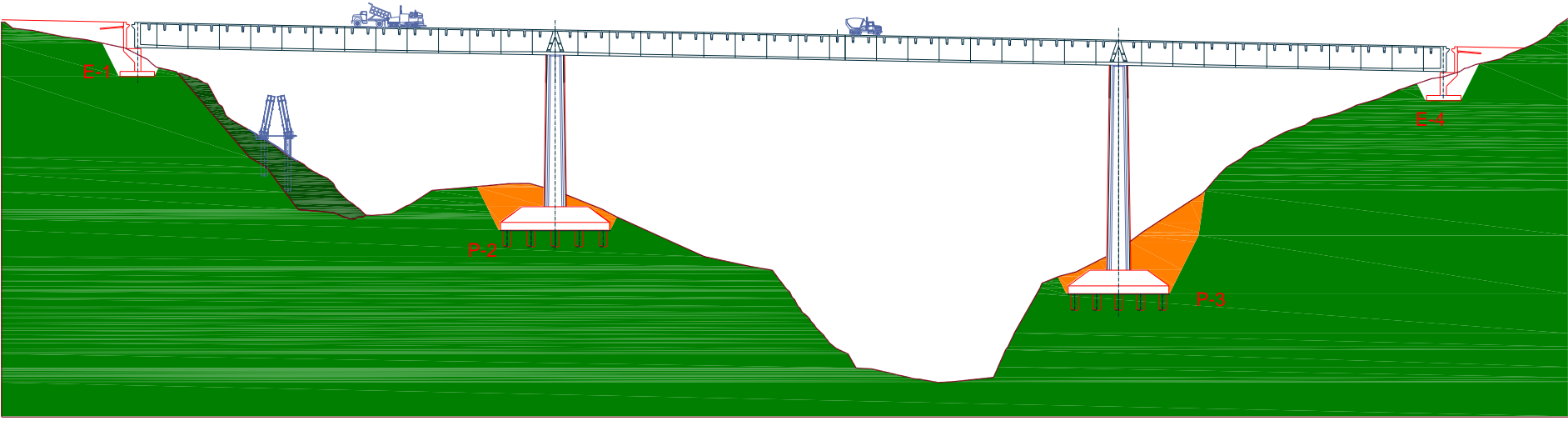
- ABRIR A OPERACION CUERPO IZQUIERDO



Elevación

Fase 13:

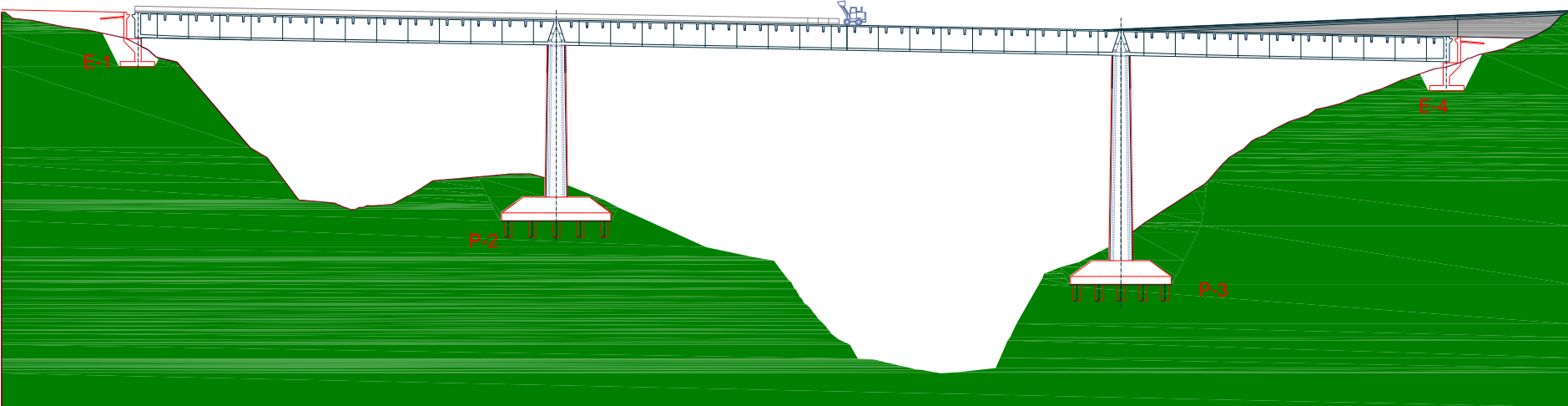
- CON PROCEDIMIENTO SIMILAR CONSTRUIR Y CERRAR CUERPO DERECHO



Elevación

Fase 14:

- LIGAR AMBOS CUERPOS CON RESERVAS DE CIERRES DE OPERACION NOCTURNA
- COLOCACION DE CARPETA Y PARAPETO DE BORDE CUERPO DERECHO



Elevación

Fase 16:

- RETIRO DE PARAPETO PRÓXIMO A EJE DE PUENTE DE CUERPO IZQUIERDO Y ENCAJAR TRAFICO A CARRILES CENTRALES DEL PUENTE