



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Construcción del viaducto  
para el tren interurbano  
México - Toluca tramo I**

**TESIS**

Que para obtener el título de  
**Ingeniero Civil**

**P R E S E N T A**

Adolfo Valencia Reyes

**DIRECTOR DE TESIS**

Ing. Marcos Trejo Hernández



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2025**

# Dedicatorias

Agradezco a mis padres por guiarme durante mi enseñanza por todo su amor y apoyo en cada etapa escolar. A mis hermanas y hermanos, por su ayuda, así como sus valiosos consejos. A mi esposa Joselyn por su gran amor y cariño

A mis amigos de la facultad, con quienes compartí la ilusión de convertirnos en ingenieros: Adrián, Oziel, Fernando, Rigoberto y Eutiquio.

A mis jefes y amigos que me brindaron su apoyo durante mi formación en la empresa TRIADA, donde tuve la oportunidad de trabajar en el proyecto del tren Interurbano México-Toluca: Ing. Gustavo Rocha, Ing. Roberto Sosa, Ing. Leonel Enríquez, Ing. Aníbal Ramírez, Ing. César Ramírez e Ing. Enrique Rocha.

Con agradecimiento por la hospitalidad de las personas que me abrieron sus puertas durante mi estancia en la Ciudad de México.

Quiero dedicar este trabajo especialmente a mis hijos Leonardo y Regina.

## Índice

INTRODUCCIÓN .....	I
CAPITULO 1 ANTECEDENTES .....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	2
1.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....	4
1.2.1. Ubicación .....	4
1.2.2. Principales características del proyecto.....	8
CAPÍTULO 2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DEL VIADUCTO “TREN INTERURBANO MÉXICO-TOLUCA” .....	12
2.1. Preliminares.....	13
2.2. CIMENTACIÓN.....	16
2.2.1. Pilas de cimentación.....	17
2.2.2. Zapatas.....	32
2.3. SUPER ESTRUCTURA .....	56
2.3.1. Columnas.....	56
2.3.2. Cabezales.....	77
2.3.3. Trabes .....	96
2.3.4. Diafragmas .....	110
2.3.4.1. Tableta prefabricada.....	110
2.3.5. Losa de compresión.....	116
2.3.6. Tableros continuos con Autocimbras.....	122
2.3.6.1 Reseña historica del uso de las Autocimbras .....	122
2.3.6.2 Autocimbra en Viaducto 4.....	122
2.3.6.3 Ensamble de autocimbra .....	122
2.3.6.4 Autocimbra en Viaducto 2.....	122
2.4. ESTRUCTURAS METÁLICAS .....	161
2.4.1.1 Trabes curva metálicas viaducto 6 .....	122
2.4.1.2 Puente Arco viaducto 1E .....	122
2.4.1.3 Apoyo delta y dispositivos especiales del viaducto 4.....	122
CAPÍTULO 3 SUPERVISIÓN DE OBRA.....	193

3.1. ALCANCES E IMPORTANCIA DE LA SUPERVISIÓN DE OBRA.....	195
3.1.1. Alcances del servicio .....	207
3.1.2. Plan de trabajo.....	207
3.1.3. Reuniones de análisis y control .....	208
3.1.4. Bitácora electrónica de obra .....	209
3.1.5. Informes.....	210
3.1.6. Revisión y análisis del proyecto ejecutivo .....	210
3.1.7. Programa.....	211
3.1.8. Autoridad de la Supervisión Externa.....	211
3.2. Normativa Aplicada al Proyecto. ....	216
CAPÍTULO 4 PROBLEMATICAS DEL PROYECTO. ....	217
4.1. Problemática Social.....	218
4.2 Problemática técnica .....	222
4.2.1. Cimentación.....	222
4.2.2 Superestructura .....	225
CAPÍTULO 5 CONCLUSIÓN.....	231
GLOSARIO.....	233
REFERENCIAS.....	234

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día, al escuchar sobre trenes de pasajeros nos hace reflexionar y cuestionar, ¿En verdad son importantes?, sabemos que en el territorio mexicano existen vías abandonadas, y es un medio de transporte que provee grandes beneficios, tanto económicos como culturales, a la sociedad. Por lo anterior es necesario conocer, difundir y promoverlo.

En el país se cuenta con importantes vías de trenes de carga, sin embargo, hace falta potencializar este medio de transporte para pasajeros; por lo cual esta investigación está enfocada a ver la realidad de la construcción de un tren interurbano en México. Tomando en cuenta desde el inicio de su construcción, los procedimientos que se siguen durante su ejecución hasta su estado actual, siempre con el objetivo de progresar continuamente a beneficio del país en un futuro, por lo cual debemos difundir y dar a conocer más del transporte en tren de nuestro país.

El transporte es esencial para el desarrollo de la sociedad ya que detona la economía y la movilidad, En el capítulo I del siguiente trabajo se describen los antecedentes del Tren interurbano México-Toluca y la necesidad de su construcción. En el capítulo II se presenta la infraestructura del Tren interurbano que incluye el proceso constructivo de los viaductos del tramo I. En el capítulo III se verá la importancia de la supervisión externa en la construcción del Tren interurbano y en el capítulo IV la problemática presentada en el proyecto tanto técnica como social durante su construcción. El capítulo V se conforma por los aportes del proyecto hacia el ingeniero como supervisor del proyecto y de carácter personal.

***CAPITULO 1***  
***ANTECEDENTES***

## 1.1 ANTECEDENTES

El tren de pasajeros que viajara de la Ciudad de Toluca a la Ciudad de México es un proyecto que conectara ambas ciudades permitiendo una mayor movilidad, este proyecto se gestó en el plan nacional de infraestructura del gobierno federal, que contempla la construcción de una línea ferroviaria con una longitud total de 57.741 km dentro de los cuales existen tramos de túnel, viaductos y terraplenes.

El proyecto inicia su trayectoria desde el municipio de Zinacantepec en Toluca y en dirección al suroeste pasando por los municipios de Metepec y Lerma siguiendo paralelo a la autopista México - Toluca hasta la zona de la marquesa donde atraviesa mediante un bitúnel la sierra de las cruces para dirigirse a la ciudad de México atravesando santa Fé y llegando a la estación del metro observatorio

La proyección de pasajeros para este tren será inicialmente de 250,000 pasajeros y con un crecimiento de hasta los 400,0000 pasajeros por día que se alcanzará en el año 2042 de acuerdo con los estudios.

Este proyecto de línea férrea incluye de siete estaciones en viaducto, talleres y cocheras. Dos de sus estaciones son terminales una en Zinacantepec al poniente del Valle de Toluca muy cerca de la ubicación de los talleres y cocheras, al otro extremo de la línea se encontrará la Estación Observatorio al poniente de la Ciudad México la cual se conectará con la actual estación de la Línea 1 del Sistema de Transporte Colectivo Metro.

Toluca es una importante ciudad del país y como capital del estado de México tiene una gran relevancia ya que su crecimiento poblacional y urbano la convierte en un punto estratégico ya que en la actualidad es la quinta capital más grande de México

Se ha convertido en un importante centro industrial no solo en la capital del estado, también en sus municipios que lo rodean ya que cuentan con infraestructura, conectividad, centros logísticos e industrias que gracias a su

cercanía a tan solo 66 km de la ciudad de México permiten impulsar el desarrollo económico regional y nacional.

La ciudad de Toluca se encuentra situada en el centro del país, Su ubicación geográfica que se extiende en el Valle de Toluca, con una planicie rodeada de montañas. Su altitud es de 2,680 metros sobre el nivel del mar, lo que la convierte la ciudad con mayor altitud de América del Norte.

De acuerdo con los resultados del Censo de Población y Vivienda 2010, realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el municipio de Toluca registró un total de 819,561 habitantes. Durante el periodo comprendido entre los años 2000 y 2005, la población del municipio creció a una tasa anual promedio del 2.0%

<b>Evolución demográfica del municipio de Toluca (Año/población)</b>			
<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>
<b>564,476</b>	665,617	747,512	819,561

Tabla 1.1

Fuente: [www.sct.gob.mx](http://www.sct.gob.mx)

El área metropolitana del Valle de Toluca está compuesta por 14 municipios y conforma la agrupación de estas entidades en torno a la concentración urbana de la ciudad de Toluca, junto con otras poblaciones de municipios cercanos, ya sea por la expansión física del territorio o por la interacción derivada de elevados flujos de población

Según los datos del Censo de Población y Vivienda 2010 del INEGI, los municipios que integran la zona metropolitana alcanzaban en conjunto una población total de 1,846,116 habitantes.

## **1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.**

### **1.2.1 UBICACIÓN**

Partiendo de la Ciudad de México en la terminal en Observatorio la línea férrea continua por Santa Fe donde se ubica la primera estación en Av. Vasco de Quiroga, después continua en la estación del centro comercial Santa Fe, para después incorporarse en el trazo paralelo la carretera México-Toluca donde más adelante se separan para ingresar en un doble túnel de 4,6, con el cual se evitará gran parte del área montañosa. Posteriormente se tendrá salida del túnel a la superficie en las proximidades a la zona de la marquesa atravesando en viaducto los valles del parque nacional para continuar por san mateo Atenco y llegando a la estación Lerma. Seguirá entonces por el derecho de vía adquirido, a un costado de Avenida Las Torres llegando al cruce con la Avenida Tecnológico es aquí donde se ubicara la segunda estación en el estado de México en el municipio de Metepec, siguiendo por el derecho de vía sobre Avenida las Torres hasta encontrarse con la Avenida Pino Suarez donde se ubicará la estación Terminal de Autobuses, seguirá por el derecho de vía hasta cruzar con la calle 16 de Septiembre en Zinacantepec y aquí se ubicara la estación terminal, continuando sobre la avenida Las torres para llegar a los talleres y cocheras como se puede ver en el siguiente mapa del proyecto imagen 1.1.

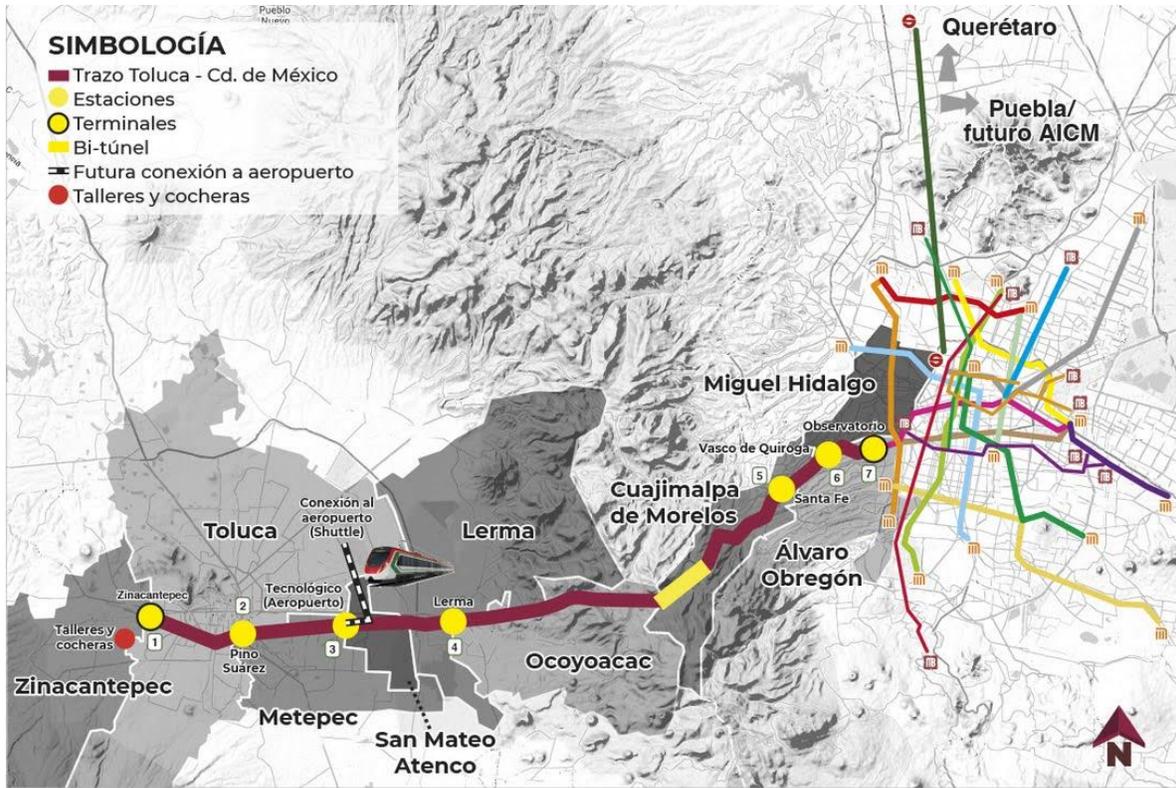


Imagen 1.1. Mapa representativo del proyecto.

Fuente: <https://sct.gob.mx/comunicaciones/dgdfm>

## 1.2.2 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

Las particularidades de este proyecto son las que se presentan a continuación:

- **Longitud total** 57,7 km
- **Inicio del proyecto** Talleres y cocheras, Estación Zinacantepec, Toluca
- **Término del proyecto** Estación Observatorio, Cd. México
- **Estaciones en viaducto 7**
  1. Zinacantepec: 0+300
  2. Terminal de Autobuses: 6+175
  3. Metepec: 13+255
  4. Lerma: 19+540
  5. Santa Fe: 49+205
  6. Vasco de Quiroga 53+600
  7. Observatorio: 57+651
  
- **Infraestructuras Túneles (2):**
  - Túnel doble: 4,6 km
- **Viaductos (2):**
  - Viaducto Elevado: 45,8 km
  - En superficie 7,3 km
- **Talleres y cocheras:** 1
- **Velocidad máxima:** 160 km/h
- **Velocidad comercial:** 90 km/h
- **Tiempo recorrido:** 39 min.
- **Número de trenes:** 30 trenes. Longitud de tren: 200 m
- **Alimentación de tracción:** 25 kV

**El TRAMO 1 Comprende los siguientes viaductos:**

<b>VIADUCTO</b>	<b>KM INICIAL</b>	<b>KM FINAL</b>
<b>1A</b>	-0+004	0+200
<b>ESTACIÓN ZINACANTEPEC</b>		
<b>1B</b>	0+400	6+074
<b>ESTACIÓN TERMINAL DE AUTOBUSES</b>		
<b>1C</b>	6+274	13+157
<b>ESTACIÓN METEPEC</b>		
<b>1D</b>	13+357	19+445
<b>ESTACIÓN LERMA</b>		
<b>1E</b>	19+645	25+354
<b>2</b>	26+756	31+253
<b>3</b>	31+920	32+528
<b>4</b>	34+213	35+661
<b>5</b>	36+018	36+099

Tabla 1.2.1 ubicación de viaductos

Fuente: del autor mismo

### Cantidades de obra por ejecutar en Viaductos:

VIADUCTO	PILAS	ZAPATAS	COLUMNAS	CABEZAL
1A	42	8	8	8
1B	728	199	200	182
1C	894	237	240	222
1D	900	194	270	194
1E	792	217	232	215
2	956	138	136	136
3	34	8	7	8
4	330	24	24	22
5	20	8	4	4
<b>TOTAL</b>	<b>4696</b>	<b>1030</b>	<b>1128</b>	<b>971</b>

Tabla 1.2.2 cantidades de obra

Fuente: del autor mismo

Un viaducto es una obra de ingeniería que salva un valle en su totalidad, característica que la diferencia de los puentes. El término viaducto proviene del latín vía o camino, y ductus que significa conducción. Sin embargo, aparentemente en la Roma Antigua este término nunca fue utilizado siendo más bien una derivación moderna considerando la analogía con la palabra acueducto. Al igual que los acueductos romanos, en un principio muchos viaductos consistieron en una serie de arcos de aproximadamente la misma longitud.

Un viaducto se conforma por una estructura diseñada con ingeniería la cual permite cruzar un valle por completo, esto lo diferencia de un puente común. Ya que su nombre en latín viene del término vía o trayecto y ductus derivado de conducción. Ya que en civilizaciones antiguas como la romana eran más conocidos los acueductos por lo cual el término viaducto es un término moderno

debido a la constitución de las estructuras que en muchos casos se conformaban por arcos de longitud similar entre cada uno de sus claros.

Los viaductos tanto para carreteras con el uso de autos o de líneas férreas con el uso de trenes en ambos casos con estructuras elevadas para pasar sobre un valle, aunque actualmente este término se ha utilizado en países de Latinoamérica para referirse a otros tipos de puentes que atraviesan, agua o tierra (Imagen 1.2). este término también es empleado para llamar así a las vialidades elevadas o a nivel de terreno.



Imagen 1.2. Viaducto 1-B

Fuente: del autor mismo

Para la construcción de un viaducto son necesarios estudios previos de geotecnia topografía, geología impacto ambiental y de movilidad para poder definir el tipo de estructura en el proyecto ejecutivo, que en este caso para el tren México – Toluca fue a cargo de una empresa la cual cuenta con la experiencia de realizar proyectos similares para trenes de pasajeros de alta velocidad el proyectista es el encargado de proporcionar la información de planos y especificaciones técnicas

para la ejecución del proyecto, realizando corroboración de datos topográficos y revisión de planos tanto por la supervisión externa para el Tramo 1 a cargo de la empresa Supervisora y en conjunto con el consorcio de las empresas constructoras quienes estuvieron a cargo de la ejecución de los trabajos de construcción en el tamo 1.

***CAPÍTULO 2***  
***DESCRIPCIÓN DEL PROCESO***  
***CONSTRUCTIVO DEL VIADUCTO***  
***“TREN INTERURBANO MÉXICO-***  
***TOLUCA***

En este capítulo se llevará a cabo la secuencia del proceso constructivo donde encontraremos las diferentes partidas en las que se fue ejecutando el proyecto para dar a conocer cada uno de los elementos que conforman el viaducto elevado para el tren de pasajeros comenzando por la etapa preliminar de limpieza trazo y obras inducidas donde mencionaremos los trabajos que se realizaron antes de poder ejecutar los elementos estructurales del viaducto.

En la partida de cimentación se describe a detalle los pasos desde la perforación en el suelo, la preparación de armados de acero de refuerzo hasta el colado para los distintos tipos de pilas de cimentación y zapatas que se realizaron.

En la superestructura se describe la ejecución de los distintos tipos de las columnas, cabezales, el proceso de fabricación, traslado de traveses y hasta el colado de los distintos tipos de losas de los claros que soportarán la vía férrea, así como se describirán los equipos de Cimbra autolanzable utilizados para ejecutar los claros más largos en la zona montañosa.

También se describen los distintos tipos de estructuras metálicas especiales y dando a conocer el motivo por el cual tuvieron que ser utilizadas en el proyecto como un puente en arco, columnas en delta y traveses en curva, así como la secuencia de sus procesos constructivos.

.

## 2.1 PRELIMINARES.

Para iniciar con los trabajos de construcción se requirió en primera instancia la intervención interdisciplinaria de especialistas hidráulicos, eléctricos y en telecomunicaciones, ya que la gran cantidad de interferencias con instalaciones municipales de conducción de agua potable, descargas de drenaje pluvial, sanitario, líneas eléctricas de media y alta tensión, telecomunicaciones y conducción de gas natural, que se presentaban a lo largo de todo el trazo del proyecto.

La ventaja de ser un viaducto elevado contribuyó con la poca afectación a las distintas vialidades. La mayoría del tramo 1 se encuentra ubicado a un costado de las líneas de alta tensión de la comisión federal de electricidad y ya que sus torres se encontraban ubicadas al centro del derecho de vía e interferían para la construcción del proyecto como se muestra en la imagen 2.0.



Imagen 2.0 ubicación de torres de alta tensión sobre el trazo del viaducto elevado

Fuente: Google.maps

Estas Torres se tuvieron que remplazar por postes troncocónicos con la finalidad de ocupar menos espacio dentro de la franja y así poder construir los viaductos. Esto requirió del movimiento y desmantelamiento de torres de alta tensión, así como la reubicación de toda su línea, desde su cimentación hasta su conducción como se muestra en la imagen 2.1.



Imagen 2.1 reubicación de líneas de alta tensión con postes troncocónicos

Fuente: video avance semanal TIMT canal Gobierno de México

Para las instalaciones hidráulicas y sanitarias municipales se llevaron a cabo trabajos de desvíos (imagen 2.2), ampliaciones y mejoramiento en coordinación de las distintas dependencias municipales. En las distintas afectaciones a espacios públicos se llevaron a cabo obras de reubicación de centros deportivos, parques, jardines, accesos y pasos peatonales.



Imagen 2.2 desvió de canal de aguas negras

Fuente: Del autor mismo

Se reubicaron instalaciones de gas natural y telecomunicaciones, se realizaron trabajos de mejoramiento a su infraestructura de seguridad para evitar daños por las distintas maniobras durante el proceso constructivo.

## 2.2 CIMENTACIÓN.

Debido a la estratigrafía del terreno, presentada en los resultados de sondeos controlados los cuales fueron ejecutados antes y durante la ejecución de los trabajos, como se muestra en la imagen 3.0 la cimentación del proyecto fue diseñada a base de cimentación mixta (pilas de cimentación coladas en sitio y zapatas).

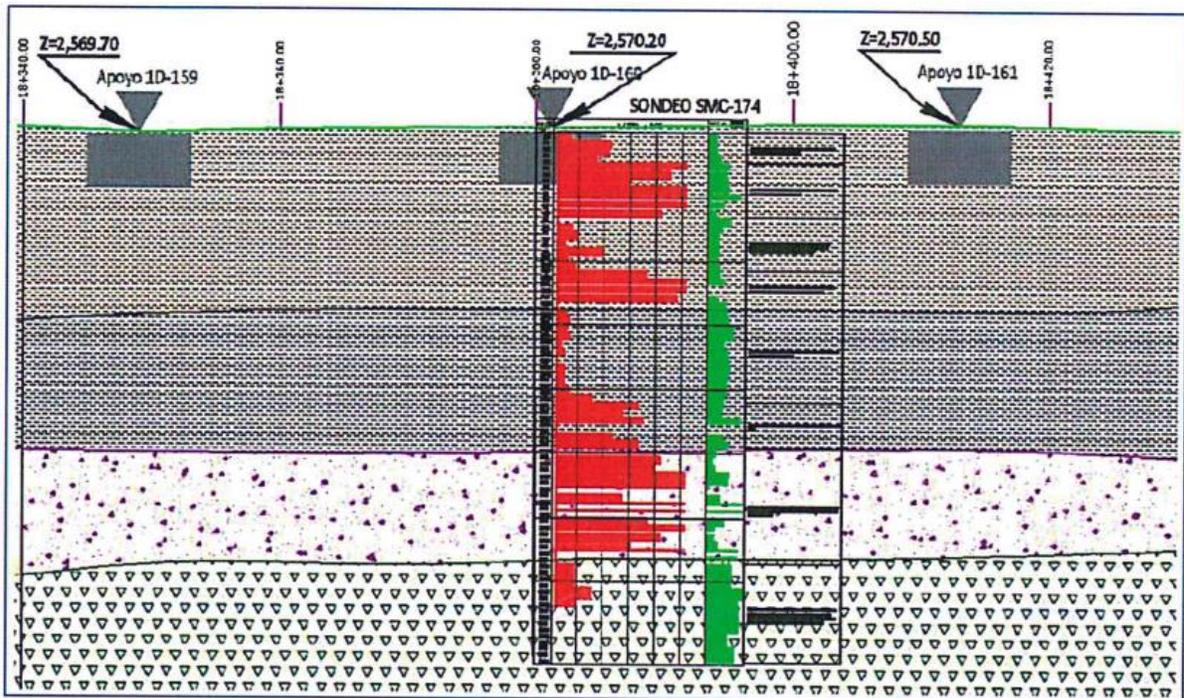


Imagen 3.0 Estratigrafía del sondeo en el km 18+400 municipio de Lerma

Fuente: proyecto ejecutivo Geotecnia TIMT

Derivado de los resultados obtenidos de los sondeos tabla 2.2.1 las pilas de cimentación trabajan por fricción cuando en su profundidad se encuentran solo estratos de suelo y en otros casos por punta (empotramiento en roca).

PROPIEDADES MECÁNICAS APOYO 161									
Estrato		PROFUNDIDAD [m]		$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Su /qu (kPa)	Ø/RQD	SPT (N) /RMR	SUCS/JUNTAS	OBSERVACIONES
No.	Material	De	A						
1	Arcillas	0.0	2.4	19.13	83.56		16	CL	Suelos Cohesivos
2	Arcillas	2.4	4.2	19.13	256.07		48	CL	Suelos Cohesivos
3	Arcillas	4.2	6.0	19.13	352.10		66	CL	Suelos Cohesivos
4	Arcillas	6.0	6.6	19.13	218.73		41	CL	Suelos Cohesivos
5	Arcillas	6.6	10.8	18.11	36.54		8	CH	Suelos Cohesivos
6	Arcillas	10.8	13.8	19.13	245.95		48	CH	Suelos Cohesivos
7	Arcillas	13.8	21.0	18.53	22.84		5	CH	Suelos Cohesivos
8	Arcillas	21.0	24.6	19.05	137.03		30	CH	Suelos Cohesivos
9	Arenas	24.6	26.4	13.13		35	43	SC	Suelos Friccionantes
10	Arcillas	26.4	31.1	19.05	137.03		30	CH	Suelos Cohesivos
11	Basalto gris	31.1	31.7	24.70	27,990.00	15.00	32.00	Abiertas	Roca-D
12	Arcillas	31.7	35.4	19.05	137.03		30	CH	Suelos Cohesivos
13	Basalto gris	35.4	39.5	25.70	78,000.00	74.00	65.00	Abiertas	Roca-D
14	Basalto gris	39.5	40.7	25.70	78,000.00	92.00	68.00	Abiertas	Roca-D
15	Basalto gris, vesicular	40.7	41.3	25.70	78,000.00	92.00	68.00	Abiertas	Roca-D
16	Basalto gris	41.3	42.5	25.50	113,000.00	70.00	68.00	Abiertas	Roca-D
17	Basalto gris	43.1	45.5	25.60	78,000.00	82.00	69.00	Abiertas	Roca-D
18	Basalto gris	45.5	47.3	25.50	78,000.00	95.00	70.00	Abiertas	Roca-D

Tabla 2.2.1 resultados de sondeo Geotécnico

Fuente: proyecto ejecutivo Geotecnia TIMT

## 2.2.1 PILAS DE CIMENTACIÓN.

Una pila de cimentación es un elemento estructural que conecta una zapata con el estrato de suelo que soporta la carga a la que se encuentra sometido un apoyo

El método constructivo empleado es el de colado en sitio, para su ejecución se lleva a cabo una perforación de una profundidad de acuerdo con las especificaciones del proyecto, la maquinaria utilizada para esta tarea es la perforadora la cual alcanza una profundidad de 60 m dependiendo del modelo de esta.

### 2.2.1.1 PERFORACIÓN

Para comenzar a perforar la brigada de topografía traza el centro de la pila de cimentación a partir de las referencias trazadas conforme a las coordenadas

indicadas en el proyecto; una vez trazado el centro comienza la perforación vertical con un diámetro de 1.5 m, se utilizan 3 tipos de herramienta para perforación de acuerdo a las características del suelo como se muestran a continuación en la imagen 3.1.

Herramientas de perforación

{	1. –Broca Helicoidal	{	→ Dientes tipo bala
			→ Dientes tipo paleta
	2. –Bote Corona	{	→ Dientes tipo bala
	3. –Bote de limpieza y rezaga	{	→ Dientes tipo paleta



Imagen 3.1 De izquierda a derecha Broca helicoidal  
Bote corona y Bote de limpieza o rezaga

Fuente: del autor mismo

Para el comienzo de la perforación se utiliza una broca helicoidal la cual esta provista de dientes tipo paleta o dientes tipo bala (tipo paleta para suelos cohesivo-friccionantes y tipo bala para rocas) como se ve en la imagen 3.2, después se introduce el bote de rezaga para sacar todo el material triturado con la broca (imagen 3.3), este bote de rezaga se carga conforme gira, de manera que el material removido por la broca se va introduciendo en el interior del bote y una vez lleno el bote se extrae, cerrando la entrada con un giro en sentido contrario donde es llevado a la superficie para vaciarlo abriendo la tapa del bote en la parte inferior liberando el material de su interior y en seguida cerrando la tapa oprimiendo el

bote contra el suelo para posteriormente volverlo a introducir al frente de perforación para continuar rezagando el material.



Imagen 3.2. Perforadora MAIT con broca dientes tipo bala al inicio de la perforación.

Fuente: del autor mismo



Imagen 3.3 Perforadora Soilmec con bote de rezaga.

Fuente: del autor mismo

Durante la perforación, en ocasiones se presentan estratos rocosos, los cuales para barrenar se utiliza el “Bote Corona” para cortar la roca con los dientes tipo bala; de modo que para la perforación de una pila de cimentación es necesario alternar las herramientas de perforación hasta completar la profundidad especificada en el proyecto conforme a los estudios de mecánica de suelos.

A continuación, se presenta un listado con las marcas, modelos y rendimientos de perforadoras utilizadas en el Proyecto.

<b>MARCA</b>	<b>MODELO</b>	<b>RENDIMIENTO ARCILLA (m/día)</b>	<b>RENDIMIENTO ROCA (m/día)</b>
<b>BAUER</b>	BG25C	45	13
<b>BAUER</b>	BG26	20	10
<b>BAUER</b>	BG15H	70	11
<b>MAIT</b>	HR180	50	6
<b>MAIT</b>	HC230	50	7
<b>SOILMEC</b>	SR75	20	7
<b>SOILMEC</b>	SR70	54	8
<b>SOILMEC</b>	SR60	50	7
<b>CASAGRANDE</b>	B200	64	9

Tabla 3.1 Rendimientos de perforadoras en Proyecto.

Fuente: del autor mismo

#### 2.2.1.2 ESTABILIZACIÓN DE LA PERFORACIÓN

La profundidad es monitoreada por la brigada de topografía mediante una sonda para verificar que no se presenten caídos de material al fondo de la perforación, en algunas ocasiones el suelo no es muy estable por lo que suelen presentarse caídos de las paredes de la perforación ocasionando un mayor trabajo de rezagado. Para evitar dicho problema en el proyecto se estabilizan las paredes de la perforación usando un fluido estabilizador, el cual sirve para contener las paredes de la perforación de la cimentación.

Durante la ejecución de la cimentación de los diferentes apoyos se pueden presentar materiales de distintos tipos desde suelos blandos hasta materiales rocosos e incluso agua (nivel freático), algunos materiales pueden comprometer la estabilidad en las perforaciones, originando un incremento en el suministro de concreto calculado su colocación en cada elemento, además de comprometer el comportamiento estructural por las formas irregulares que se pueden presentar en la pila por caídos de las paredes de la perforación; en particular en este proyecto se utiliza en los suelos blandos un polímero de estabilización

Este compuesto puede ser orgánico o inorgánico disuelto con agua y debido a su densidad se utiliza para la contención de derrumbes

Las propiedades más importantes para considerar para estabilización de una perforación con polímero son la viscosidad de la mezcla.

Para la aplicación de esta mezcla los contratistas de cimentaciones tenían tanques provisionales o contenedores, para realizar la mezcla donde se dosifican los componentes y se mezclan con la ayuda de bombas que son usadas como agitadores, durante la aplicación de los componentes se debe medir la viscosidad y el índice de pH de acuerdo con el volumen y las especificaciones del producto, una vez realizada la perforación se vierte la mezcla a su interior hasta alcanzar un nivel superior al nivel freático para mantener estables las paredes de la perforación. Posteriormente al colado esta mezcla se puede reutilizar si se cuida su viscosidad ya que se bombea nuevamente en los contenedores.

En los casos donde se encontraron estratos con boleos donde la mezcla del polímero no lograba estabilizar la perforación, se realizaba un vaciado de concreto de baja resistencia para estabilizar las paredes de la perforación una vez alcanzada la dureza del concreto se procedía a su re-perforación, este proceso era utilizado en el caso extremo ya que incrementaba el costo y tiempo de ejecución.

### 2.2.1.3 ARMADO DE ACERO DE REFUERZO

Paralelo a los trabajos de perforación una cuadrilla de 20 ferreros trabaja en el armado del acero de refuerzo de la pila de cimentación con el acero que llega previamente habilitado con dobleces y cortes en esta etapa es muy importante el conocimiento del proyecto ejecutivo para poder realizar los planos de taller y fabricar los elementos en serie, la cantidad de varillas, el diámetro y separación varían según el tipo de apoyo, el diámetro del armado de las pilas de todos los apoyos es de 1.44 m con zuncho en toda su longitud (imagen 3.4). Debido a que la longitud de las pilas es mayor que la longitud comercial de la varilla (12 m) el proyecto contempla la utilización de conectores mecánicos para lograr la longitud requerida, por lo cual el acero llega a la obra habilitado con una cuerda en cada extremo de la varilla para realizar la conexión.



Imagen 3.4 Armado de pila de cimentación.

Fuente: del autor mismo

Los fierros extienden las varillas acomodándolas a modo que las conexiones no queden en la misma sección respetando lo indicado en la normatividad de la SCT de no rebasar el 50% de traslape en una misma sección; esto se realiza sobre calzas de polines de madera para posteriormente amarrar unos aros de varilla llamados “almas” las cuales funcionan como una plantilla donde están marcadas las separaciones de las varillas. Una vez completada toda la circunferencia del alma con las varillas que indica el proyecto se comienza a introducir la bobina de zuncho el cual se reparte a la separación indicada en el proyecto y se sujeta con alambre recocado en toda la longitud del refuerzo principal; al quedar completo el armado de la pila este se desacopla en cierto número de secciones, lo cual depende de la capacidad de la grúa auxiliar o del peso del armado, con el fin de llevar a cabo su izaje.

#### 2.2.1.4 IZAJE DEL ACERO DE REFUERZO

Para garantizar la seguridad durante el procedimiento de izaje del armado se refuerza con un mayor número de amarres en el zuncho donde se anclan los estobos de la grúa, se introducen un par de gazas de cable de acero del diámetro interno hacia afuera quedando sujetas dichas gazas con un seguro llamado aguja el cual impide que las gazas se salgan una vez comenzado el izaje, se levanta la primera sección del armado en una posición vertical y se introduce en la perforación es muy importante la experiencia de los operadores y maniobristas para realizar con seguridad estas maniobras (imagen 3.5).



Imagen 3.5. Izaje de la primera sección del armado

Fuente: del autor mismo

Una vez dentro el armado se coloca una trampa con varillas o viguetas de acero de manera transversal para impedir que la primera sección del armado se vaya al fondo de la perforación, cuando queda colocada la trampa el armado queda suspendido en ella y se liberan los estrobos de la grúa jalando las agujas las cuales tienen unas cuerdas para ser jaladas desde la superficie, el armado se libera y se continua con el estrobado de la siguiente sección para posteriormente levantarla y colocarla sobre la sección suspendida en la trampa para acoplarse (Imagen 3.6).



Imagen 3.6. Izaje de la segunda sección del armado

Fuente: del autor mismo

El acople de las varillas se facilita debido a que todas las varillas cuentan con una cuerda larga en la sección superior y una cuerda corta en la sección inferior para que los conectores enrosquen de arriba hacia abajo quedando cubierta la cuerda corta, una vez acoplada ambas secciones se coloca y sujeta el zuncho en la zona del acoplamiento con alambre recocado (imagen 3.7).



Imagen 3.7. Acople de ambas secciones

Fuente: del autor mismo

Posteriormente se sube el armado completo y se quita la trampa para bajarlo completo al fondo de la perforación, con la misma trampa se sujeta el armado de las orejas que sobresalen de la parte superior del armado. Con la trampa se calza dejando el armado centrado y al nivel tope de acero indicado en el proyecto. Dicho nivel y centrado es corroborado por la brigada de topografía de la contratista y de la supervisión, una vez conciliados entre ambas partes se suelta el armado para quedar suspendido en su posición final.

#### 2.2.1.5 COLOCACIÓN DE TUBERÍA TREMIE

La tubería tremie es utilizada para conducir el concreto desde la superficie hasta el fondo de la pila, esto para evitar el segregado del concreto en su caída (de acuerdo con normativa) y también debida a la densidad del concreto hidráulico que es mayor a la del agua y del lodo polimérico. Al fondo de la perforación la tubería ayuda a que el concreto hidráulico empuje los lodos del fondo hacia la superficie es por ello que las pilas de cimentación se cuelen hasta rebosar el concreto hidráulico en la superficie para garantizar que todo el concreto dentro de nuestra pila no se encuentre contaminado con lodos y residuos de la perforación.

Dicha tubería es metálica con un diámetro de 20 cm el cual está compuesto por tubos de 3 m de largo y en la parte superior un cono de 80 cm de diámetro donde es depositado el concreto (imagen 3.8.).

Estas secciones se acoplan uno con otro sellando perfectamente para evitar que entre agua o aire que provoque que se tape la tubería, esta debe llegar hasta el fondo para cuidar la colocación del concreto.



Imagen 3.8. Colocación de tubería Tremie.

Fuente: del autor mismo

#### 2.2.1.6 COLADO DE PILA DE CIMENTACIÓN.

Ya colocada la tubería se procede a realizar la solicitud del concreto hidráulico de acuerdo con las especificaciones del proyecto tanto de resistencia, trabajabilidad y tamaño del agregado; para esto el Contratista cuenta con una planta de concreto hidráulico dedicada únicamente para satisfacer las solicitudes específicas de este proyecto, la cual se encuentra monitoreada por el laboratorio de calidad de la supervisión.

A la llegada del concreto a la obra se revisan sus características y la hora de salida de la planta concretera para asegurar que el concreto tenga aun la permanencia y propiedades para ser vaciado.

La prueba realizada en obra por parte del personal de control de calidad en el concreto hidráulico es la medición del revenimiento el cual es verificado en cada

una de la ollas que llegan a la obra, se toma una muestra de concreto para realizar una prueba a compresión a cada 14 m<sup>3</sup> para la contratista y cada 40 m<sup>3</sup> para la supervisión (de acuerdo a normativa) para su posterior ensaye, antes de iniciar el colado se coloca una pelota dentro del tubo tremie para evitar que el concreto se segregue debido a la caída libre una vez que se comienza el vaciado se sube y baja la tubería tremie 50 cm para lograr el acomodo del concreto.

A medida que se va llenando cada 6 o 9 m de profundidad se va quitando una sección de la tubería tremie para evitar que esta se quede atorada al fondo de la pila así hasta llenar la pila en su totalidad (imagen 3.9). Se debe cuidar que el concreto que emerja de ella al final sea concreto sano y así evitar que tenga estratos de concreto hidráulico contaminado con lodos, el concreto utilizado en las pilas de cimentación para este proyecto es de un  $f'c$  de 300 kg/cm<sup>2</sup>



Imagen 3.9. Vaciado de concreto en pila de cimentación

Fuente: del autor mismo

Para la revisión de la resistencia de dichas pilas de cimentación se construyó un modelo con asesoría del instituto de ingeniería de la UNAM en el cual se ensayó una pila de cimentación con carga axial de iguales dimensiones a las usadas en el

viaducto (imagen 3.10), la cual debería resistir una carga de 1100 toneladas la cual fallo a las 1300 toneladas.



Imagen 3.10. Prueba de carga axial de pila de cimentación

Fuente: del autor mismo

## 2.2.2 ZAPATAS

Una zapata es un elemento de cimentación que en muchos casos son utilizados de forma aislada en suelos estables y con resistencia a la compresión, por lo que en su caso para este proyecto fueron construidas sobre pilas de cimentación profunda. Estos elementos consisten en formas geométricas regulares de triangulares o rectangulares, que puedan llevar a cabo la transmisión de esfuerzos entre el estrato sólido del suelo hacia los elementos estructurales superiores como lo son las columnas.

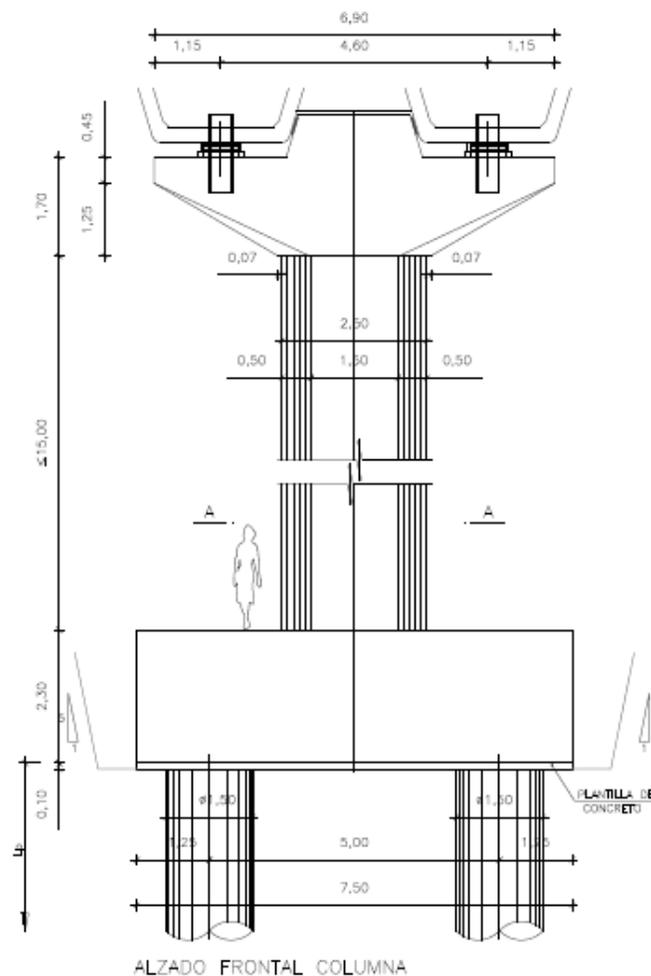


Figura 3.1. Alzado frontal de un apoyo tipo

Fuente: proyecto ejecutivo Sener

### 2.2.2.1 EXCAVACIÓN

En este proyecto el apoyo más común en el viaducto 1 está dispuesto con un arreglo de cuatro pilas de cimentación y la zapata es rectangular tienen una dimensión de 7.00 m por 7.50 m y una altura de 2.30 m, una vez completadas las cuatro pilas se esperan 24 horas antes de realizar la excavación de 2.40 m de profundidad para descubrir las pilas de cimentación y comenzar hacer el descabece, que es la demolición de las pilas con un rotomartillo hidráulico los primeros 1.30 m de la pila descubierta (imagen 3.11) y el otro metro restante se realiza con un rotomartillo neumático, esto con el fin de no fracturar o dañar estructuralmente la pila de cimentación por debajo del nivel de desplante de la zapata.

De igual forma este procedimiento debe realizarse con extremo cuidado, con la finalidad de no dañar el acero de refuerzo principal de la pila de cimentación que trabaja como anclaje pila – zapata.

El descabece se realiza para que se tenga el empotramiento entre el acero de la pila de cimentación y el acero de la zapata, además la demolición ayuda a retirar el concreto que no es sano de la pila ya que el lodo del fondo de la perforación de la pila emerge y queda en la parte superior al final de su colado. Después del descabece de pilas se procede a limpiar y emparejar la excavación para colocar la plantilla con concreto de resistencia de 100 kg/cm<sup>2</sup>, cuyo desplante se revisa por las brigadas de topografía de la Contratista y la Supervisión (imagen 3.12).



Imagen 3.11. Descabece de pilas con rotomartillo hidráulico

Fuente: del autor mismo

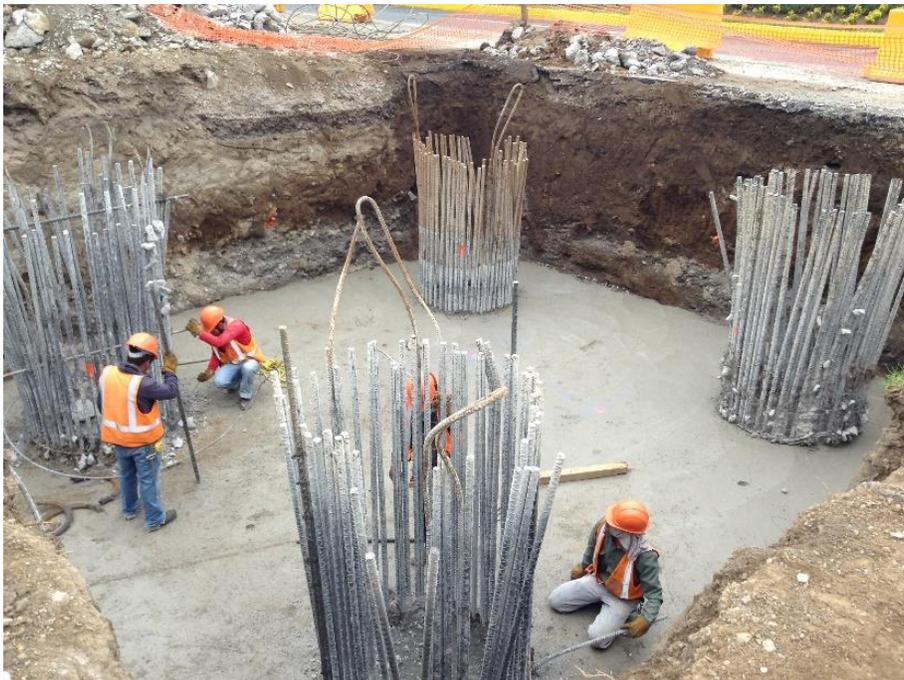


Imagen 3.12. Pilas descabezadas con plantilla colocada

Fuente: del autor mismo

### 2.2.2.2 COLOCACIÓN DE PLANTILLA Y PRUEBAS

Una vez colada la plantilla se realiza sobre cada una de las pilas de cimentación las pruebas para revisar la calidad del elemento con las pruebas de cross hole (hoyo cruzado) para pilas con una longitud mayor a 30 metros se utiliza un sensor a través de una tubería de PVC ahogada en la pila por la cual sumergen un emisor de frecuencias y en la tubería paralela un receptor midiendo la velocidad en la que viajan las frecuencias a través del concreto de la pila de cimentación y si presentaban una irregularidad en las velocidades fuera de lo aceptable se procede incluso a adicionar una pila de cimentación. La prueba PIT (pile integrity test) para pilas menores a 30 m con un equipo que mide la velocidad a la que viajan a través del concreto con golpes únicamente en la parte superior de la pila de cimentación donde se pulían 4 círculos y se golpea con un mazo que está conectado al receptor de la onda en un círculo opuesto para tener varios puntos de referencia de emisión de ondas esta prueba se puede ilustrar en la imagen 3.12.1



Imagen 3.12.1 pruebas PIT en pilas de cimentación.

Fuente: del autor mismo

### 2.2.2.3 ARMADO

El acero de refuerzo para las zapatas llega habilitado al sitio, una vez trazadas las dimensiones de la zapata se continua con la colocación de las capas superiores para dejar suspendidos los estribos de la parte interna (imagen 3.13.), para después colocar las capas inferiores y quedando estas por dentro de los estribos ya suspendidos.



Imagen 3.13. Colocación de capas superiores

Fuente: del autor mismo

Al centro de la zapata se colocan los estribos circulares del fondo de la columna, posteriormente los disparos de la columna que quedan ahogados en el colado de la zapata (anclaje zapata – columna), se colocan las varillas de las caras laterales; se revisa las cantidades de acero, los diámetros y se coloca la conexión de tierra

física entre la columna y la zapata a través de una placa soldada unida con cable de cobre conforme al esquema de las figuras 3.2 y 3.3

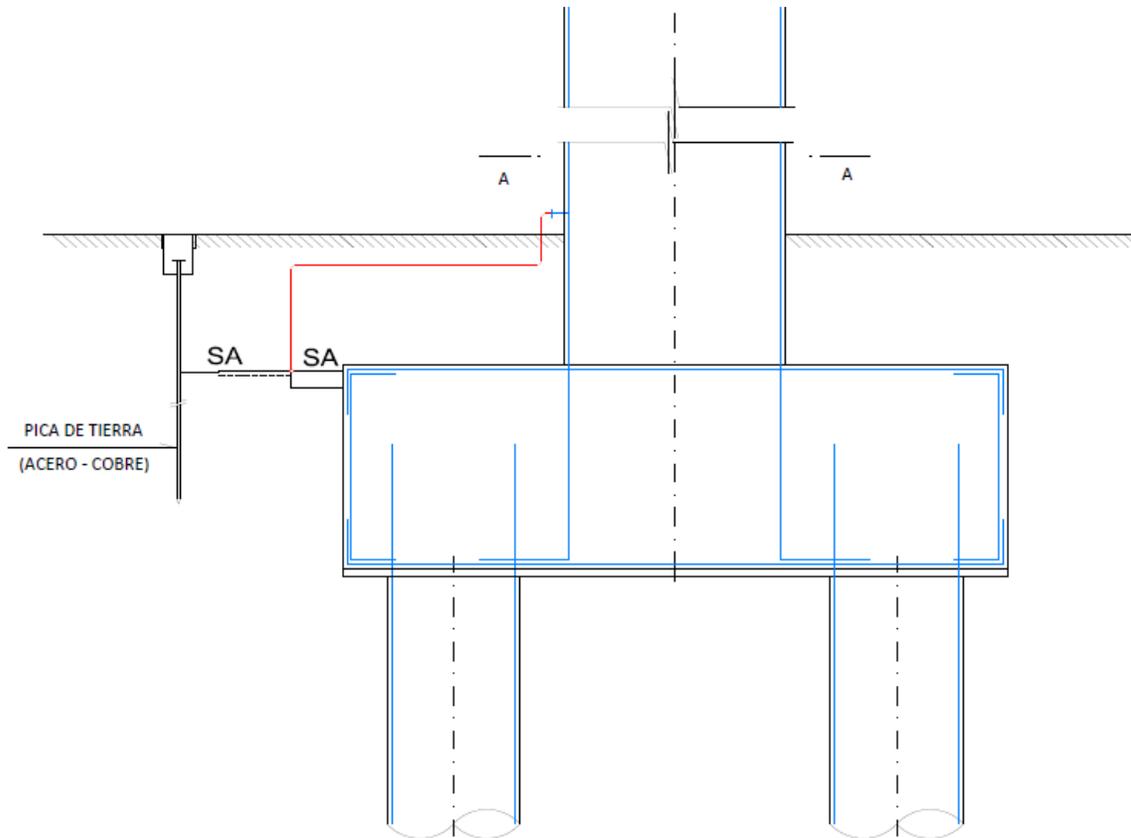


Figura 3.2. Alzado de cimentación Tipo

Fuente: proyecto ejecutivo Sener

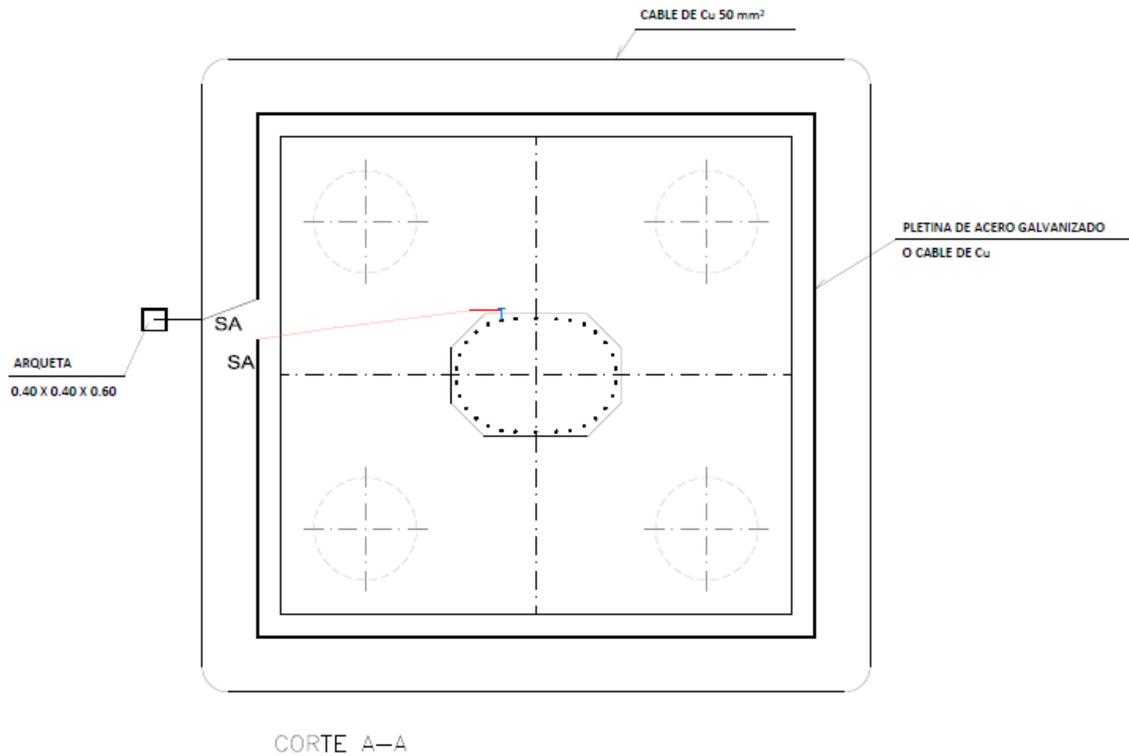


Figura 3.3. Diagrama de tierra física de zapatas.

Fuente: proyecto ejecutivo Sener

Una vez completo el armado se procede a colocar la cimbra, la cual queda apuntalada contra el terreno (imagen 3.14), por otro lado en los casos donde se excava junto a las vialidades se coloca una capa de plástico que sirve de junta constructiva para evitar el contacto directo entre terreno y concreto durante el colado, en algunas interferencias con los pasos a desnivel se colocan paneles de porexpan para evitar la interacción de estructuras entre la zapata del viaducto con el muro Milán de los pasos a desnivel.



Imagen 3.14. Armado de cimbra

Fuente: del autor mismo

Una vez cimbrada se revisa que toda la cimbra en contacto con el concreto tenga el desmoldante y se encuentre sin aberturas mayores a las establecidas en normativa. La geometría se revisa con la brigada de topografía, así como los niveles de concreto terminado y el centrado de los disparos de la columna, con la finalidad de evitar disminución o incremento del recubrimiento de la columna.

#### 2.2.2.4 COLADO

Para su colado se realiza a tiro directo desde las ollas o con bomba (imagen 3.16) dependiendo de la accesibilidad a la zapata o el nivel de la misma, se utiliza un concreto de 300 kg/cm<sup>2</sup> con un agregado de ¾" y revenimiento de 18 cm con una tolerancia en un rango de 3.5 cm.

Durante el colado se revisan cada una de las ollas para verificar que cumplen con el revenimiento de proyecto, así como también se verifica que se vibre adecuadamente y que la caída libre del concreto no sea mayor a 1.5 m (de acuerdo con normativa) para evitar segregación del concreto hidráulico.



Imagen 3.15. Colado de zapata vibrado de concreto hidráulico

Fuente: del autor mismo



Imagen 3.16. Colado con bomba

Fuente: del autor mismo

Existen varios tipos de zapatas dependiendo del terreno, claros e interferencias que tiene cada uno de los apoyos

<i>Tipos de Zapatas</i>	}	<i>rectangulares</i>	{	<i>2 pilas</i>
				<i>4 pilas</i>
				<i>5 pilas</i>
				<i>6 pilas</i>
				<i>8 pilas</i>
				<i>12 pilas</i>
				<i>16 pilas</i>
	{	<i>sin pilas</i>		
		<i>triangulares</i>	{	<i>3 pilas</i>
		<i>Pentagonales</i>	{	<i>5 pilas</i>

### 2.2.2.5 ZAPATAS RECTANGULARES

Zapatas rectangulares de dos pilas para pórticos (marcos), los cuales libran las salidas de los pasos a desnivel y cruces con avenidas principales (imagen 3.17), colocando una zapata a cada lado de la vialidad a librar para apoyar el pórtico (imagen 3.5).



Imagen 3.17. Zapata de 2 pilas de cimentación

Fuente: del autor mismo

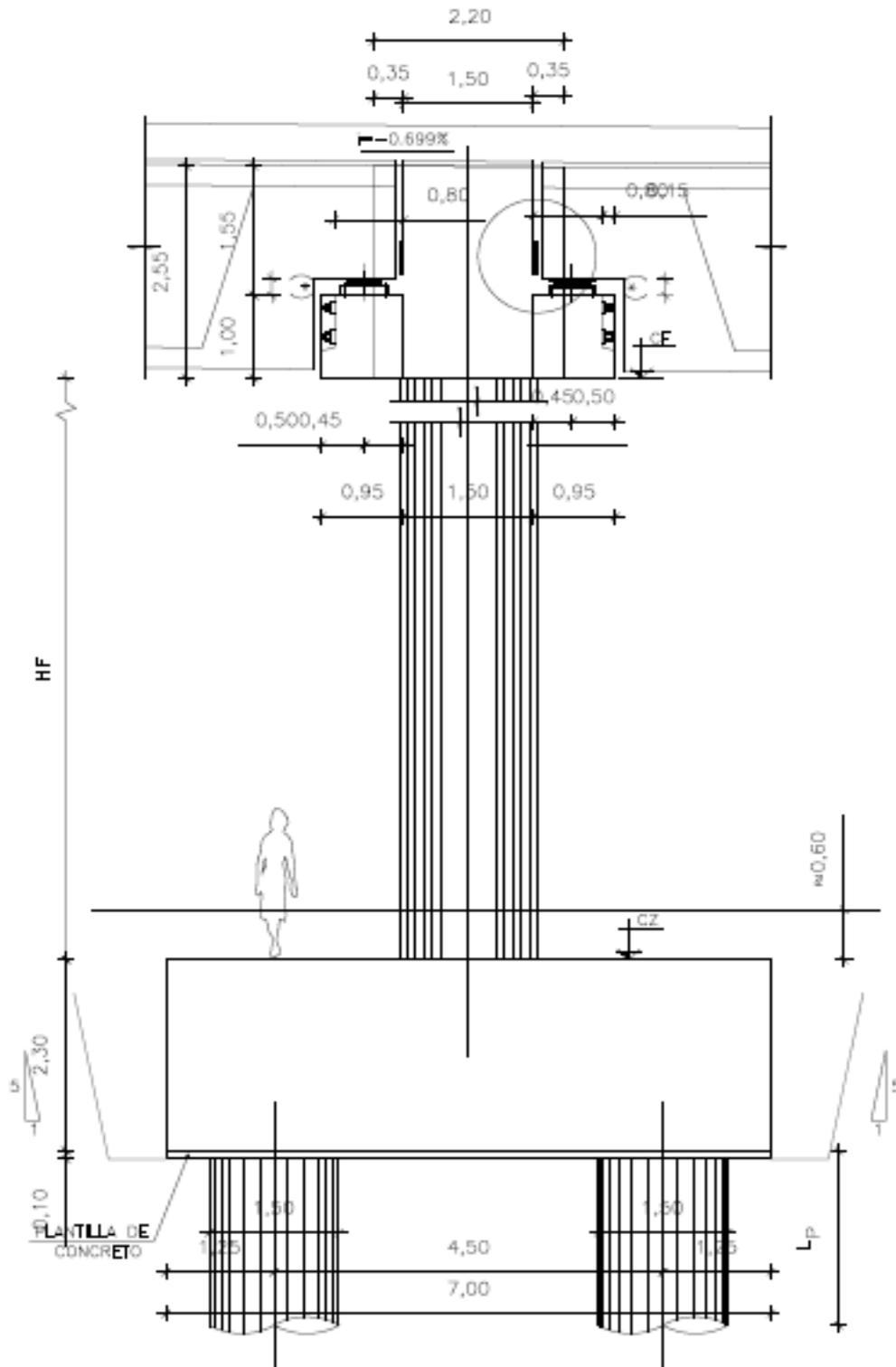


Figura 3.4. Alzado lateral de pórtico  
 Fuente: proyecto ejecutivo Sener

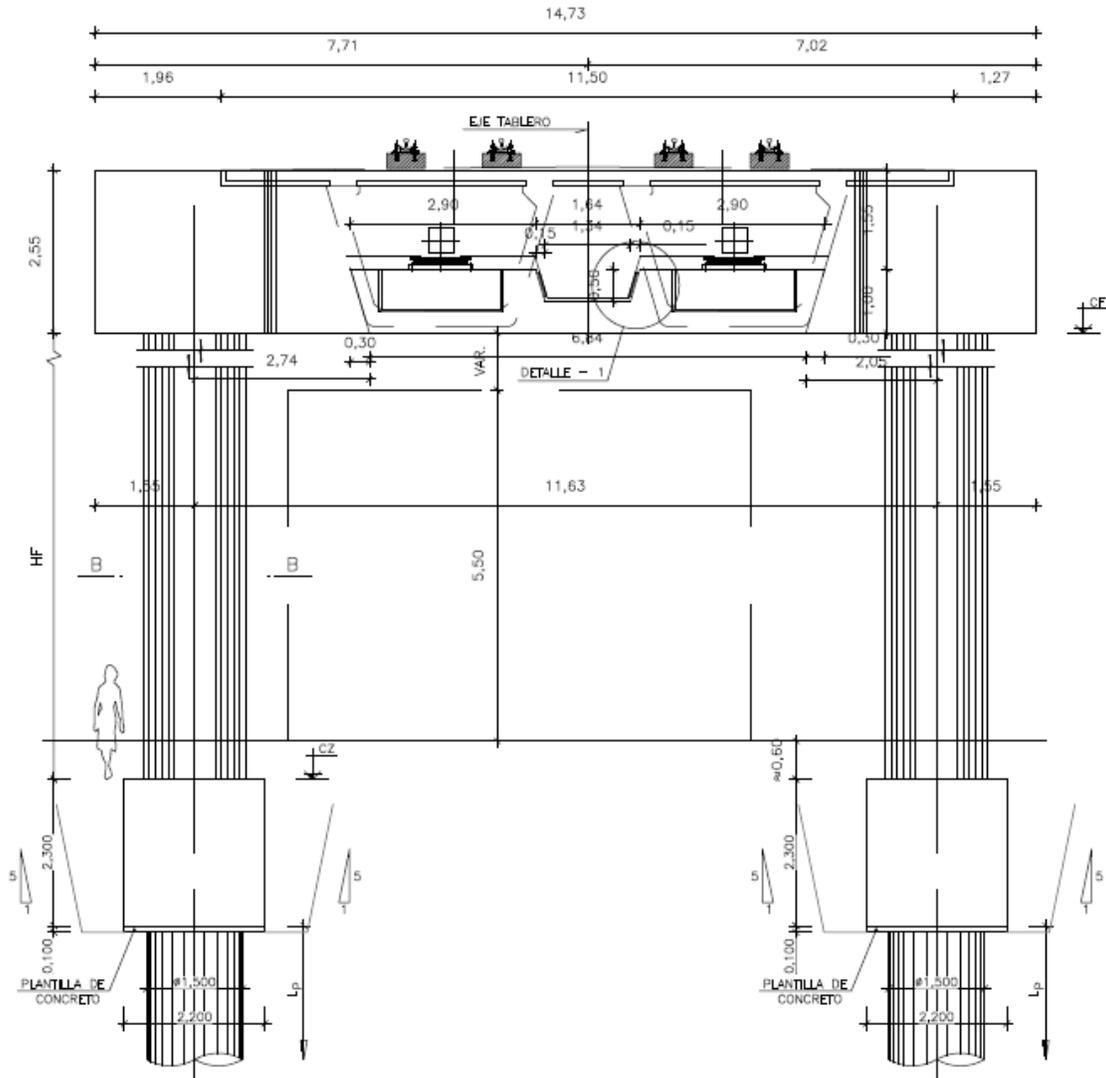


Figura 3.5. Alzado frontal de p6rtico

Fuente: proyecto ejecutivo Sener

Las zapatas rectangulares de cuatro pilas es el arreglo m6s com6n para claros de 32 m y 27 m, las zapatas con arreglo de cinco pilas con una al centro (imagen 3.18), las cuales son para los claros continuos que libran un claro m6s largo como en el caso de los cruces con las vialidades y donde se presenta un cambio de v6a, ya que la quinta pila ayuda a absorber mayores esfuerzos a los que se somete la superestructura debido a la longitud del claro de 46 m (imagen 3.19) y las cargas a resistir por el cambio de v6a cuando se encuentre el tren en operaci6n, por tal

motivo el armado de acero de refuerzo de este tipo de zapatas (cinco pilas) está diseñado con diámetros de acero mayores en comparación a las zapatas de otros tipos.



Imagen 3.18. Zapata de cinco pilas

Fuente: del autor mismo



Imagen 3.19. Claro continuo de 46 m

Fuente: del autor mismo

Zapatas rectangulares de 10 m por 7.0 m con 4 pilas de cimentación las cuales son utilizadas como cimentación para apoyos donde se presentan cambios de doble vía a vía única (apoyos de intersección), que se encuentran principalmente en la llegada a las estaciones. Estas zapatas soportan de dos a tres columnas como se muestra en la figura 3.6 y 3.7.

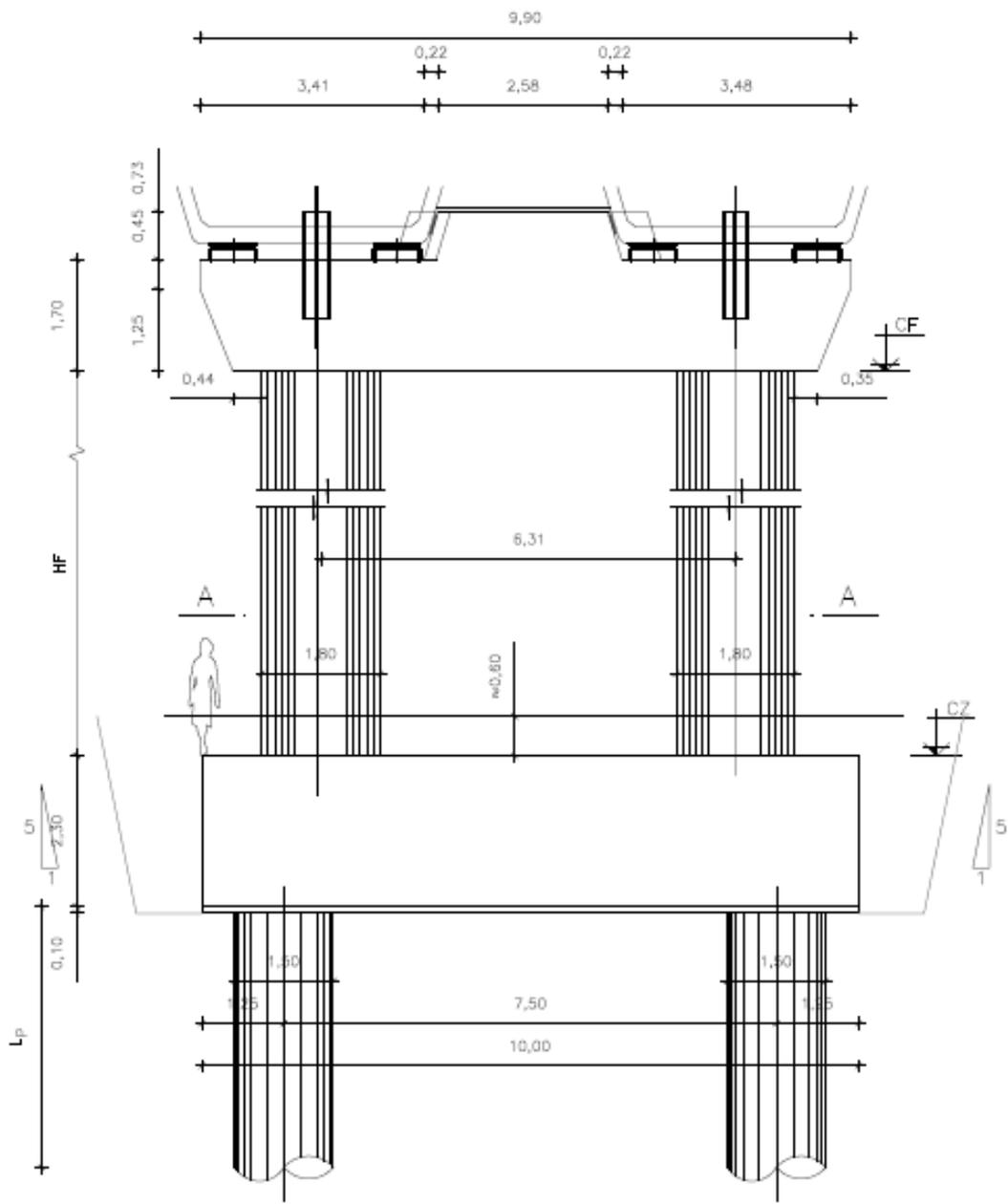
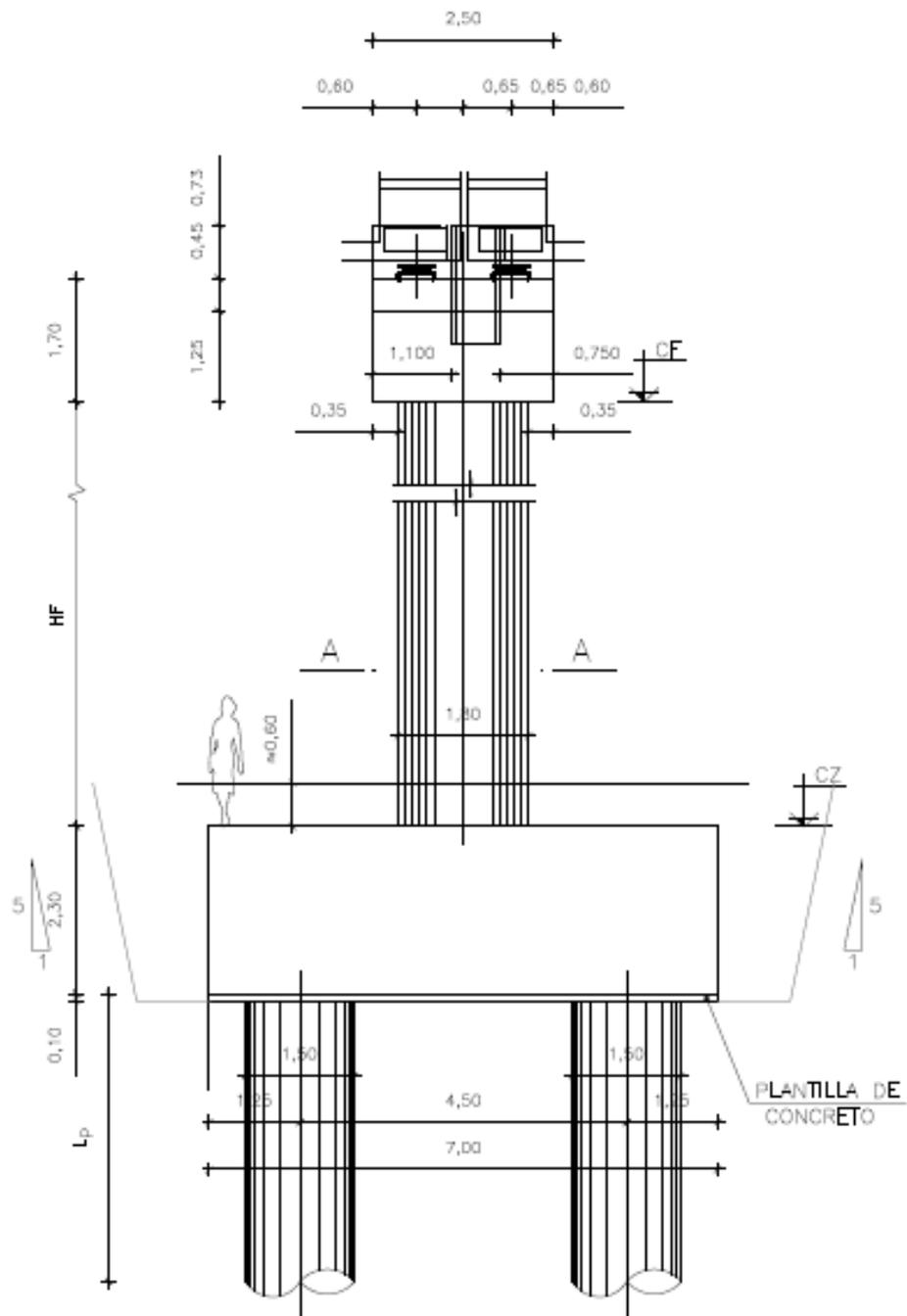


Figura 3.6. Alzado frontal de apoyo de intersección.

Fuente: proyecto ejecutivo Sener



ALZADO LATERAL

Figura 3.7. Alzado lateral de apoyos de intersección

Fuente: Proyecto ejecutivo Sener



Imagen 3.20. Zapata rectangular de doble columna

Fuente: del autor mismo

En el viaducto 1-E se tienen la interferencia de algunas zapatas con las capas propias de la estructura de pavimento de la autopista México - Toluca en la zona de Lerma (figura 3.8 y 3.9), en las cuales primero se realizó una estabilización de dichas capas mediante contenciones basadas en pantallas de micropilotes (imagen 3.2.1).

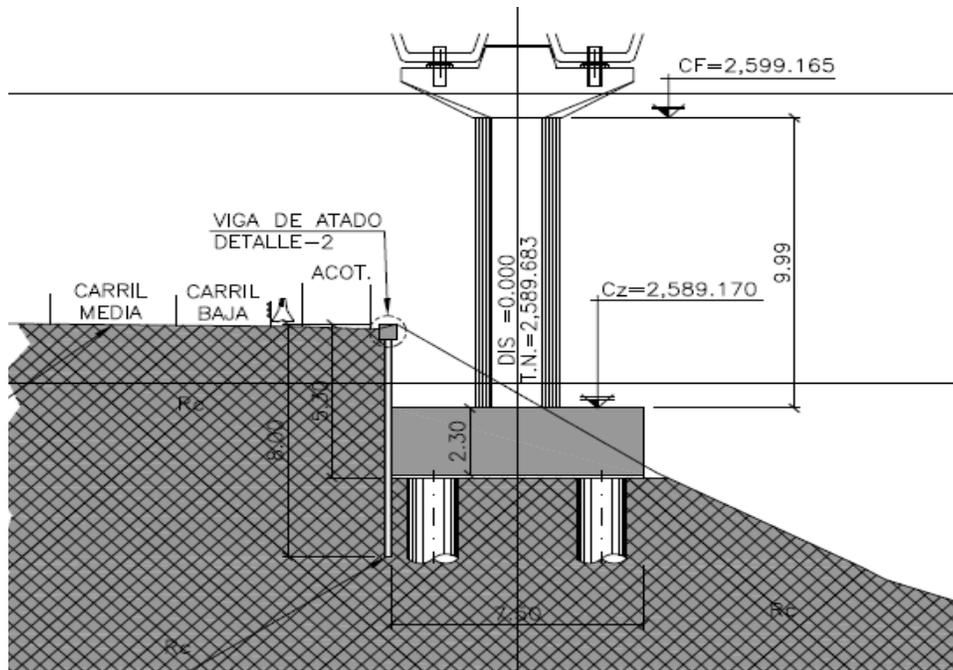


Figura 3.8. Alzado lateral de pantalla de micropilotes

Fuente: proyecto ejecutivo Sener

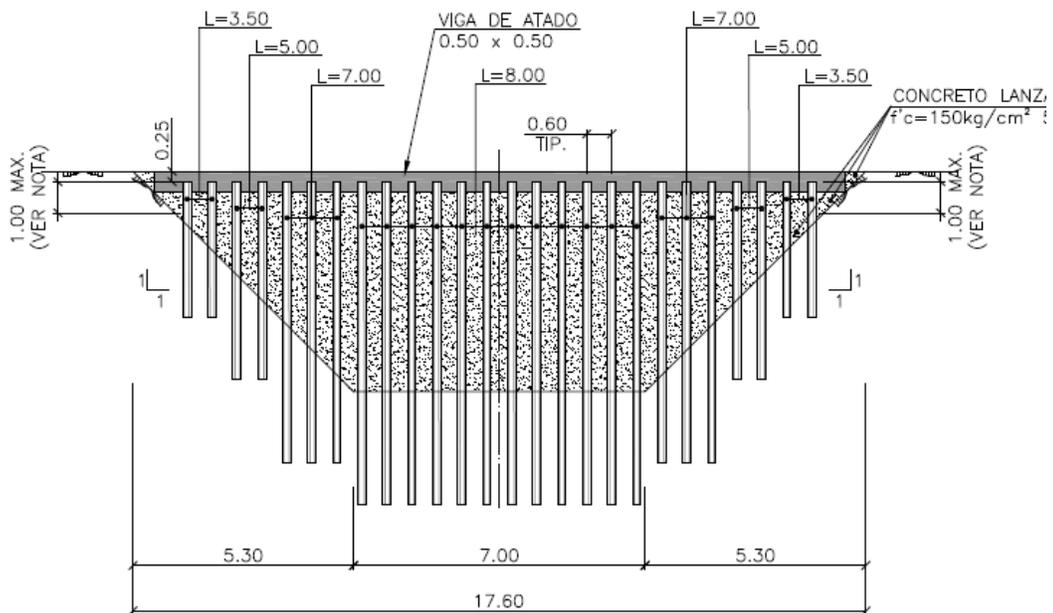


Figura 3.9. Alzado frontal de pantalla de micropilotes

Fuente: proyecto ejecutivo

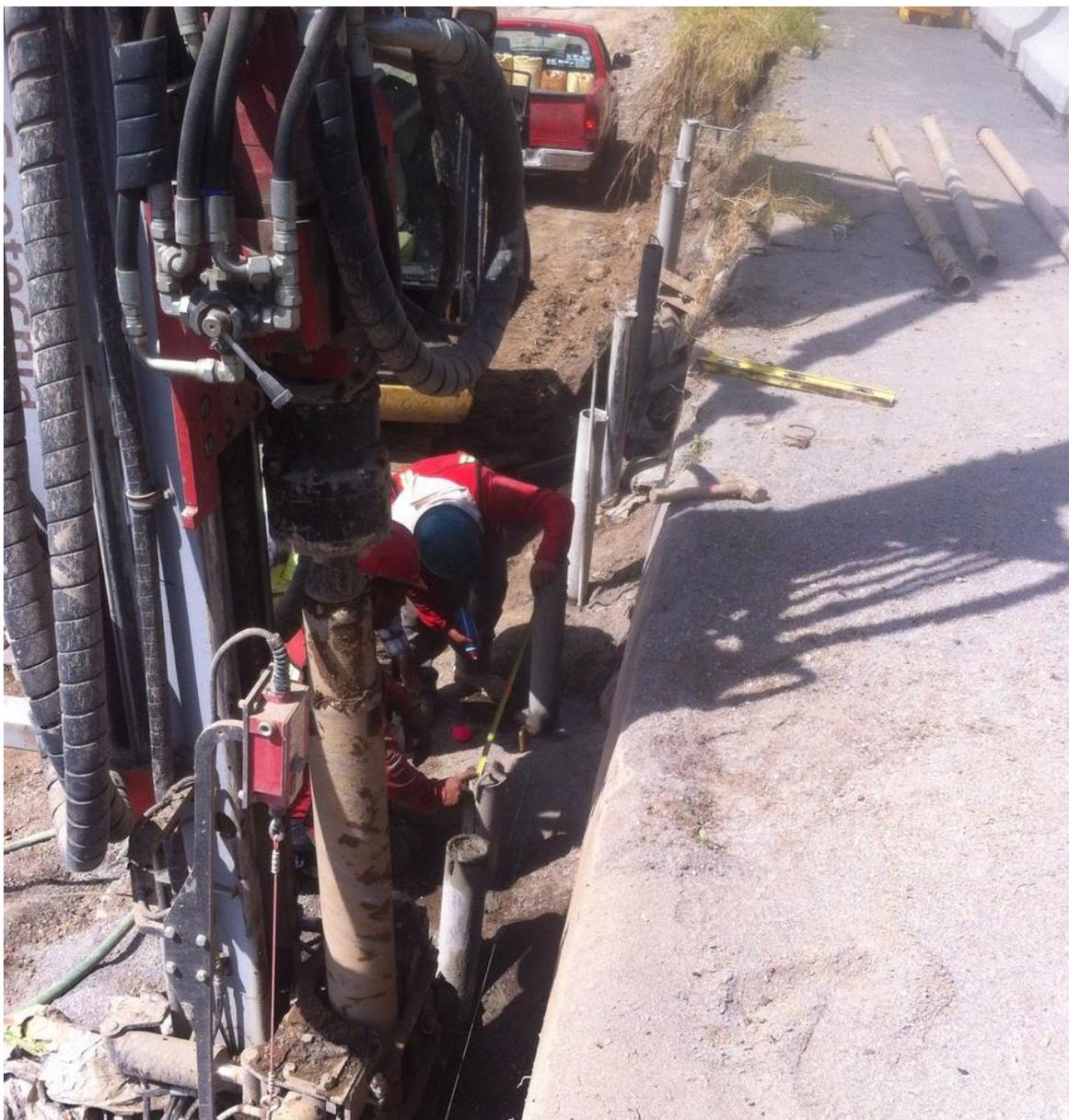


Imagen 3.21. Micropilotes para estabilización del pavimento

Fuente: del autor mismo

Algunas zapatas que no llevan pilas (cimentación superficial), en las cuales se encuentran desplantadas en estratos de roca sana a poca profundidad, pero con dimensiones de 9 m por 16 m, significativamente mayores a zapatas dependientes de cimentación profunda en los primeros apoyos del viaducto 2 .

### 2.2.2.6 ZAPATAS TRIANGULARES

También existen zapatas triangulares con tres pilas de cimentación que son para los tableros de entrada y salida a las estaciones que soportarán superestructura de vía única. En estas zapatas en su armado de acero de refuerzo, igualmente son provistas de varillas del #10 en varias capas tanto en el lecho inferior y superior que van en escala ambos lechos los cuales quedan sujetos con estribos en la parte interna (imagen 3.22).



Imagen 3.22. Armado de zapata triangular

Fuente: del autor mismo

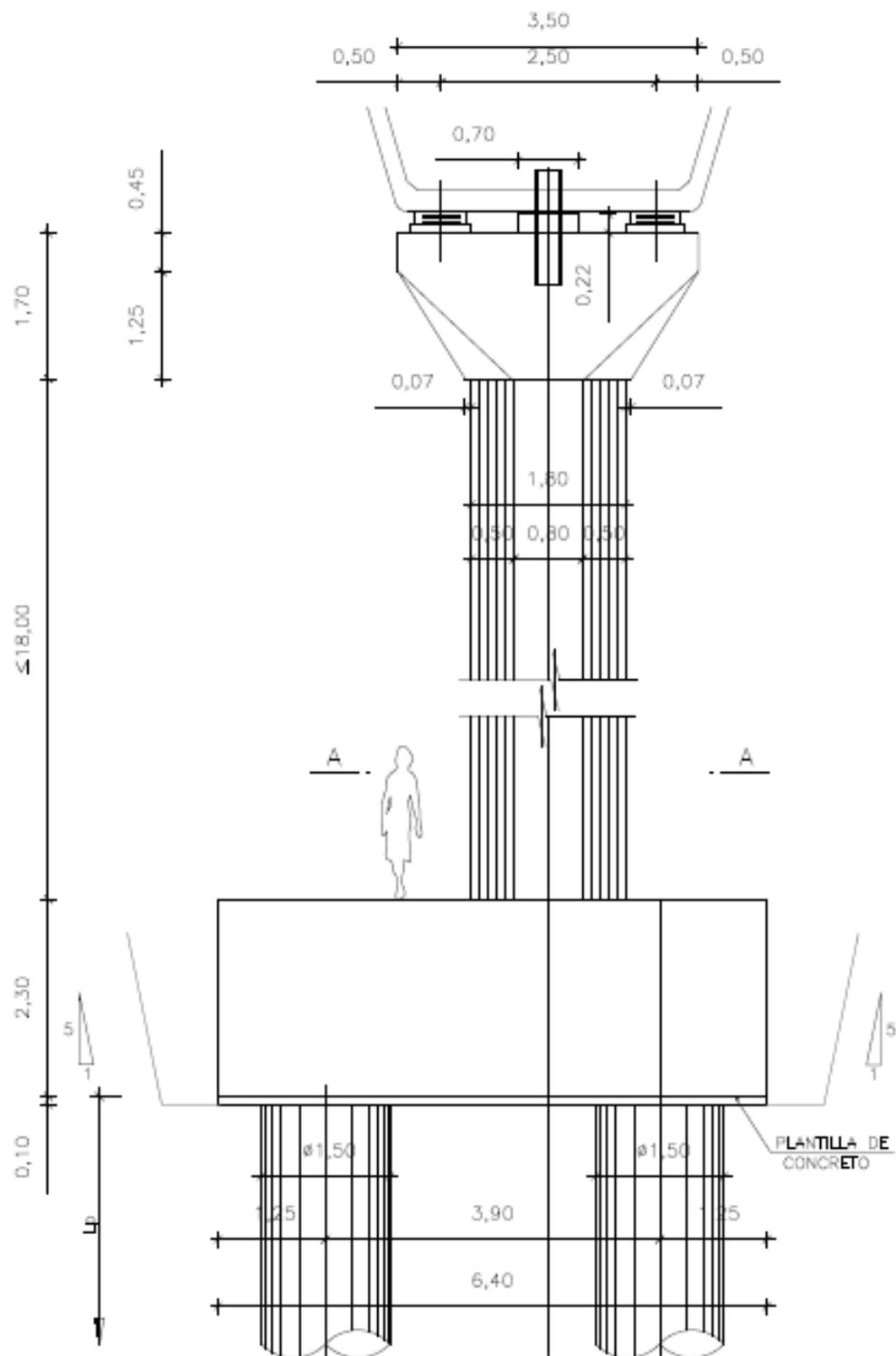


Figura 3.10. Alzado frontal de columna

Fuente: proyecto ejecutivo Sener



no llegaron a los niveles establecidos en proyecto, o que los resultados de las pruebas de integridad presentaron discontinuidad en el elemento colado.



Imagen 3.23. Zapata de cimentación de forma pentagonal

Fuente: del autor mismo

En los viaductos de claros de 55 m y 64 m se ejecutaron zapatas rectangulares de 12 m por 16 m con hasta 16 pilas de cimentación (imagen 3.24) principalmente usadas en el viaducto 2 y 4 donde se utilizaron las Autocimbras.



Imagen 3.24 armado de zapata para columnas con tablero de autocimbra.

Fuente: del autor mismo

## **2.3 SUPER ESTRUCTURA**

Se entiende por superestructura a los elementos estructurales que se encuentran por encima de la cimentación o por encima del nivel del terreno natural que en este proyecto es a partir de las columnas hacia arriba pasando por los cabezales, traveses y losas.

### **2.3.1 COLUMNAS.**

Las columnas son el elemento estructural que permite alcanzar de forma vertical la altura que el viaducto necesita para conservar la pendiente de la vía.

En el viaducto 1, 3, 5 y 6 las columnas son de una sección maciza octagonal de 1.80 m por 2.50 m y para los pórticos de 1.60 m por 1.60 m, sobre las que se

montaron traveses prefabricados para los viaductos 2 y 4 las columnas son de sección rectangular hueca de hasta 6 m por 5.4 m con espesores de hasta 50 cm las cuales soportarían los tableros ejecutados con Autocimbra colados en sitio.

La cimbra que se utiliza es modular ya que se ensambla dependiendo de la altura y la sección de cada columna.

### 2.3.1.1 COLUMNAS DE SECCIÓN MACIZA

El armado de las columnas se compone de estribos circulares alrededor de las varillas de espera coladas en la zapata (acero principal de la columna).

Los estribos circulares presentan, de acuerdo con la sección donde se encuentren, diferentes espaciamientos entre ellos presentando como ejemplo: en los primeros 4 m de altura, correspondiente a la zona de rótula plástica, la separación es de 7.5 cm entre estribos y para los siguientes 4 m de altura la separación es de 10 cm, posterior a los primeros 8 m la separación corresponde a 20 cm.

Como se muestra en la Figura 4.1., la sección transversal de 1.60 m por 1.60 m con un solo estribo circular se utiliza para columnas que se encuentran sobre apoyos de 2 pilas.

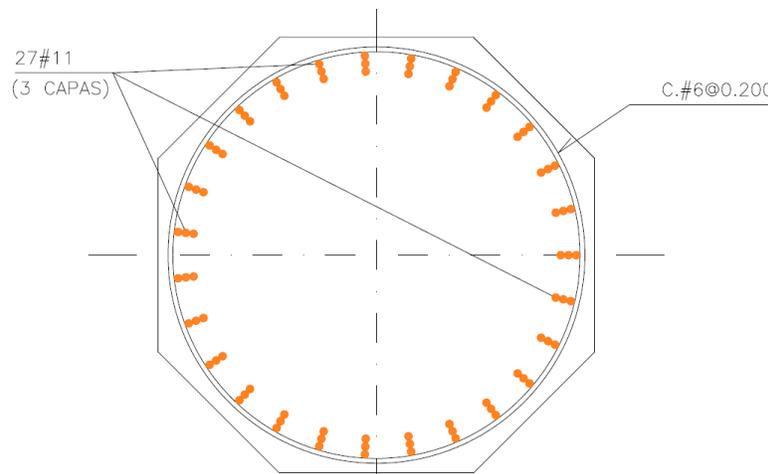


Figura 4.1. Sección para columna de pórticos

Fuente: proyecto ejecutivo Sener

En cuanto a la sección transversal octogonal de 1.80 m por 1.80 m con un estribo circular corresponde a los apoyos de tres pilas de cimentación y diseñados con 2 o 3 columnas (imagen 4.1).



Imagen 4.1. Zapata con tres columnas

Fuente: del autor mismo

Las columnas con sección transversal de 2.50 m por 1.80 m con doble estribo circular como se muestra en la Figura 4.2., corresponden a apoyos que se ubican en tableros con claros de 27 m, 28 m, 30 m, 32 m, y claros continuos.

Dichos estribos circulares quedan intercalados y se conectan mediante varillas en forma de grapas a cada costado de estos.

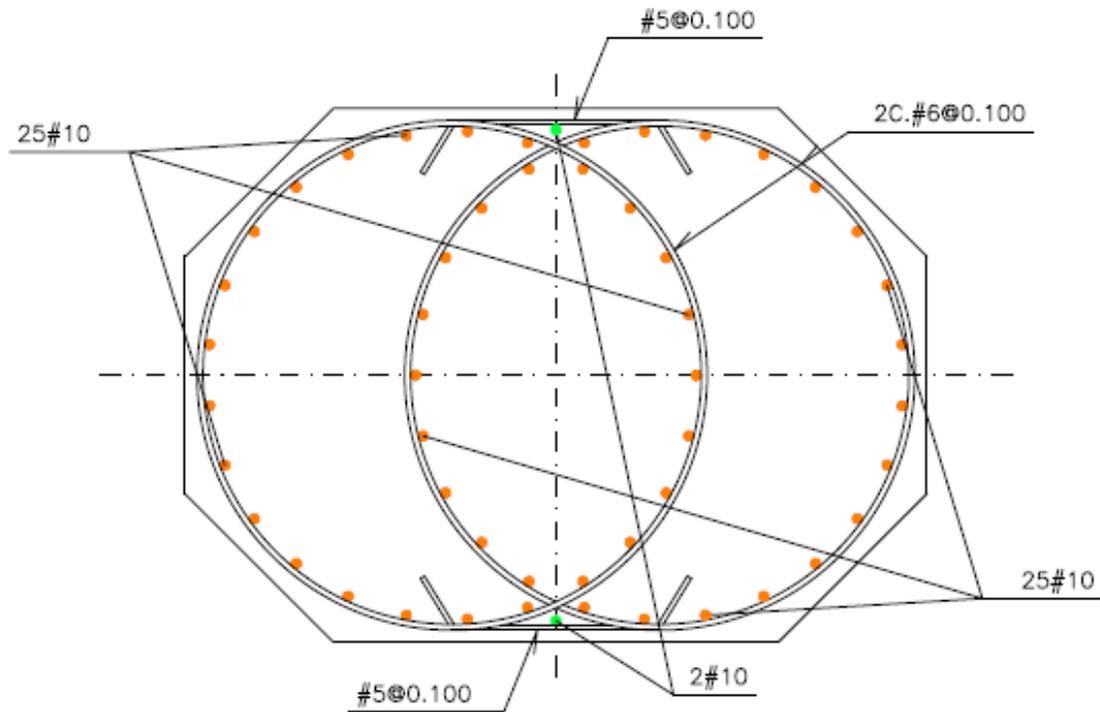


Figura 4.2. Sección de 2.50 m por 1.80 m para columnas

Fuente: proyecto ejecutivo Sener

Antes de su armado se limpian los disparos de la columna (refuerzo principal) quitando la salpicadura de concreto del colado de la zapata de acuerdo a normativa la cual indica que el acero de refuerzo debe quedar libre de cualquier sustancia o partícula, con la finalidad de que el concreto tenga una mejor adherencia al momento del colado de la columna, también se cepillan los estribos circulares en caso de presentar oxidación, se coloca el andamio para comenzar a insertar desde la parte superior todos los estribos circulares intercalados uno del lado izquierdo sobre uno del lado derecho.



Imagen 4.2. Colocación de estribos circulares

Fuente: del autor mismo

Una vez que los estribos están dentro de la columna se amarran a la separación indicada por el proyecto en toda su altura y se colocan las grapas que unen a los estribos circulares el acero de refuerzo es variable según la altura de la columna.



Imagen 4.3. Armado de acero de refuerzo con andamio

Fuente: del autor mismo

se colocaron andamios para realizar cada uno de los trepados (imagen 4.3) estos andamios aumentan su altura en función del armado una vez colocado el armado a la altura requerida se colocan separadores en el armado y se procede a colocar la cimbra metálica con desmoldante (imagen 4.4), para el izaje de los moldes metálicos se utiliza una grúa, Para la fijación de la cimbra metálica se utilizan barras con cuerda (espárragos) que atraviesan la columna (imagen 4.5) con una vaina al interior de la cimbra la cual permite retirar las barras una vez colada la columna.



Imagen 4.4. Montaje de cimbra metálica

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.5. Colocación de vainas para fijar módulos

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.6. Colado de columna de sección maciza

Fuente: del autor mismo

Para el colado se utiliza una bomba pluma para colocar el concreto hidráulico y vibradores de inmersión a gasolina de más de 9000 rpm ya que el terminado de estas columnas es un acabado espejo con un concreto de  $350 \text{ kg/cm}^2$  con agregado de  $\frac{3}{4}$ " (imagen 4.6).

### 2.3.1.2 COLUMNAS DE SECCIÓN HUECA

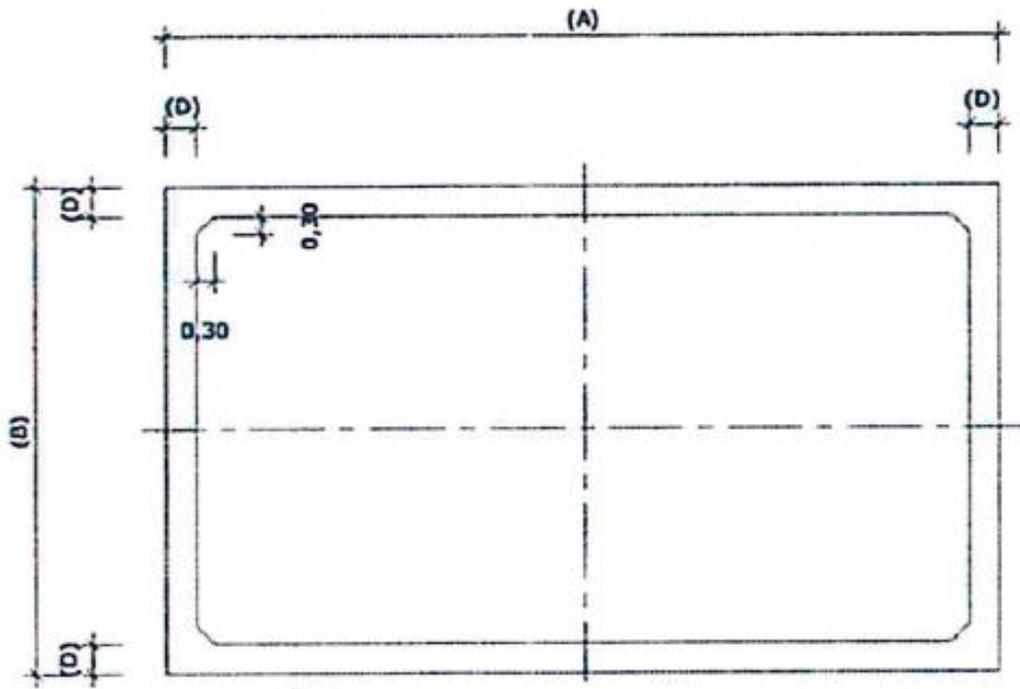


Figura 4.3. Sección de columna

Fuente: proyecto ejecutivo ayesa

De la figura 4.3 donde el ancho (A) es constante de 6m y largo (B) varía desde los 3.5m hasta los 5.4 m con alturas de hasta 74 m.

Para estas columnas se utiliza una cimbra trepante la cual es accionada por distintos mecanismos tanto hidráulicos como mecánicos, que permiten su elevación simultánea con todos los conjuntos de cimbra (imagen 4.7). además esta optimizada para la construcción de estructuras verticales de mucha altura donde el factor viento es muy importante principalmente con ocupación de grúas y donde la revisión de todos los puntos de seguridad durante del proceso constructivo de cada etapa son muy importantes debido al riesgo en alturas.



Imagen 4.7. Columnas con cimbra trepante y grúas torre viaducto 4 tramo 1

Fuente: del autor mismo

Cada segmento de columna se realiza con la elevación sucesiva del sistema de plataforma-cimbra sobre cada una de las cuatro caras de la columna donde se fijan sobre unas preparaciones cónicas coladas en la fase anterior.

Para la construcción de la primera fase se coloca el acero de refuerzo transversal en las esperas de varilla colocadas en la zapata una vez completado el armado correspondiente a la altura de la primera fase se procede a colocar las tapas de la cimbra trepante las cuales solo en su primera fase se sostienen con apuntalamiento sobre la zapata (imagen 4.8).



Imagen 4.8. Cimbrado de primera fase de columna

Fuente: del autor mismo

El proceso de trepado inicia una vez colada la primera fase de cada columna, cada fase con una altura de 3.5 m y con ayuda de una grúa hidráulica con capacidad de 100 toneladas telescópica, y una vez rebasando la altura de la grúa telescópica se utiliza la grúa torre para las columnas más altas, esta cimbra se trepa apoyándose de una instalación de conos (figura 4.4) en la primera fase aprovechando la misma estructura para anclar cada fase.

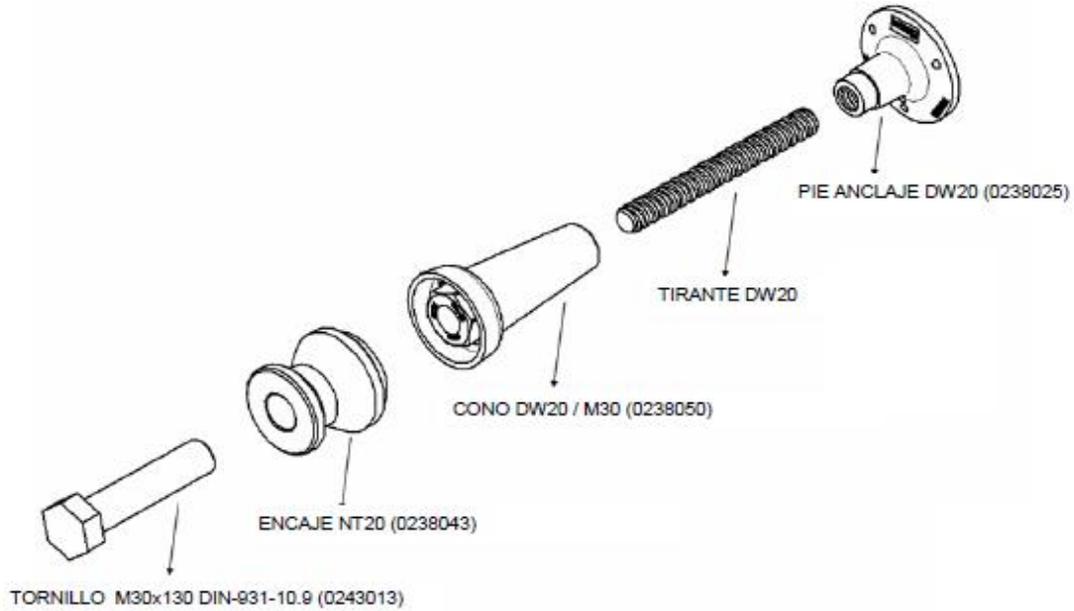


Figura 4.4. Seccionamiento de conos de anclaje.

Fuente: [doka.com/sistema de cimbras/encofrado trepante](http://doka.com/sistema%20de%20cimbras/encofrado%20trepante)

El sistema de cimbra trepante utilizado se encuentra modulada con tres niveles de plataforma de trabajo que son la de colado en la parte superior, la plataforma de armado y cimbrado, la inferior para el detallado de acabado y recuperación de conos como se muestra en la figura 4.9

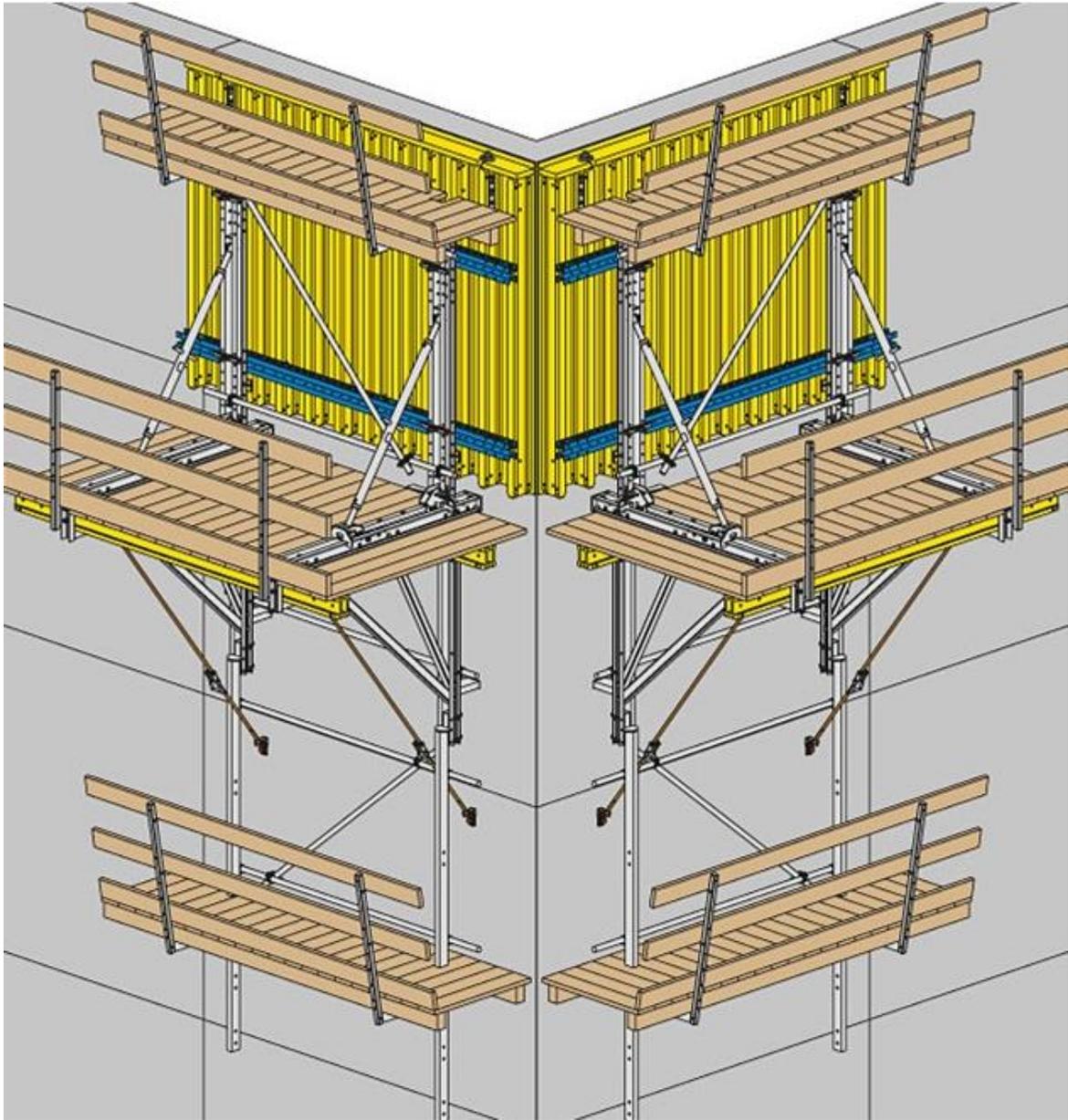


Imagen 4.9. Cimbra trepante.

Fuente: [doka.com/sistema de cimbras/encofrado trepante](http://doka.com/sistema-de-cimbras/encofrado-trepante)

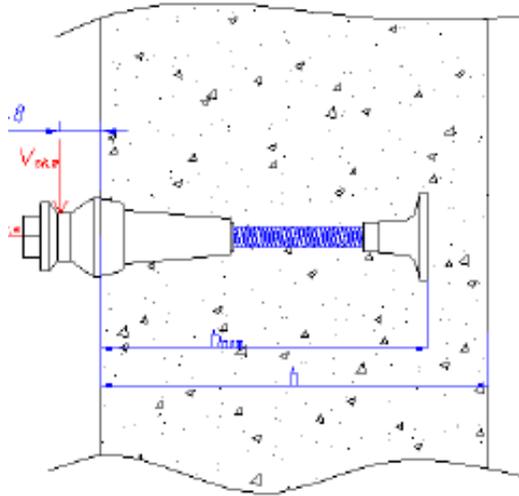


Figura 4.5. Cono de anclaje colado

Fuente: [doka.com/sistema de cimbras/encofrado trepante](http://doka.com/sistema-de-cimbras/encofrado-trepante)

Una vez colocada la cimbra para la fase a colar y revisada por la brigada de topografía de la supervisión para evitar el desplome o la excentricidad se procede a su colado que en los primeros 35 m de altura se realizan con bomba pluma y después de esa altura con bomba estacionaria (imagen 4.10) a través de la tubería fijada a la estructura de la columna.



Imagen 4.10. Colado de columna con bomba estacionaria

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.11. Columnas con cimbra trepante viaducto 4 tramo 1

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.12. Columnas con cimbra trepante viaducto 2 tramo 1

Fuente: del autor mismo

### 2.3.1.3 COLUMNAS CON CIMBRA DESLIZANTE

La Cimbra Deslizante (imagen 4.13) es un procedimiento constructivo que es muy utilizado en estructuras verticales, donde los sistemas de cimbra se elevan apoyándose del mismo concreto hidráulico colocado cuidando el fraguado y así apoyarse en el concreto recién endurecido y ascendiendo todo el sistema de cimbra constantemente en función del colado continuo.



Imagen 4.13. Colado de columna con cimbra deslizando viaducto 2

Fuente: del autor mismo

En el deslizado se llevarán integrados al molde la estructura portante que conformada por perfiles estructurales que forman parte de las plataformas de trabajo (figura 4.6). Estas plataformas servirán y distribuirán para la colocación de acero de refuerzo, la distribución de concreto, embebidos y equipo a utilizar en el deslizado, el sistema hidráulico se encarga de izar el molde metálico de las cuatro caras al mismo tiempo una vez iniciado el colado es continuo con turnos de 12 horas alimentando concreto a través de una torre grúa vaciando el concreto con un contenedor metálico

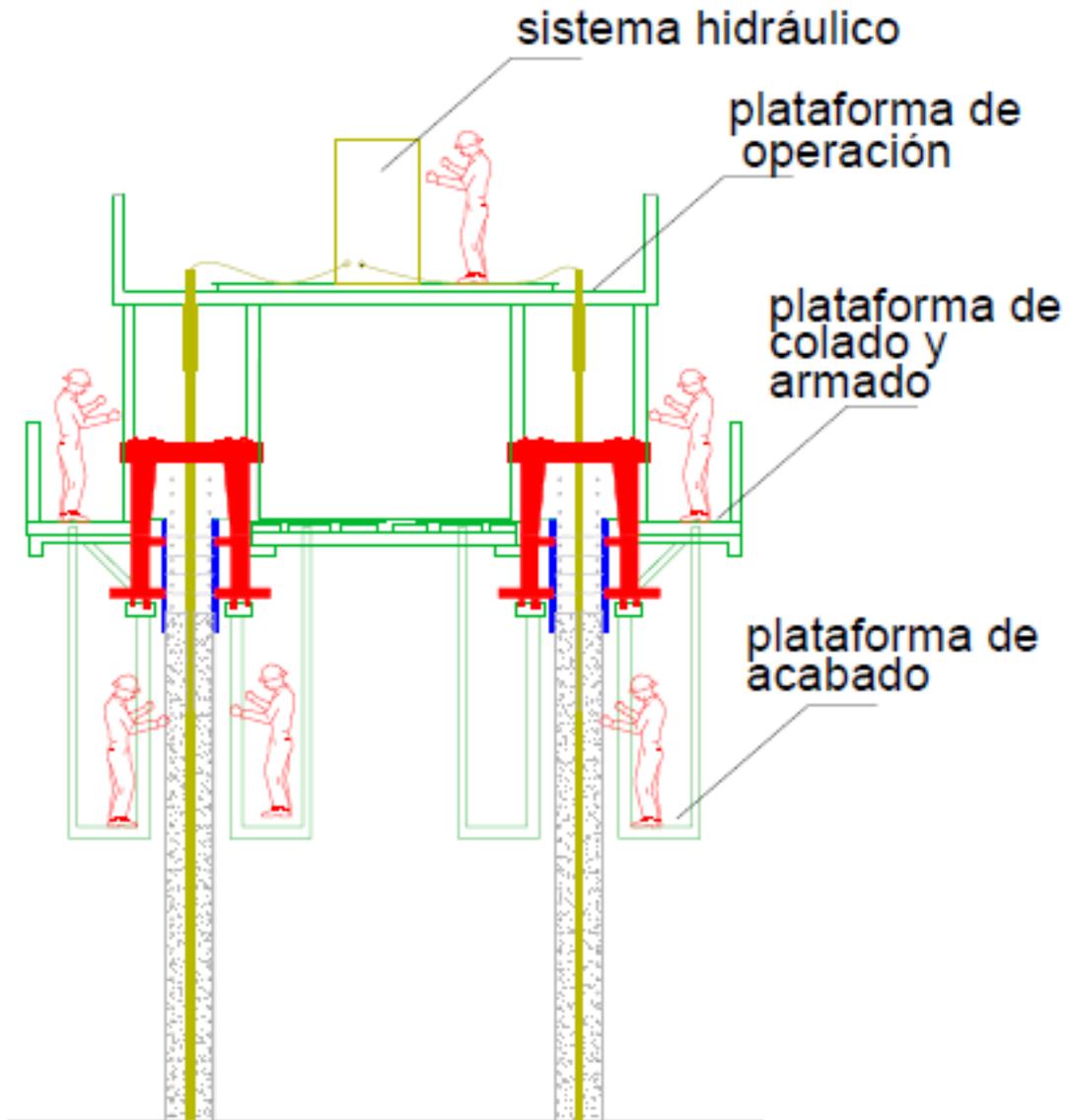


Figura 4.6. Sistema de cimbra deslizable

Fuente: del autor mismo

Una vez colocado el armado de refuerzo en la altura que permiten los yugos que sostienen el molde metálico cuyo armado es simultáneo al deslizado del molde con una velocidad de 10 a 20 cm por hora dependiendo de las condiciones de temperatura y clima.

El vaciado de concreto (imagen 4.14) se realiza una vez en fraguado inicial el concreto de la capa anterior cada capa de 20 cm, se desliza el molde metálico y al momento del vaciado se tienen dispuestos vibradores de inmersión a gasolina y eléctricos para el acomodo del concreto hidráulico con un revenimiento de 18 cm con una resistencia de  $350 \text{ kg/cm}^2$  a las 24 horas.

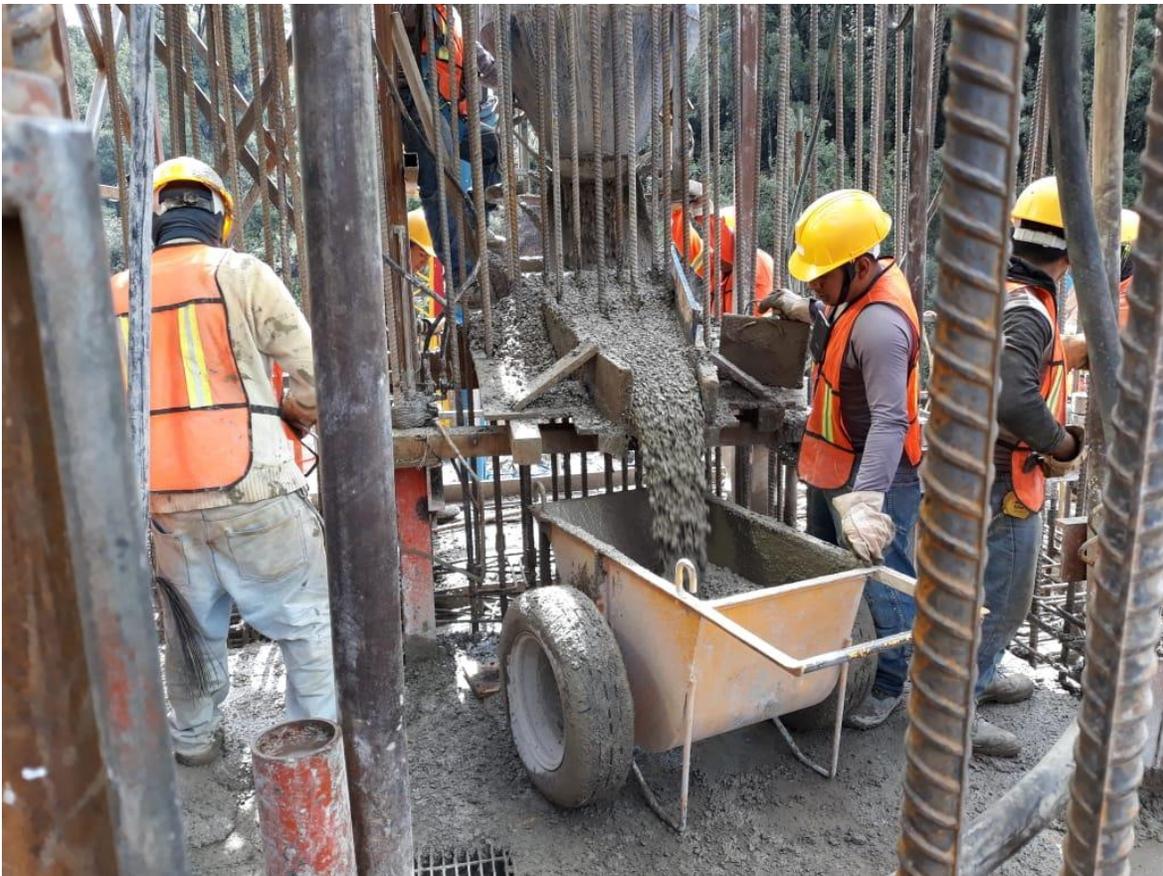


Imagen 4.14. Vaciado de concreto hidráulico en plataforma de trabajo interior

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.15. Plataforma de trabajo exterior

Fuente: del autor mismo

Una vez deslizado el molde simultáneamente a la actividad del colado se le proporciona el acabado con llana manual en la plataforma de acabado tanto en la cara interna como externa para después aplicar una membrana de curado.



Imagen 4.16. Acabado de columna con cimbra deslizable

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.17. Columna 14 del viaducto 4

Fuente: del autor mismo

Conforme al avance de los crecidos de la columna también se tiene dispuesto todo el material para el armado de los andamios de escaleras y mantener siempre al nivel de las plataformas de colado para ascenso y descenso de personal.

El control geométrico de estos elementos se realiza través de una brigada de topografía la cual lleva el registro del deslizado cuidando que la sección no varié de la de proyecto en desplome giro o excentricidad si rebasar las tolerancias permitidas por especificaciones y normativa.



Imagen 4.18. Columna 12 del viaducto 4 altura 54 m

Fuente: del autor mismo

### 2.3.2 CABEZALES.

Un cabezal es elemento estructural que se requiere para concentrar la carga de la losa y traveses hacia la columna al igual que en las columnas los cabezales en este proyecto se dividen dependiendo de la longitud de los claros; en claros de 27 y 32 m con columnas de sección maciza, y en los que tienen claros de 55 y 64 m en columnas de sección hueca donde el cabezal es de las mismas dimensiones que la columna solo que de 3.5 m de altura y de sección maciza como se muestra en el siguiente cuadro sinóptico.

### 2.3.2.1 CABEZALES DE CLAROS DE 27 M Y 32

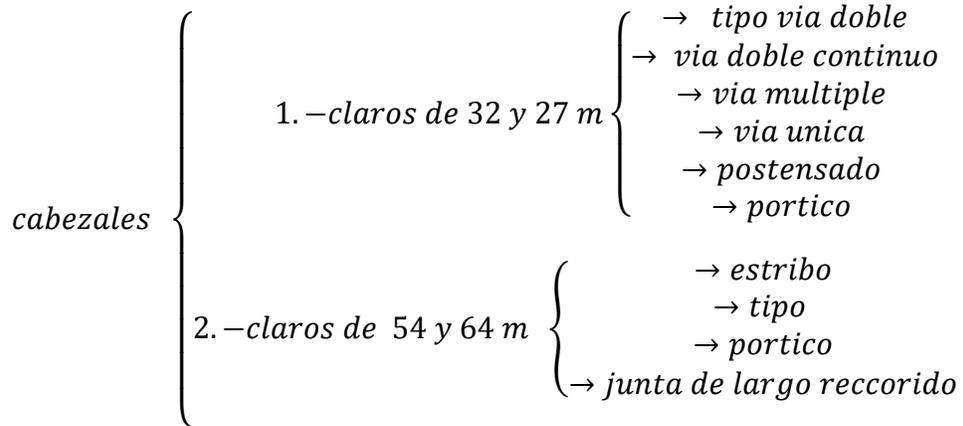


Imagen 4.19. Cabezal de vía doble utilizado en la mayoría de los apoyos con traveses prefabricadas con tope de restricción longitudinal en los aleros

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.20. Cabezal de claros continuos para cruce de Vialidades o cambios de vía con topes de restricción en la cresta.

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.21. Cabezal de vía única en la entrada y salida de estaciones.

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.22. Cabezal de transición de vía única a vía doble.

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.23. Cabezal de vía múltiple para tres traveses.

Fuente: del autor mismo.



Imagen 4.24. Cabezal tipo pórtico.

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.25. Cabezal especial postensado por la excentricidad de las traves.

Fuente: del autor mismo

### 2.3.2.2 PROCESO CONSTRUCTIVO DE CABEZAL

### 2.3.2.3 CIMBRADO

En los claros de 27 m y 32 m una vez colada la columna con al menos el 80% de la resistencia de su concreto hidráulico para continuar con los trabajos, en un cabezal de vía doble se procede a colocar la cimbra comenzando con el apuntalamiento o andamio de carga que es una armadura desmontable la cual se nivela con estabilizadores graduados, después se coloca la plataforma de trabajo con barandales y escalera.

Se colocan los fondos de la cimbra metálica de los aleros a cada lado de la columna esto con ayuda de una grúa y nivelando con la brigada de topografía, se procede a insertar en las varillas que sobresalen de la columna el armado prefabricado como se puede ver en la imagen 4.27

### 2.3.2.4 ARMADO

Para realizar una producción en serie estos armados (imagen 4.26) son fabricados en una planta de habilitado donde se cuenta con los equipos de corte y doblaje de acero de refuerzo ya que debido a las distintas escalas en el acero de refuerzo se requiere de un proceso controlado en las dimensiones de cada estribo y varilla para corresponder con la geometría del proyecto.



Imagen 4.26. Armados prefabricados para cabezal

Fuente: del autor mismo

Estos armados son trasladados al sitio donde son requeridos en un tiempo programado ya que las maniobras en el tramo son controladas debido al poco espacio y a las interferencias con vialidades o con otras maniobras propias de la obra, así mismo evitar que las armaduras se oxiden o contaminen estando a la intemperie más tiempo del necesario.



Imagen 4.27. Izaje de armadura para cabezal de vía doble

Fuente: del autor mismo

Con la ayuda de una grúa hidráulica se realiza el izaje del armado incrustándolo en las varillas de anclaje con la columna, después se colocan las tapas laterales y se sujetan con mordazas a los fondos de la cimbra, cada tapa lateral se sujeta perpendicularmente con espárragos los cuales atraviesan el armado dentro de una vaina de PVC de  $\frac{3}{4}$  "de diámetro para que una vez colado dichos espárragos puedan retirarse, se colocan las tapas de los lados de la cresta se atornillan, se nivela el armado, y se sueldan los disparos de la columna que tienen la continuidad de la tierra física para unirlos a una placa lateral como se puede ver en la imagen 4.28.



Imagen 4.28. Soldadura para dar continuidad a la tierra física

Fuente: del autor mismo

Después se colocan los dispositivos de restricción longitudinal que detienen el movimiento longitudinal de las traveses los cuales se nivelan y se posicionan, estos dispositivos son fabricados con placas de  $\frac{3}{4}$  de pulgada de espesor, también se nivelan el armado de los bancos de apoyo para las traveses

#### 2.3.2.5 COLADO

Para su colado se utilizan un concreto hidráulico de  $350 \text{ kg/cm}^2$  con revenimiento de 18 cm y agregado de  $\frac{3}{4}$ " bombeable y de resistencia rápida a las 24 horas se instala la bomba y se procede a vaciar el concreto hidráulico se vibra por capas de 50 cm para lograr un buen acabado y debido al limitado recubrimiento evitar oquedades cuando el nivel del colado llega a la parte inferior de la cresta se vacía un concreto con menor revenimiento para evitar que salga por los costados se cuele el interior de los topes antisísmicos (imagen 4.29).



Imagen 4.29. Colado de cabezal de vía doble

Fuente: del autor mismo

Cuando alcanza su resistencia a las 24 horas se descimbran las caras laterales, después los fondos de la cimbra, la plataforma de trabajo, el apuntalamiento y se comienza a trabajar en los bancos de apoyo sobre el armado ahogado en el colado del cabezal se fija a un marco metálico el cual se nivela con la tuerca y contratuerca para dar la pendiente al banco de apoyo dicho banco se cimbra y se cuela con un concreto hidráulico de  $350 \text{ kg/cm}^2$  de resistencia rápida así los cuatro bancos de cada cabezal, se limpian las placas de los topes antisísmicos y se aplica resina epoxica para pegar los neoprenos de los dispositivos, también se colocan los neoprenos de la cresta y en los bancos de apoyo como se muestra (imagen 4.30).



Imagen 4.30. Colocación de neoprenos

Fuente: del autor mismo

Los cabezales de vía doble y de vía única son armados prefabricados debido a que su tamaño no requiere transporte especializado como las traveses ya que se pueden trasladar con plataformas convencionales, los de vía múltiple y de transición son armados en sitio debido a sus grandes dimensiones.

Los cabezales vía doble de claros continuos o cambios de vía llevan cuatro toques en la cresta y están unidos por placas, el armado de refuerzo es de mayor diámetro y con concreto de resistencia de 400 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 2.3.2.6 CABEZALES TIPO PÓRTICO

Posteriormente al habilitado de la obra falsa con andamios apoyados sobre las zapatas se arma sobre la cimbra de fondo el acero de refuerzo del pórtico (imagen

4.31) con un arreglo parecido al de una trabe, con estribos rectangulares en el sentido transversal y acero longitudinal al interior del estribo con varillas de 1 ¼” en el lecho inferior y de 1” en el superior. El acero de refuerzo llega habilitado al sitio primero se coloca el acero longitudinal de la parte superior después los estribos rectangulares y por un costado se coloca el acero longitudinal del lecho inferior



Imagen 4.31. Armado de pórtico

Fuente: del autor mismo

Después se instalan los ductos corrugados metálicos dentro del armado de la viga para llevar la instalación del postensado, al interior del ducto se enfilan las familias de torones en el sentido longitudinal y transversalmente otros ductos para las barras de alta resistencia las cuales sirven como refuerzo postensado la ménsula que soportara la trabe (imagen 4.32).



Imagen 4.32. Colocación de tendones y trompetas para postensado

Fuente: del autor mismo

Una vez terminadas todas las instalaciones la supervisión revisa la geometría del pórtico, así como sus niveles con la brigada de topografía y se realiza la previa inspección al colado para revisar todo el elemento ya completo se procede a su colado con concreto bombeable con agregado de  $\frac{1}{2}$ " y con resistencia de 400 kg/cm<sup>2</sup>.

Después de realizado el colado se espera que alcance su resistencia en un periodo aproximado de 24 horas, se retira la cimbra de la salida de los tendones para realizar el postensado de 4 de las 8 familias de tendones colocadas como se muestra en (imagen 4.33) dejando pendientes las otras cuatro para tensar después del colado de la losa del tablero, a estos tendones se les aplica una fuerza de tensado en los anclajes activos de hasta 4692 (kN)



Imagen 4.33. Tensado de tendones

Fuente: del autor mismo

Después se realiza el descimbrado completo del pórtico y se realiza el tensado de las barras de alta resistencia de las ménsulas (imagen 4.34) donde se apoyaran las traves dichas barras son de 32 mm de diámetro y se les aplica una fuerza de tensado de 595 (kN) , después de la colocación de traves y colado de losa se realiza el tensado de los tendones restantes se cortan todas las puntas, se realiza la inyección de tendones con lechada de cemento y se sellan los cajetines para evitar que el acero del postensado quede expuesto.



Imagen 4.34. Tensado de barras de alta resistencia

Fuente: del autor mismo

#### 2.3.2.7 CABEZALES PARA CLAROS DE 55 M Y 64 M

En los viaductos 2 y 4 los tableros son una viga de sección cajón continua por lo que los cabezales absorben los esfuerzos longitudinales de frenado, los cuales en un viaducto ferroviario son mayores que en un viaducto carretero. en estos claros los cabezales cuentan con un armado de refuerzo para los topes antisísmicos los cuales son laterales al cabezal y los apoyos donde descansaran los tableros que son un sistema de apoyo esférico.

Una vez llegando al nivel de desplante del cabezal en la sección hueca de la columna se procede a colocar las tabletas prefabricadas sobre una ménsula colada en el último trepado en la parte interna de la sección de la columna, junto

al acero de refuerzo de las esperas de varilla que unen la columna con el cabezal una vez colocadas las tabletas prefabricadas, se realiza el armado de cabezal, se cimbra y se cuela la primera fase con un concreto de  $350 \text{ kg/cm}^2$  a 2 m de altura y la segunda fase con un concreto de  $450 \text{ kg/cm}^2$  para colocar sobre este los apoyos esféricos los cuales durante su servicio serán revisados desde el hueco de inspección colocado al centro del cabezal, los topes antisísmicos se colaran después del retiro de la autocimbra.



Imagen 4.35. Armado de refuerzo con ductos para el paso de barras de alta resistencia que sostienen los topes antisísmicos laterales

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.36. Armado de refuerzo de la segunda fase de cabezal con las preparaciones para los bancos de los apoyos esféricos y el hueco de inspección

Fuente: del autor mismo

Los apoyos esféricos son dispositivos mecánicos que transmiten cargas verticales y horizontales desde el tablero a la columna, los cuales admiten movimientos de rotación y desplazamiento horizontales en caso de sismos, en la estructura. Esto dependiendo de su capacidad para la compensación de desplazamientos y para transferir los esfuerzos horizontales, en este viaducto se encuentran en dos tipos:

Deslizante guiado: El apoyo es ajustado a los desplazamientos en un eje y transfiere las fuerzas horizontales externas hacia el otro, permitiendo movimientos de rotación

Deslizante libre: El apoyo es ajustado a los desplazamientos en ambos ejes, y con libertad en las rotaciones y no se transfieren las fuerzas horizontales.

Los cuales son colocados en pares uno de cada tipo en cada cabezal.



Imagen 4.37. Apoyo esférico guiado

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.38. Cabezal terminado viaducto 4

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.39. Cabezales listos para recibir autocimbra.

Fuente: del autor mismo

### 2.3.3 TRABES

#### 2.3.3.1 TRABES PREFABRICADAS

Una trabe es el elemento estructural que permite cubrir los claros entre apoyos de forma horizontal siendo estas las que soportan las cargas vivas del paso del tren y cargas muertas de losa para transmitir las hacia el cabezal. Las trabes del proyecto son fabricadas en diferentes plantas especializadas en la producción de este tipo de elementos prefabricados debido a la cantidad que se requieren para el proyecto estas plantas se ubican en distintos lugares del estado de México existen varios tipos de trabes: Vía doble, Vía doble de claros continuos y Vía única

Estas trabes son pretensadas el acero transversal son estribos en forma de artesa y el acero longitudinal son tendones los cuales son pre tensados, estas trabes son coladas con un concreto de  $500 \text{ kg/cm}^2$ , agregado de  $\frac{1}{2}$ " y un acabado espejo estas trabes tienen en sus extremos las preparaciones para los pasos de barras del diafragma que serán colocadas después de montadas también cuentan con una placa metálica en cada extremo sobre las cuales quedan apoyadas, estas placas tienen una pendiente particular dependiendo del apoyo al que están destinadas, para el izaje de la trabe en cada extremo tienen un cable tipo boa el cual queda colado en la trabe.

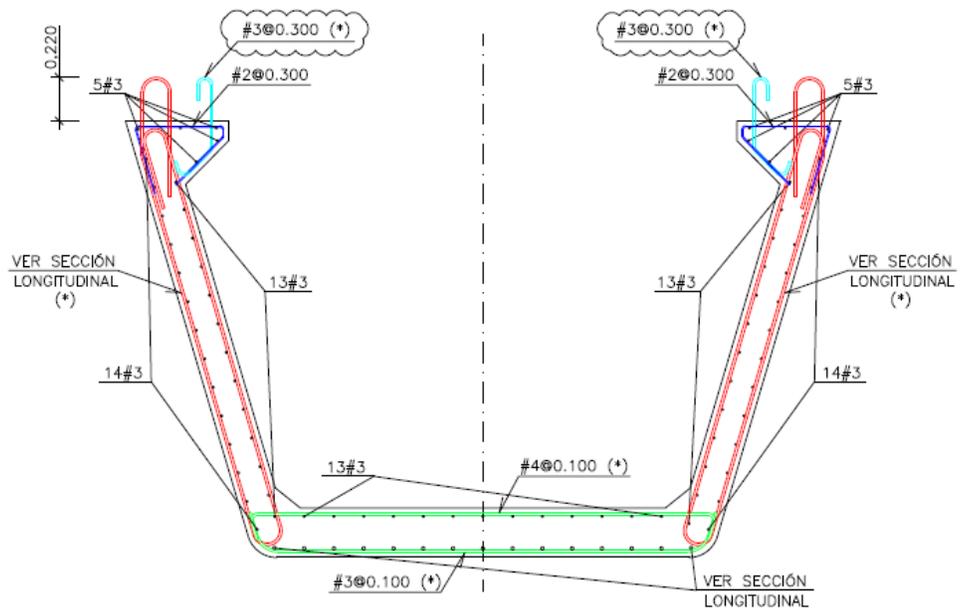


Figura 4.7. sección transversal de trabe con acero de refuerzo

Fuente: proyecto ejecutivo Sener

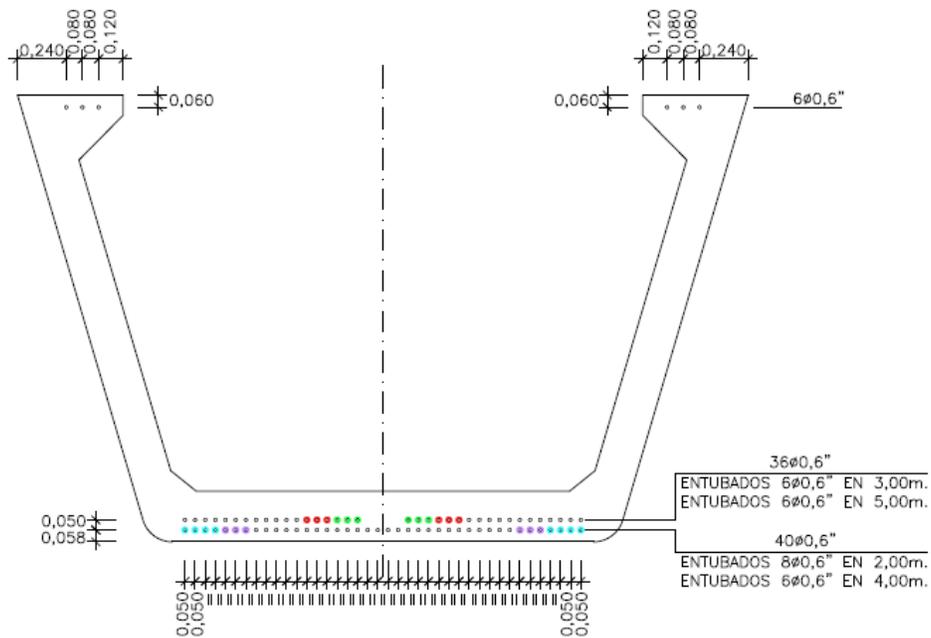


Figura 4.8. sección transversal de trabe con acero de presfuerzo

Fuente: proyecto ejecutivo Sener



Imagen 4.40. Armado de refuerzo de trabes

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.41. Colocación de tendones para pretensado

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.42. Moldes para colado trabes

Fuente: del autor mismo

Una vez que el concreto de la trabe tiene el 100% de su resistencia se rotula el tipo y el claro para la que está fabricada ya que las pendientes de la placa de apoyo varían para garantizar la curva vertical y la horizontalidad de los neoprenos en el cabezal. Dicha trabe se almacena a la espera de su traslado a la obra una vez concluidos los apoyos donde será montada.



Imagen 4.43. Almacenamiento de trabes coladas

Fuente: del autor mismo

Para el traslado de las trabes se ocupa un transporte especializado el cual se compone por dos tractocamiones y dos plataformas articuladas, se colocan una plataforma en cada extremo de la trabe y un camión jala en el extremo frontal y el otro empuja en la parte trasera, las plataformas son articuladas para realizar giros y maniobras en el más reducido espacio posible, la ruta de traslado se analiza de acuerdo las dimensiones y a las interferencias con el tráfico desde la planta hasta llegar a la obra.

Una vez que llega a la obra se inspecciona la trabe para detectar si sufrió algún daño durante el traslado si se encuentra sin ninguna anomalía se procede a realizar su montaje.

El transporte se realizará en horario nocturno, al igual que su izado y colocación sobre las columnas de los tramos sobre vialidades existentes, el tráfico se cortará completamente en un sentido en periodo teórico que abarcará desde las 11 horas

hasta las 6 horas, quedando restituido el tráfico una vez montada la trabe y retirada la señalización de corte del tránsito.

### 2.3.3.2 MONTAJE

#### Montaje de traveses de vía doble claros de 27 y 32 m

Al completar la resistencia a la compresión de los bancos de apoyo en los cabezales y colocados los neoprenos con el nivel de cada apoyo se encuentran listos para recibir las traveses

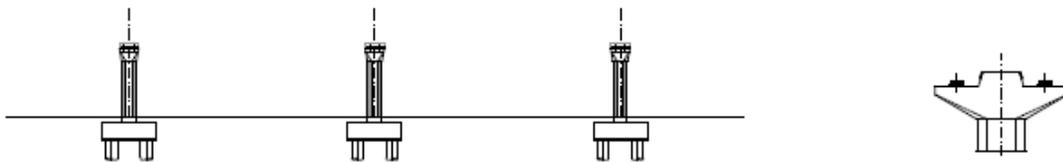


Figura 4.9. Claros entre bancos de apoyos  
Fuente: proyecto ejecutivo Sener

El montaje se realiza con dos grúas telescópicas de 500 toneladas se coloca la trabe 1 con todos los elementos provisionales para asegurar la estabilidad de la trabe.

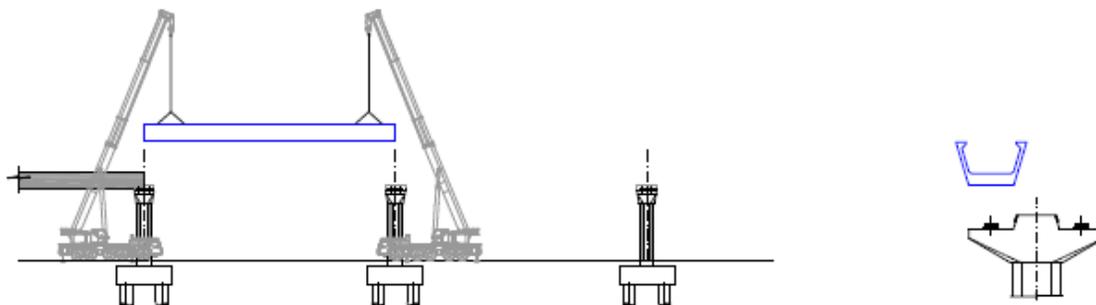


Figura 4.10. Montaje de trabe 1  
Fuente: proyecto ejecutivo Sener



Imagen 4.44. Montaje de trabe 1

Fuente: del autor mismo

Una vez izada y colocada sobre los neoprenos se revisa su posición mediante dos brigadas de topografía para lograr los radios de curvatura horizontal y su alineación en los tramos rectos, si la maniobra lo requiere las grúas se vuelven a posicionar para el izaje de la trabe 2 y así completar el claro.

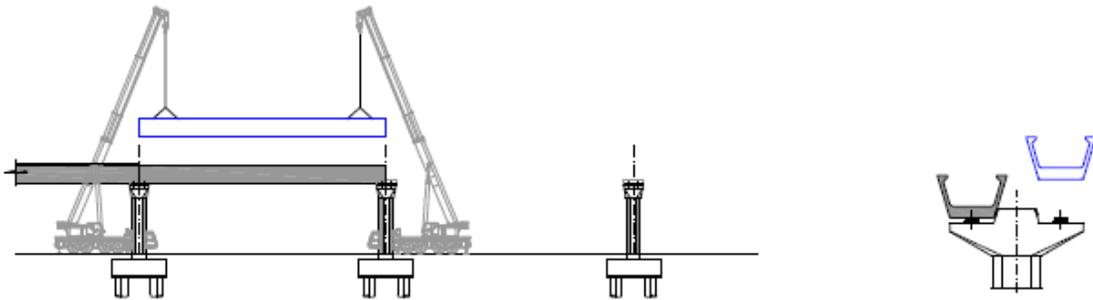


Figura 4.11. Montaje de trabe 2

Fuente: proyecto ejecutivo Sener



Imagen 4.45. Montaje de traves vía doble  
Fuente: del autor mismo

Montaje de traves en claros continuos

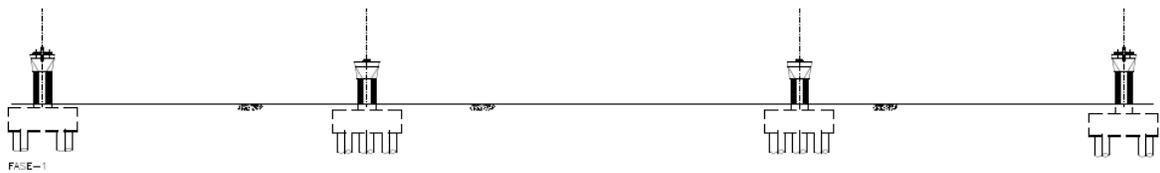


Figura 4.12. Claro continuo  
Fuente: proyecto ejecutivo Sener

Una vez terminados los 4 apoyos con los bancos de apoyo colados, neoprenos colocados y el apeo provisional terminado se procede a iniciar el montaje

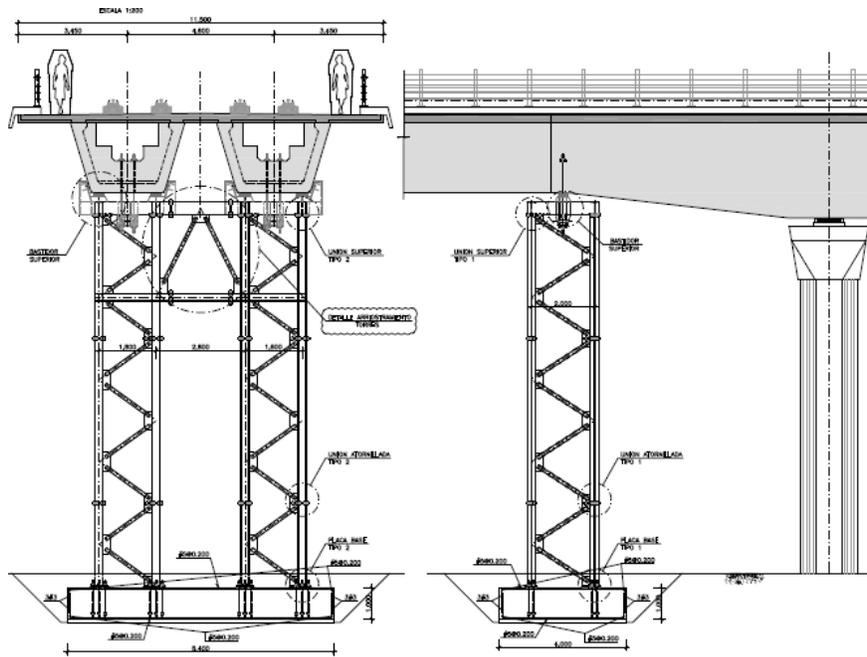


Figura 4.13. Apeos provisionales

Fuente: proyecto ejecutivo Sener

El apeo provisional es una estructura metálica apoyada en una zapata de 1 m de altura la cual ayuda a sostener las traves que quedan en cantiléver que son las traves tipo 1 evitando el volteo de estas

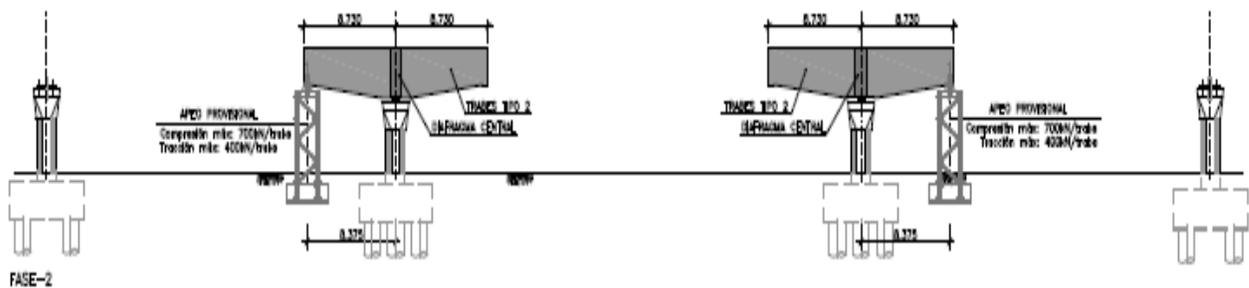


Figura 4.14. Posición de traves tipo 1

Fuente: proyecto ejecutivo Sener



Imagen 4.46. Montaje de traveses tipo 1 de claros continuos

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.47. Montaje de segunda traveses tipo 1

Fuente: proyecto ejecutivo Sener

Para el montaje de las traveses tipo 1 se utiliza solo una grúa de 500 toneladas para realizar la maniobra del montaje una vez colocada sobre el banco de apoyo del cabezal y sobre el apeo provisional se asegura la trabe con barras de tipo Gewi de alta resistencia con tuercas y placas para nivelar, se colocan neoprenos en los extremos para recibir las tablas tipo 2 (imagen 4.48).



Imagen 4.48. Colocación de neoprenos y aseguramiento de con barras tipo Gewi

Fuente: del autor mismo

Para el montaje de las traveses tipo 2 (Figura 4.15) se realiza con dos grúas para realizar la maniobra del montaje colocando la trabe sobre la trabe tipo 1 apoyada en el apeo provisional y el otro extremo sobre el banco de apoyo del cabezal.



Figura 4.15. Trabes tipo 2

Fuente: proyecto ejecutivo Sener



Imagen 4.49. Montaje de trabe tipo 2

Fuente: del autor mismo

Al término de la colocación de las 4 trabes tipo 1 y las 4 trabes tipo 2 se procede a colocar las trabes tipo 3 al centro del claro apoyadas en ambos extremos en las trabes tipo 1 como se muestra en la figura 4.16

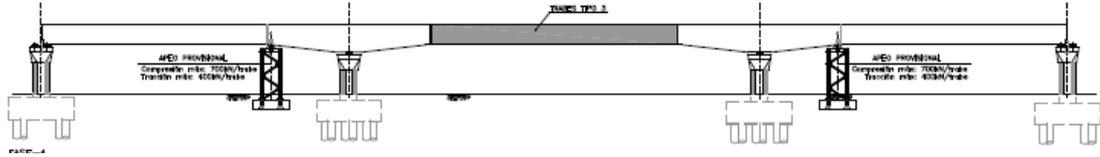


Figura 4.16 trabes tipo 3.

Fuente: proyecto ejecutivo Sener



Imagen 4.50. Claro continuo completo de trabes

Fuente: del autor mismo

### Montaje de Trabes vía única

Las trabes de vía única son más pesadas que las trabes de vía doble debido a que son de mayor sección y tienen los diafragmas colados integrados, estas trabes van apoyadas sobre dos bancos de apoyo a diferencia de las de vía doble que van sobre un solo banco de apoyo en cada extremo (Figura 4.17).

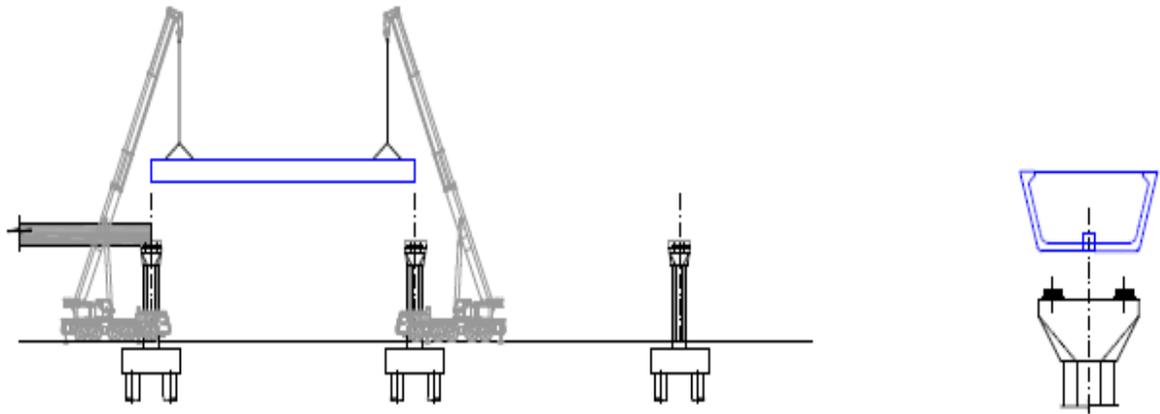


Figura 4.17. montaje de trabe vía única

Fuente :proyecto ejecutivo Sener



Imagen 4.51. Montaje de traveses de vía única

Fuente: del autor mismo

#### 2.3.4 DIAFRAGMAS

En los claros de 27 y 32 m el diafragma es un elemento con el cual se unen ambas traveses para que estas trabajen como un solo tablero, en los claros de vía doble una vez montadas ambas traveses se procede a realizar el armado de refuerzo para el diafragma con acero del número 4 (figura 4.18) que se complementa con el ya colado en el extremo de las traveses estas tienen un orificio a los costados por el cual se introducen una barras tipo Gewi de alta resistencia de 32 mm de diámetro (imagen 4.53) las cuales van unidas por un manguito al centro y al extremo de las barras tienen una placa y una contratuerca las cuales soportarán la mayoría de esfuerzos para mantener unidas ambas traveses



Imagen 4.52. Armado de refuerzo para diafragma vía doble

Fuente: del autor mismo

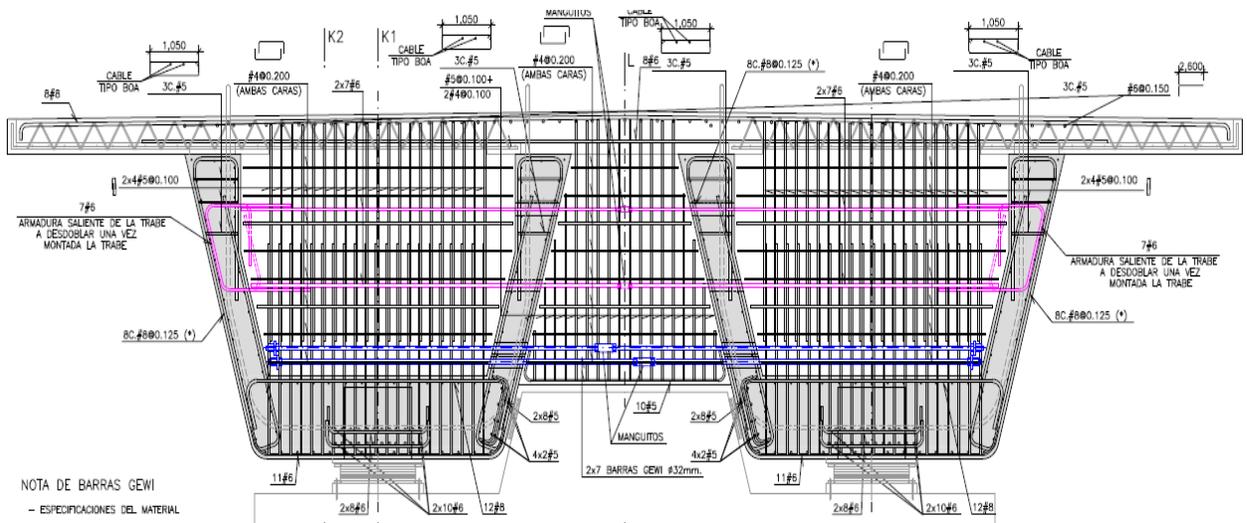


Figura 4.18. armado de diafragma  
Fuente: proyecto ejecutivo Sener



Imagen 4.53. Barras Gewi con placas tuercas y contratueras para unir las trabes transversalmente

Fuente: del autor mismo

Una vez terminado el armado se procede a cimbrar en ambas caras el diafragma con un acabado común se tapan los orificios en la trabe y se coloca una placa de

2 cm de espesor de aglomerado para evitar la fricción entre la cresta del cabezal y la pirámide central del diafragma así evitar que se comporte como una estructura hiperestática. Para su colado con un concreto bombeable de 300 kg/cm<sup>2</sup> y revenimiento de 18 cm para acomodo se utilizan un par de vibradores para concreto y una bomba para alcanzar la altura de la posición de las traveses como se muestra en la imagen 4.54.



Imagen 4.54. Colado de diafragma de vía doble.

Fuente: del autor mismo

Los diafragmas para las losas continuas donde se tiene un cambio de vía del tren tienen un refuerzo adicional en sentido longitudinal al viaducto ya que se mantienen unidas no solo la trabe paralela si no también las traveses continuas esto con barras Gewi las cuales una vez colado el diafragma junto con la losa se les

aplica una fuerza de torque, los diafragmas de claros continuos se cuelan siempre junto con la losa de compresión.



Imagen 4.56. Diafragma de claro continuo con barras Gewi para unir las traves en sentido longitudinal

Fuente: del autor mismo

### 2.3.4.1 TABLETA PREFABRICADA

Las tabletas realizan la función de una cimbra para soportar la colocación del concreto durante el colado de la losa, estas tabletas tienen un acabado aparente en la parte inferior y rugoso en la parte superior para tener la adherencia con el concreto de la losa y que dichas tabletas, una vez endurecido el concreto trabajen como parte de la losa.

Al termino de los diafragmas se procede a colocar la tableta prefabricada esta se traslada en camiones desde las plantas de prefabricados al llegar al sitio se colocan sobre las traveses iniciando por las tabletas centrales y posteriormente se colocan las de los extremos las tabletas prefabricadas también funcionan como cimbra y refuerzo de la losa de compresión ya que tiene una armadura la cual quedara colada en conjunto con el acero de refuerzo de la losa las tabletas prefabricadas en tramos rectos todas son de la misma longitud pero en tramos curvos sus longitudes varían dependiendo del radio de curvatura.

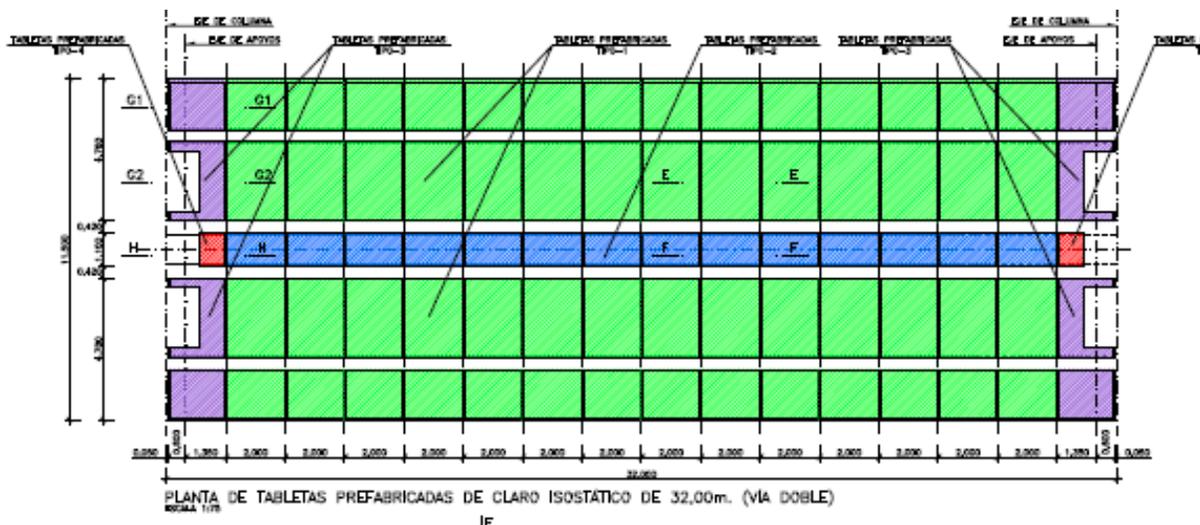


Figura 4.19. Tablet as prefabricadas de claros isostáticos

Fuente: proyecto ejecutivo Sener



Imagen 4.57. Colocación de tabletas prefabricadas vía doble en claros isostáticos  
fuente: video ejecutivo trekant

Las tabletas prefabricadas de los claros continuos tienen ventanas por las cuales se introducirá el acero del sistema de postensado que se colocará durante el armado de la losa de compresión en un arreglo como el de la figura 4.20.

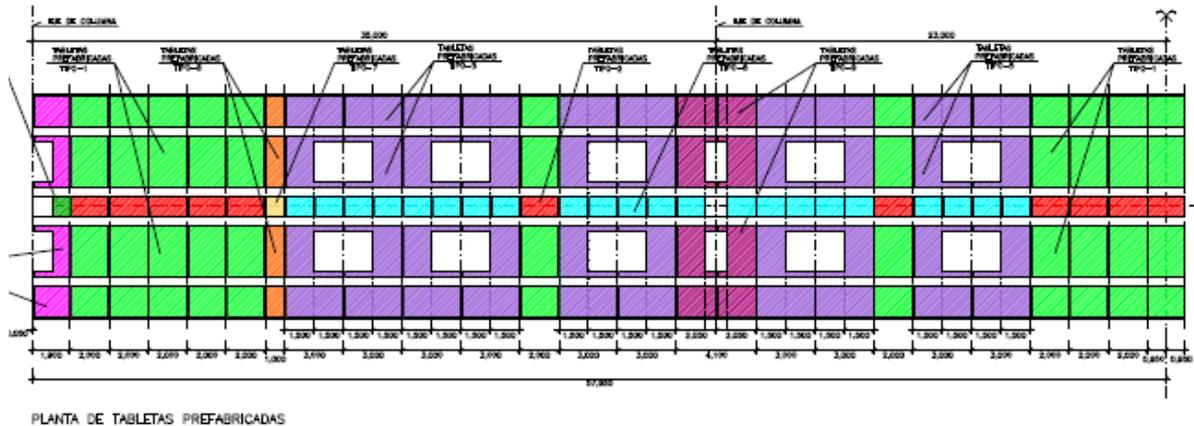


Figura 4.20. Tablet as prefabricadas de claros continuos

Fuente: proyecto ejecutivo Sener



Imagen 4.58. Ventanas en tabletas de claros continuos

Fuente: del autor mismo

### 2.3.5 LOSA DE COMPRESIÓN.

La losa de compresión es el elemento estructural encargado de recibir las cargas de la vía, distribuyéndola y trasmitiéndola hacia las trabes, una losa de claro continuo se ejecuta en etapas, una vez colocadas las tabletas se procede a cimbrar las ventanas donde se colocara el anclaje del acero de presfuerzo dicha ventana con una pendiente donde instala los ductos para el acero de presfuerzo a través de la trayectoria indicada en el proyecto una vez colocada la tubería se procede al armado de acero de refuerzo de la losa , así como la instalación de tierra física, posteriormente se realiza el enfilado de los cables de acero de presfuerzo después se revisan los ductos para evitar que se contaminen durante

el proceso de colado y se procede a realizar el colado de la primera etapa (imagen 4.59) dejando una junta constructiva de 45° para la segunda etapa a todo lo largo de la losa en el caso de la parte en voladizo al principio y final del tablero.



Imagen 4.59. colado de primera etapa de losa continua

Fuente: del autor mismo

La segunda etapa consiste en colar los extremos laterales donde posteriormente se colarán las banquetas, cuando el concreto de la primera etapa alcanza una resistencia del 80%, ya que las tabletas de la primera etapa tienen los huecos de las ventanas del anclaje de presfuerzo y si se realizará en una sola etapa se tendría más peso en el voladizo que en el centro y provocaría fisuras en el concreto colocado en la losa central.

Una vez coladas la etapa 1 y 2 se colocan los platos de anclaje para anclar los extremos del acero de presfuerzo se tensan del lado activo con un gato hidráulico multitorón (ver imagen 4.60), una vez tensados todos los tendones se procede al corte del exceso en las puntas de los cables se cubren los anclajes con un cajetín de concreto de la misma resistencia que la losa y cuando alcanza la resistencia se procede a realizar la inyección con lechada de cemento esto para recubrir todo el acero de presfuerzo y evitar la corrosión durante el proceso de inyección se verifica que cada ducto que completamente lleno con las mangueras que se usan como testigo a lo largo del tendón y en el extremo opuesto a la inyección y comparando con el volumen teórico y a la presión del manómetro en la maquina inyectora.



Imagen 4.60. Gato hidráulico multitorón

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.61. Tendones de losa tensados

Fuente: del autor mismo

Una vez inyectados todos los ductos se limpia el interior de las traveses de residuos de lechada y cimbra para proceder a colocar las tabletas de los extremos del claro continuo para cerrar los accesos al interior de la trabe, se coloca el acero de refuerzo sobre estas últimas tabletas y se cuela la tercera etapa con concreto de la misma resistencia que las etapas 1 y 2.

Una vez colada la última etapa se colocan los faldones se alinean y se sueldan al acero de refuerzo que se encuentra colado en la losa para continuar con el armado de la banqueta se cimbran las banquetas (imagen 4.62) y se cuelean posteriormente se colocan las rejillas pluviales y se realiza la conexión de tierra física de la losa a las traveses, y de las traveses al cabezal por último se coloca la junta de dilatación que lleva entre cada tablero.



Imagen 4.62. cimbrado para banquetas

Fuente: del autor mismo

una losa de claro isostático de 32 o 27 m se ejecuta una vez montadas las tabletas sobre la trabe se procede a colocar el acero de refuerzo que entrelaza con el acero de la armadura de las tabletas, el acero de refuerzo en estas losas va desde varillas del número 4 hasta varillas del 8, se colocan las varillas que funcionan como anclaje para los plintos donde se apoyara el riel del tren, además de la colocación del anclaje para los postes de catenaria ver imagen 4.63.

una vez completado el armado de acero de refuerzo se procede al colado con una bomba pluma con concreto de  $350 \text{ kg/cm}^2$  de resistencia normal como se muestra en la imagen 4.64.



Imagen 4.63. Armado de acero de refuerzo de losa de claro isostático

Fuente: del autor mismo.



Imagen 4.64. Colado de losa de claro isostático 32 m

Fuente: del autor mismo

### 2.3.6 TABLEROS CONTINUOS CON AUTOCIMBRAS

A través de las construcciones de los últimos años en líneas férreas de alta velocidad se ha desarrollado la tecnología alrededor de nuevos procesos constructivos eficientes como lo son el uso de cimbras autolanzables para la construcción de los tableros de los viaductos.

El tablero es un conjunto de traveses y losa que en su longitud es continuo porque no presentan juntas constructivas y permite distribuir las cargas de la vía hacia las columnas.

La cimbra es el conjunto de elementos estructurales y de contención provisional para soportar las estructuras definitivas durante su proceso de ejecución hasta que las estructuras alcancen la resistencia necesaria para soportarse por sí misma. La cimbra autolanzable tiene la particularidad de poder cambiar de posición a través de sus propios sistemas, esta autonomía hace referirse a estas cimbras con el término autocimbra por lo cual en este trabajo utilizaremos este término para su referencia.

Las autocimbras son un conjunto de equipos que actúan como una estructura para sostener la estructura definitiva estáticamente, estos equipos y estructuras provisionales interactúan estructuralmente con el viaducto en construcción por lo que los criterios de seguridad son prioridad en ambas estructuras.

#### 2.3.6.1 ANALISIS HISTORICO DEL USO DE AUTOCIMBRAS

Los primeros puentes con el uso de autocimbras fueron en Alemania en los años 1950. Con autocimbras de vigas de celosía para soporte del encofrado y vigas de sección completa independientes únicamente para el lanzamiento como se muestra en la imagen 4.65



Imagen 4.65. kettiger Hangbrücke (andernach) 13 claros de 39.2m de sección cajón con cimbra autolanzable que desdoblaba la estructura de avance y la de encofrar cada claro 1959.

Fuente: Emilio Herrero J. 2007 Madrid España Manual de cimbras autolanzables

Simultáneamente se fueron desarrollando otros sistemas de autocimbra simplificando el uso de un solo sistema de vigas que soportara todos los sistemas bajando los costos de inversión y dejando atrás el uso de vigas de lanzado y vigas de encofrado por separado, además se fueron creando empresas dedicadas a la investigación y desarrollo del uso de autocimbras

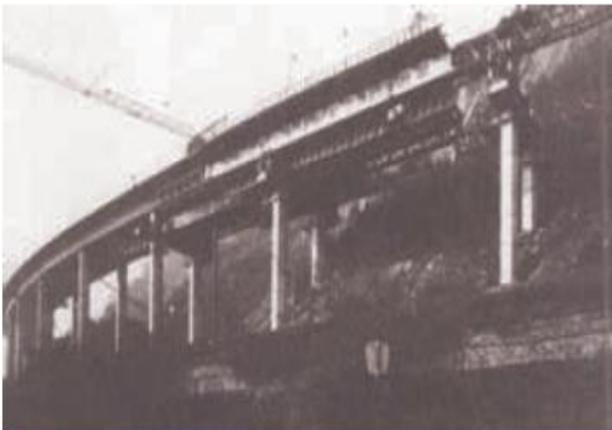


Imagen 4.66. Kranhnenberg viaduct (Alemania) 1100 m de viaducto con 34 claros de 31.75 m Hans Wittfoht 1961

Fuente: Emilio Herrero J. 2007 Madrid España Manual de cimbras autolanzables

Durante la década siguiente el uso de autocimbras comenzó a ser mas frecuente llevando su desarrollo a claros cada vez de mayor longitud y fue hasta la década de los años 1970 que las autocimbras se comenzaron a usar en otros países fuera de Alemania.



Imagen 4.67. Viaducto de Eitzal (Alemania) de Ulrich Finsterwalder 37.5 m de claro tablero tipo losa postensada de sección variable 1966

Fuente: Emilio Herrero J. 2007 Madrid España Manual de cimbras autolanzables



Imagen 4.68. Döllbachtal Viaduct de hans Wittfoht vanos de 46 m claro. claro de 70 con apeo intermedio.

Fuente: Emilio Herrero J. 2007 Madrid España Manual de cimbras autolanzables

En el año 1973 se comienzan a utilizar en España para puentes de vialidades y posteriormente en líneas férreas de alta velocidad en las que se emplean la mayoría de las veces para soportar viaductos con claros que van de los 45 m a los 66 m



Imagen 4.69. Supresión paso a nivel Gerona (1973) proyecto Carlos Fernández casado: UTE dragados –Huarte autocimbra Mecanotubo claros de 20m y ciclo de 6 días por vano

Fuente: Emilio Herrero J. 2007 Madrid España Manual de cimbras autolanzables

En México se utilizó en el puente Tarango en el eje 5 poniente de la Ciudad de México en el 2004, en el puente Albatros en Iázaró cárdenas Michoacán en el 2007 y en el puente Plaza Cristal en Xalapa Veracruz.



Imagen 4.70. Puente Albatros, mexicana de Presfuerzo

Fuente: mexpresa.com



Imagen 4.71. Puente plaza cristal, mexicana de Presfuerzo

Fuente: mexpresa.com

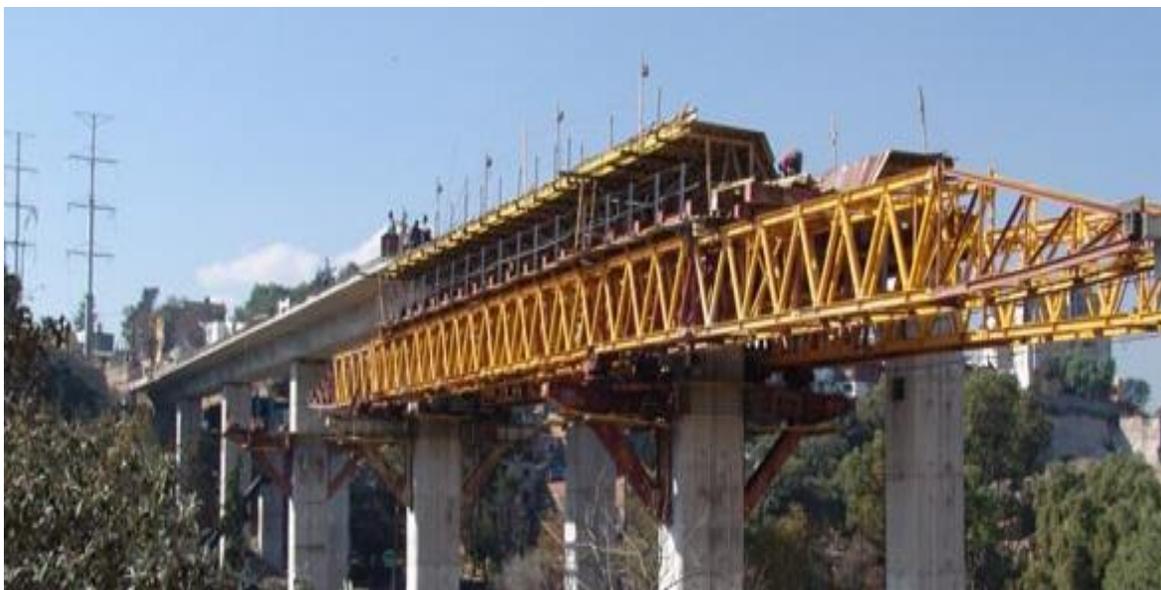


Imagen 4.72. Puente Tarango, mexicana de presfuerzo.

Fuente: mexpresa.com

Para el tren interurbano México Toluca en los viaductos 2 y 4 se dispusieron a ejecutar el viaducto con claros de 55 y 64 m respectivamente, estos claros se cimentaron con zapatas que llevan de 12 a 16 pilas dependiendo del tipo de suelo, para una zapata de rectangular de 9 m por lado y de 3.5 m de altura con columnas de sección rectangular hueca con un cabezal macizo de la misma geometría con las preparaciones correspondientes para la autocimbra en la parte superior del cabezal se dispone a utilizar apoyos esféricos para que soportaran la trabe continua de sección hueca.

#### 2.3.6.2 AUTOCIMBRA EN VIADUCTO 4

En el viaducto 4 en la zona de la Marquesa se compone de 24 apoyos incluidos los estribos en el apoyo 1 y 24 donde se ubican las juntas de largo recorrido con los amortiguadores de 35 cm de recorrido para absorber los movimientos longitudinales del tablero continuo este tablero se colará 23 fases. Con un apoyo delta a la mitad del viaducto en el apoyo 13 para absorber los esfuerzos de frenado del tren, en este viaducto se implementó el uso de la autocimbra de última generación llamada M-64-I para ejecutar en un principio los 23 claros del viaducto

4 y por problemática social se realizaron solo 15 y los 8 restantes se realizaron la Autocimbra C-60 de mecanotubo

### **Cimbra autolanzable M64-I**

El M64-I es una cimbra autolanzable bajo tablero que fue desarrollada para construir tableros de puentes de concreto hidráulico armado con claros de hasta 64 metros de claro. La estructura resistente está formada por dos cajones metálicos en celosía y un conjunto de cables de pretensado controlados activamente por un sistema de pretensado orgánico (OPS, por sus siglas en inglés) durante la fase de colado. Es una solución estructural en que los cables de pretensado se van tensando progresivamente a medida que la carga de concreto va solicitando a la estructura. Durante la fase de avance los cables están desactivados y la estructura se comporta como una estructura de celosía común.

El sistema OPS patentado a nivel mundial y de uso exclusivo de la empresa fabricante, es un sistema de control de deformaciones que permite desarrollar cimbras más ligeras funcionales y seguras. El sistema OPS es una forma de pretensado adaptativo, en el que las fuerzas aplicadas se ajustan automáticamente a las cargas actuantes para reducir las deformaciones y minimizar las tensiones. Los elementos fundamentales del sistema OPS son los siguientes: el actuador en el anclaje activo, los cables de pretensado no adherentes, las escoras de desvió y las respectivas sillas de desvió, sensores y sistema de control. Además de estos elementos el sistema OPS incluye diversos sistemas de seguridad tales como sistemas de vigilancia con sistemas y alarmas.

Las estructuras con OPS están diseñadas en estado limite ultimo para el funcionamiento pasivo del sistema OPS, lo que significa que la seguridad estructural está garantizada en caso de avería del sistema OPS.

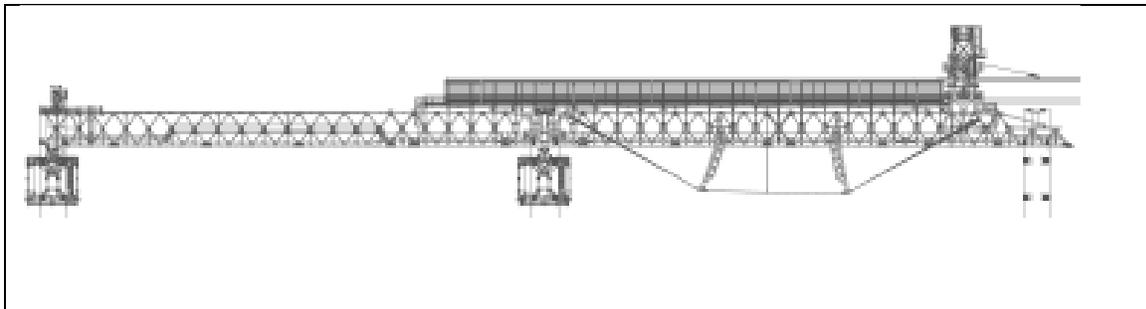
La deformación a medio claro es la principal variable de control y se mide a través de sensores instalados en posiciones estratégicas de la estructura. La información recibida es transmitida al sistema de control y procesada según el algoritmo que decide si mantiene o modifica la fuerza de pretensado.

Las dos celosías principales están conectadas entre sí por dos tipos de estructuras transversales. En la zona de la columna delantera y en la parte trasera de la cimbra existen estructuras transversales conectadas rígidamente a las cuerdas de las celosías principales (estructuras transversales altas). Estas estructuras, además de servir de apoyo al encofrado, sirven para equilibrar las torsiones existentes en las celosías principales que ocurren debido a la gran excentricidad de la carga de concreto y del apoyo delantero. En la zona corriente de la cimbra existen estructuras transversales simplemente apoyadas en las celosías principales. Estas estructuras tienen la función de transmitir la carga de concreto a las celosías principales.

El anillo trasero proporciona el apoyo trasero de la cimbra M64-I esta estructura está constituida por dos elementos verticales que sirven de apoyo a las celosías principales, que a su vez apoyan en un elemento estructural horizontal. Este último elemento está apoyado en la fase de colado en el voladizo del tablero previamente construido a través de unas piernas metálicas. Durante el avance todo el conjunto del soporte trasero se apoya en rollers que permiten el movimiento de toda la estructura al vano siguiente.

Durante la fase de avance, además del apoyo trasero que se describe en el párrafo anterior, existen dos apoyos más. Cada uno de estos apoyos se materializa por un par de ménsulas pretensadas en las columnas del viaducto. Sobre cada ménsula está apoyado un bogie que incorpora a cuatro rollers para permitir el movimiento de toda la estructura.

Una de las particularidades de esta cimbra es la capacidad de transportar y montar las ménsulas a los claros siguientes de forma autónoma.



Tipología de la cimbra	Cimbra autolanzable inferior
Claros	64 metros
Peso Maximo del tablero	Peso medio de 29.2 t/m
Inclinación longitudinal máxima (sentido descendiente)	1.53%
Inclinación transversal	0%
Radio mínimo del tablero	-
Viento máximo durante el colado	40 km/h
Viento máximo durante el avance	40 km/h
Viento máximo con la cimbra bloqueada y sin carga (tormenta)	160 km/h
Máxima deformación de la cimbra a medio claro (diferencia entre la cota del medio vano y la línea que une los apoyos extremos) en un tramo corriente de 4/5 +1/5	35 mm
Tipo de locomoción longitudinal	cabrestantes
Tipo de locomoción transversal	Gatos hidráulicos
Máxima temperatura exterior con el OPS activo	40grados centígrados
Mínima temperatura exterior con el OPS activo	40 grados centígrados
Peso total de la masa móvil	1000 toneladas

Fuente: manual de ensamble Berd



Imagen 4.73. Cimbra autolanzable M64-I Marca Berd

Fuente: del autor mismo

### 2.3.6.3 ENSAMBLE DE AUTOCIMBRA

Para su montaje se requería terminado el estribo y las primeras dos columnas se inició con el ensamble de las celosías principales ver figuras 4.21 y 4.22 las cuales son dos vigas de armadura que soportaran el peso del claro lanzándolas desde el estribo 1 como si fuese un puente empujado, así como el peso propio de la autocimbra del encofrado interno y externo.

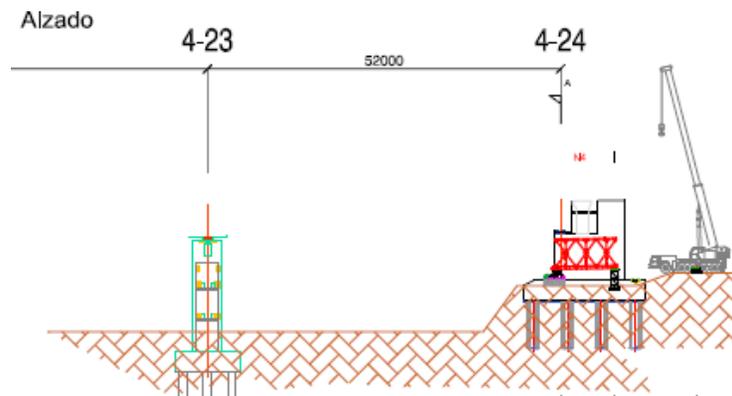


Figura 4.21. Inicio de armado de celosías principales

Fuente: manual de ensamble Berd

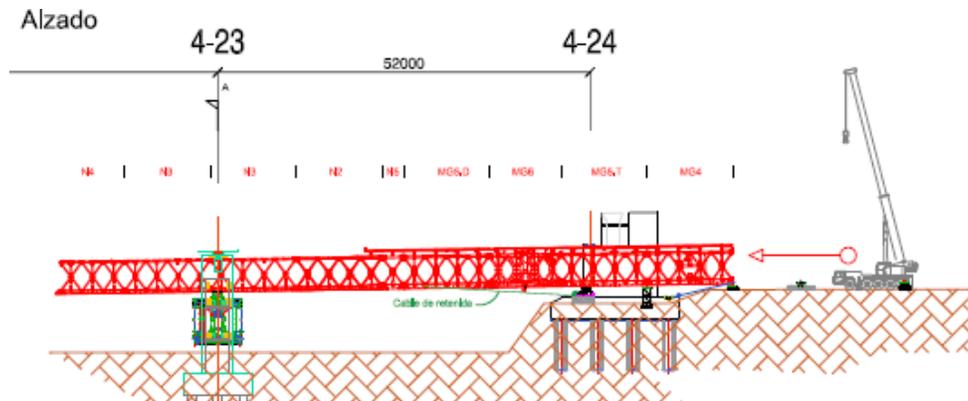


Figura 4.22. Armado y avance de celosías

Fuente: manual de ensamblaje Berd

Una vez montadas las dos celosías principales sobre las ménsulas en las columnas del apoyo 22, apoyo 23 y el estribo apoyo 24 ver figura 4.23 se procede a colocar el encofrado externo inferior y el encofrado externo vertical para los hastiales.

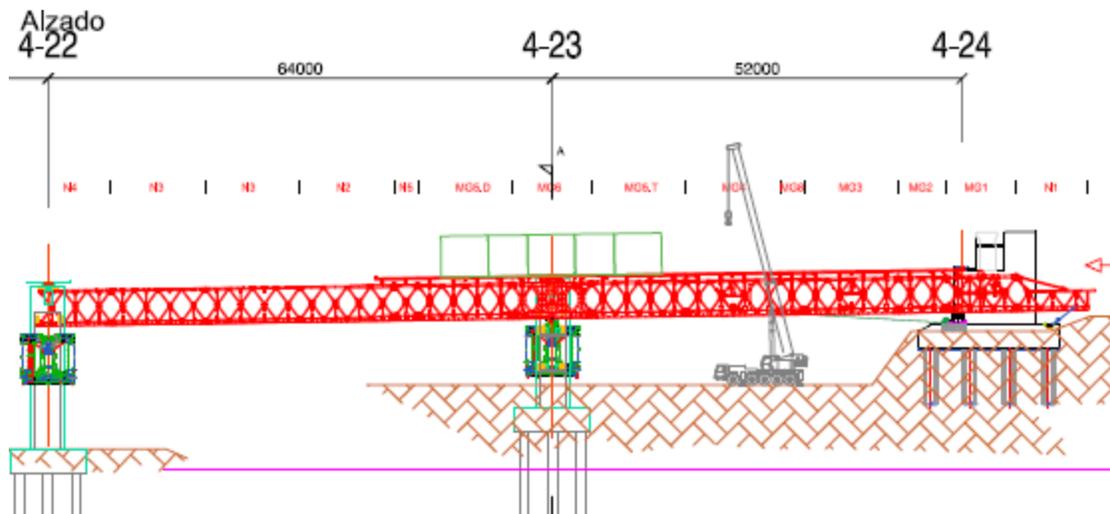


Figura 4.23. Colocación de cimbrado exterior

Fuente: Manual de ensamblaje Berd

Una vez colocado todo el cimbrado exterior se procede a colocar los segmentos de acero que fueron previamente armados en un bastidor de la misma geometría que el cimbrado exterior ver figura 4.24 , cada segmento lleva los tubos para el

paso del presfuerzo y la cimbra interna superior fijada a un bastidor de izaje que se eleva con una grúa de 250 toneladas desde la cama baja con la que se mueven los segmentos del patio de armado al claro que se encuentre ejecutando ver imagen 4.74.

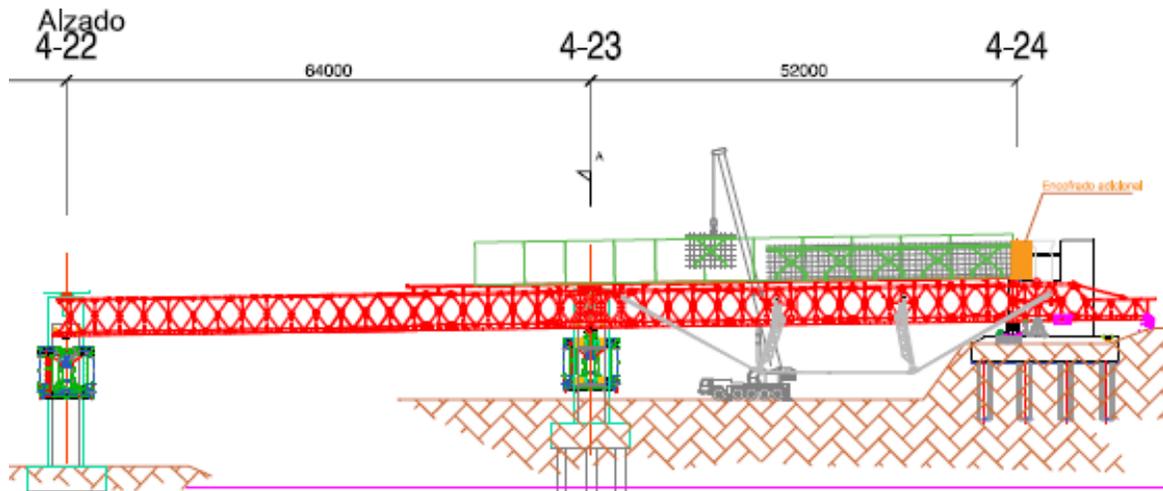


Figura 4.24. Colocación de armado de refuerzo sobre el encofrado externo  
Fuente: Manual de ensamble Berd

Una vez izado el segmento de acero de refuerzo sobre el encofrado exterior se hace uso de la grúa pórtico la cual se desliza sobre rieles y cuenta con cuatro polipastos (malacates) de 7.5 toneladas cada uno los cuales operan individualmente o en conjunto, para trasladar los segmentos de acero estos trabajan en conjunto con un izaje simultaneo para colocar cada segmento en su lugar con mayor precisión como se muestra en la imagen 4.75



Imagen 4.74. Colocación de armado con ayuda de la grúa pórtico

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.75. Montaje de segmentos de armado de refuerzo con ductos para presfuerzo

Fuente: del autor mismo

Durante el montaje de todos los segmentos de acero de refuerzo se procede a colocar los coples de los ductos del presfuerzo, posteriormente la colocación de traslapes de acero de refuerzo entre cada segmento para que se proceda a colocar la cimbra interior vertical.

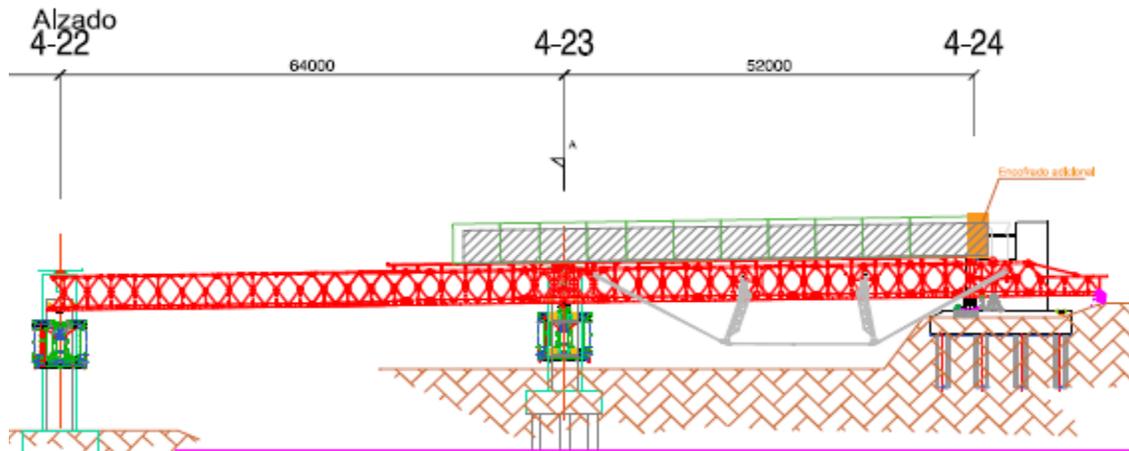


Figura 4.25. Pruebas del sistema OPS (sistema orgánico de presfuerzo) y colocación de cimbra interior.  
Fuente: Manual de ensamblaje Berd

Para la colocación del encofrado interior se utiliza un carro el cual avanza sobre rieles cargando las dos tapas laterales para parte interna de los hastiales que son de la misma longitud que los segmentos de acero de refuerzo ver imagen 4.76, esta cimbra es fijada con la cimbra externa y en los cambios de sección en la zona de los diafragmas se ajusta con cimbra convencional de madera ver imagen 4.77.



Imagen 4.76. Carro para avance e instalación de encofrado interior

Fuente: del autor mismo

Durante el proceso de armado la supervisión de obra revisa en cada etapa el cumplimiento del proyecto ejecutivo, es vital la constante revisión de cada etapa para evitar retrasos por correcciones, al término de los trabajos de armado y cimbrado y previo al colado se realiza un levantamiento topográfico para el control geométrico y monitoreo del comportamiento de la estructura.

Ya completados los ductos para el presfuerzo se procede a insertar los cables de acero de presfuerzo los cuales son de 19 y 28 cables estos deben ser insertados por completo antes del colado con ayuda de un insertador hidráulico y con aceite soluble para lubricar durante el insertado como se muestra en la imagen 4.78.

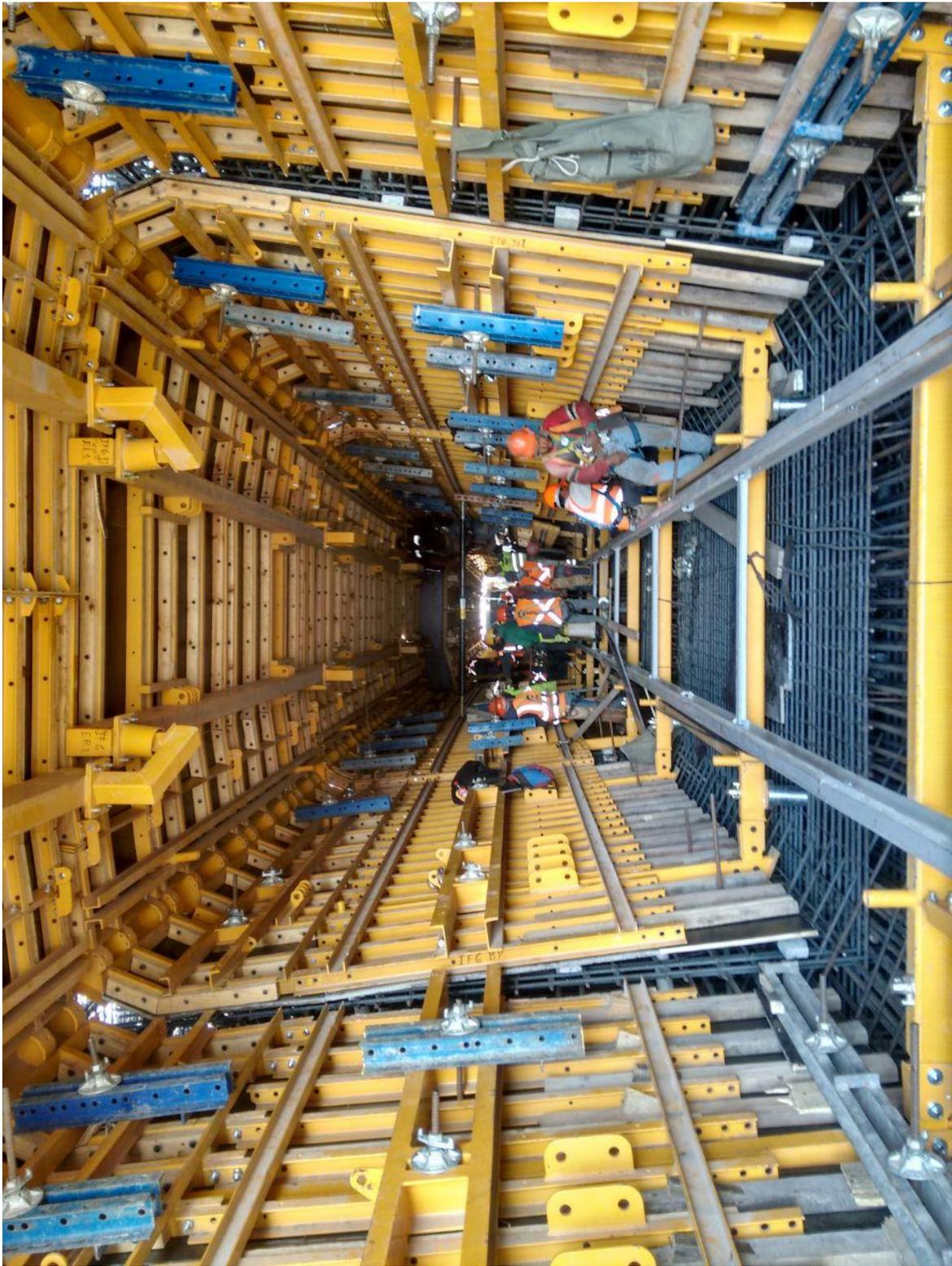


Imagen 4.77. Encofrado interno. Fuente: del autor mismo



Imagen 4.78. Enfilado de acero de presfuerzo

Fuente: del autor mismo

Para el colado del primer tablero se realiza con la ayuda de 4 bombas pluma y con un concreto de  $450 \text{ kg/cm}^2$  de resistencia rápida con agregado de  $\frac{1}{2}$ " y con un revenimiento de 24 cm para el colado se realiza en tres etapas primero el llenado de la losa inferior de la sección, después el llenado de los hastiales y por último el colado de la losa superior en un colado de 14 horas continuas con vibradores de inmersión eléctricos y de gasolina, durante el proceso de colado la supervisión revisa la calidad del concreto hidráulico, realiza el muestreo y vigila el correcto vaciado. .

el sistema OPS sistema orgánico de presfuerzo mantiene la contraflecha del claro constante a través de un sistema hidráulico de niveles y con un controlador computarizado el cual permite que en cuanto incremente la carga sobre la

autocimbra este active el sistema OPS tensando los cables de la parte inferior de las celosías ver figura 4.79 y manteniendo la contraflecha en el claro del tablero.

El sistema es llamado orgánico de presfuerzo ya que está inspirado en el funcionamiento de los músculos del brazo humano.



Imagen 4.79. Sistema orgánico de presfuerzo (OPS)

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.80. Colado de primer tablero viaducto 4

Fuente: del autor mismo

Una vez alcanzado el 80% de la resistencia del concreto revisado con las probetas obtenidas por el laboratorio de control de calidad se procede a realizar el

postensado de cada familia de torones con la secuencia y esfuerzo que indica el proyecto ver imagen 4.81 ya completado el tensado se procede a realizar los trabajos para retiro de encofrado externo como quitar todas las uniones para poder recorrer las ménsulas ver figura 4.26, colocar el pórtico de sostenimiento, abrir las celosías y avanzar.



Imagen 4.81. Tensado de acero de presfuerzo

Fuente: del autor mismo

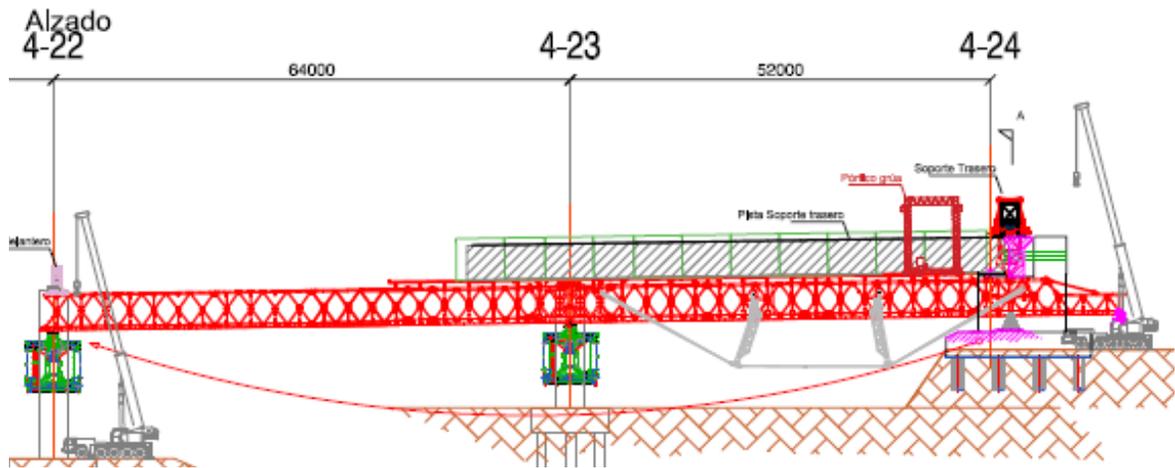


Figura 4.26. Movimiento de ménsulas para avanzar la celosía y armado de pórtico trasero para sostenimiento sobre el tablero colado

Fuente: Manual de ensamble Berd

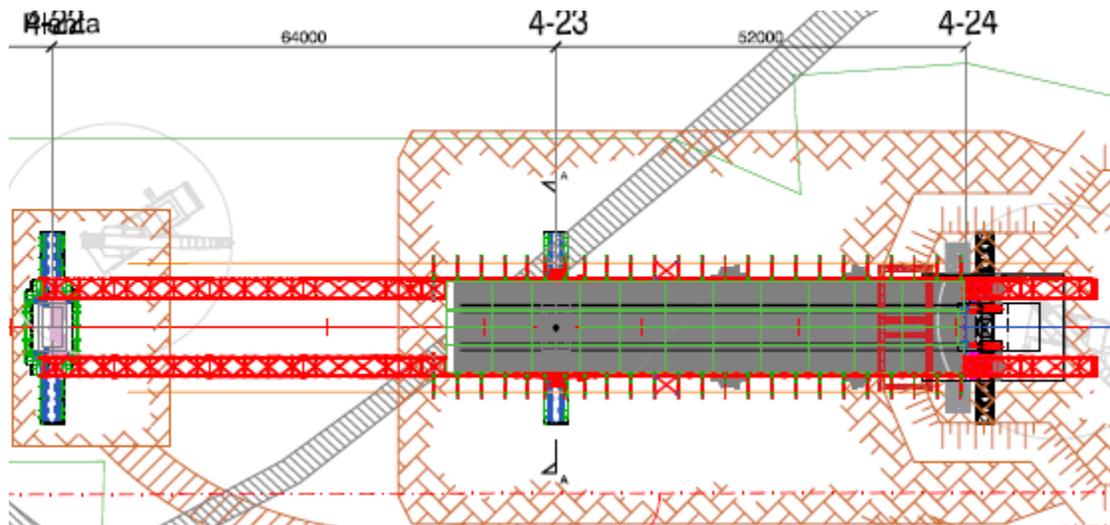


Figura 4.27. Autocimbra cerrada antes de avanzar

Fuente: Manual de ensamble Berd

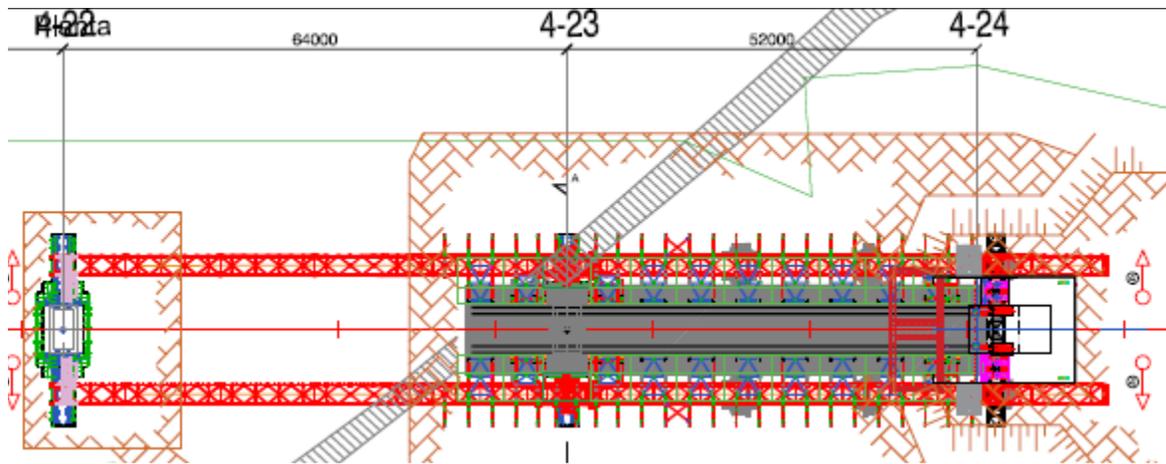


Figura 4.28. Autocimbra abierta para avance al siguiente claro

Fuente: Manual de ensamble Berd

Una vez abierta la autocimbra las celosías principales se recargan sobre las ménsulas apoyadas en las columnas y con un sistema de malacates en la autocimbra y cables fijados en el apoyo 24 y en el apoyo 22 mediante los cuales la autocimbra se desliza con baleros sobre las ménsulas y con el pórtico de sostenimiento trasero con rieles colocados sobre el tablero colado.



Imagen 4.82. Avance de autocimbra

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.82. Avance de autocimbra

Fuente: del autor mismo

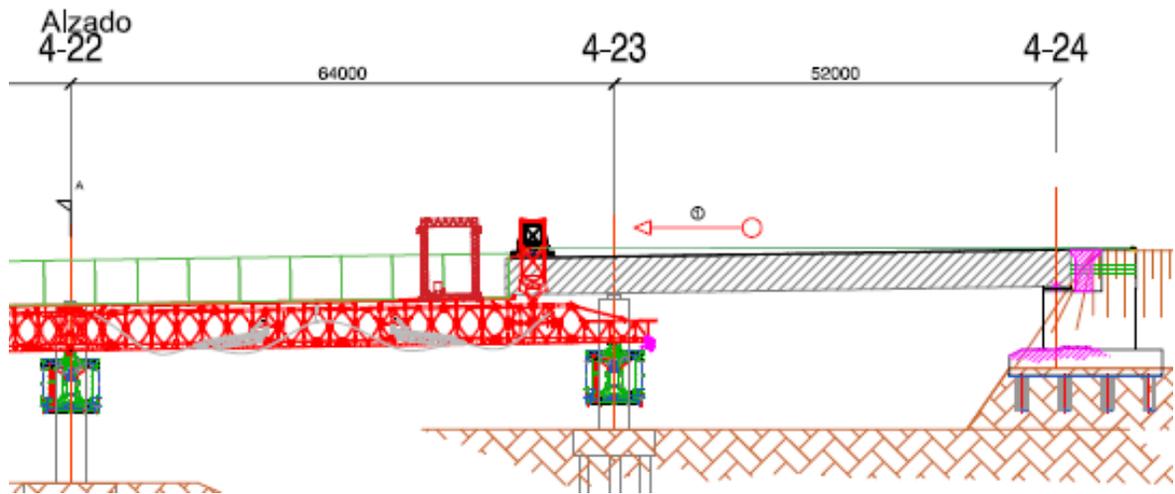


Figura 4.29. Autocimbra avanzada al siguiente claro.

Fuente: Manual de ensambl Berd



Imagen 4.83. Autocimbra avanzada al claro siguiente.

Fuente: del autor mismo

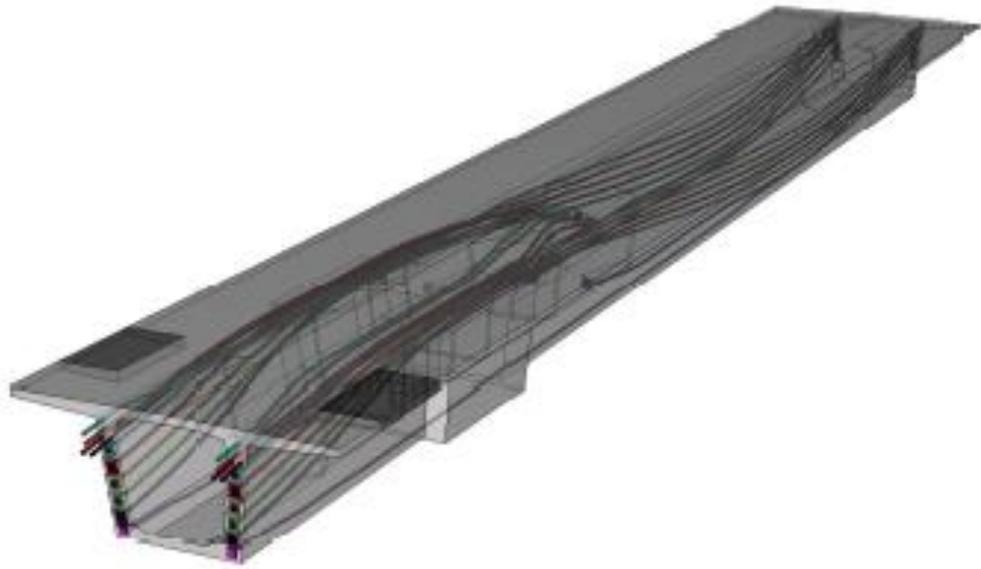


Imagen 4.84. Vista en 3d de la trayectoria del presfuerzo.

Fuente; proyecto ejecutivo Ayesa



Imagen 4.85. Limpieza de encofrado exterior.

Fuente: del autor mismo

Una vez avanzada y nivelada la autocimbra activa su sistema ops para recibir cargas como se muestra en la figura 4.30. se procede a realizar la limpieza del encofrado exterior y reparaciones de cimbra afectada durante el descimbrado principalmente en algunas aristas y se repite el proceso de colocación de segmentos del acero de refuerzo que una vez completado se colocan los rieles y se pasa la cimbra interna de cada segmento del tablero colado al claro siguiente

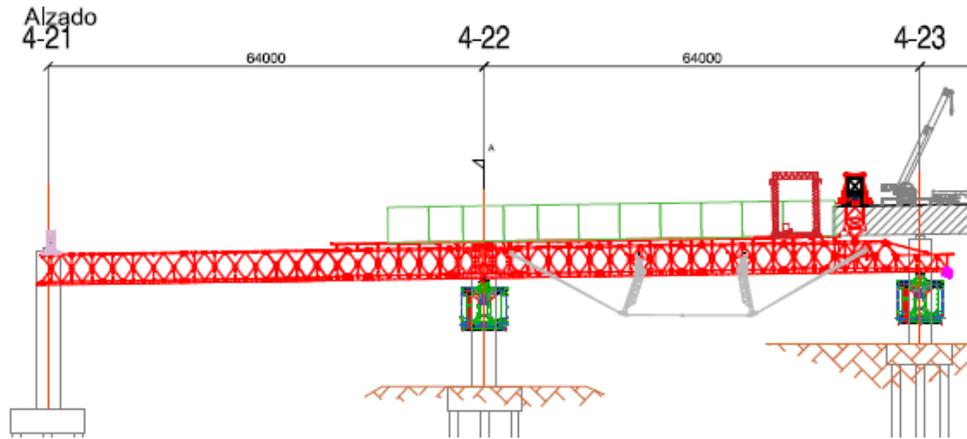


Figura 4.30. autocimbra en claro siguiente con activación de ops para recibir carga

Fuente: Manual de ensamble Berd



Imagen 4.86. Armado de tablero en vano siguiente.

Fuente: del autor mismo

#### 2.3.6.4 AUTOCIMBRAS VIADUCTO 2

En este viaducto se utilizan 2 autocimbras ya que se tienen 3 tableros continuos, los dos primeros de 13 claros cada uno, se construyen con autocimbra de la marca Mecanotubo el tercer tablero con la autocimbra BERD M55-S

La autocimbra de Mecanotubo es una cimbra autolanzable bajo tablero de colado en sitio

##### Características principales

- Colado de claros máximo de 50 m
  - ◆ 496 m<sup>3</sup> de concreto
  - ◆ 135 toneladas de acero de refuerzo
  - ◆ 15 toneladas de acero de pres fuerzo
- Control de flecha
- Colado en dos fases de la sección completa (1ro losa inferior y hastiales, 2do losa superior)
- Cimbra interna metálica convencional
- Avance independiente por medio de gatos hidráulicos
- Peso total de autocimbra 850 toneladas

Estas autocimbras contaban con menos equipamiento que la M-64 pero con ayuda de equipos adicionales como grúas torre o grúas hidráulicas se completaban ciclos de trabajo de hasta 21 días por cada claro, y para controlar el tema de la contraflecha se realizaba un posicionamiento en sus vigas principales antes de colar el tablero con una contraflecha que con el peso del concreto hidráulico quedaba en su posición final conforme al proyecto, para llegar a un aproximado muy cercano al teórico se retroalimentaba con datos topográficos al proyectista para que realizara sus análisis estructurales y se fuese corrigiendo la contraflecha inicial en las vigas principales de acero de la autocimbra.

Para esta autocimbra una vez ensamblada en el apoyo estribo de donde partía con el primer claro, se colocaban los armados en su interior se enfilaba el presfuerzo donde únicamente se colaba la sección en U sin colar la losa como se muestra en la imagen 4.88



Imagen 4.87. Cimbra autolanzable bajo tablero marca Mecanotubo.

Fuente: del autor mismo

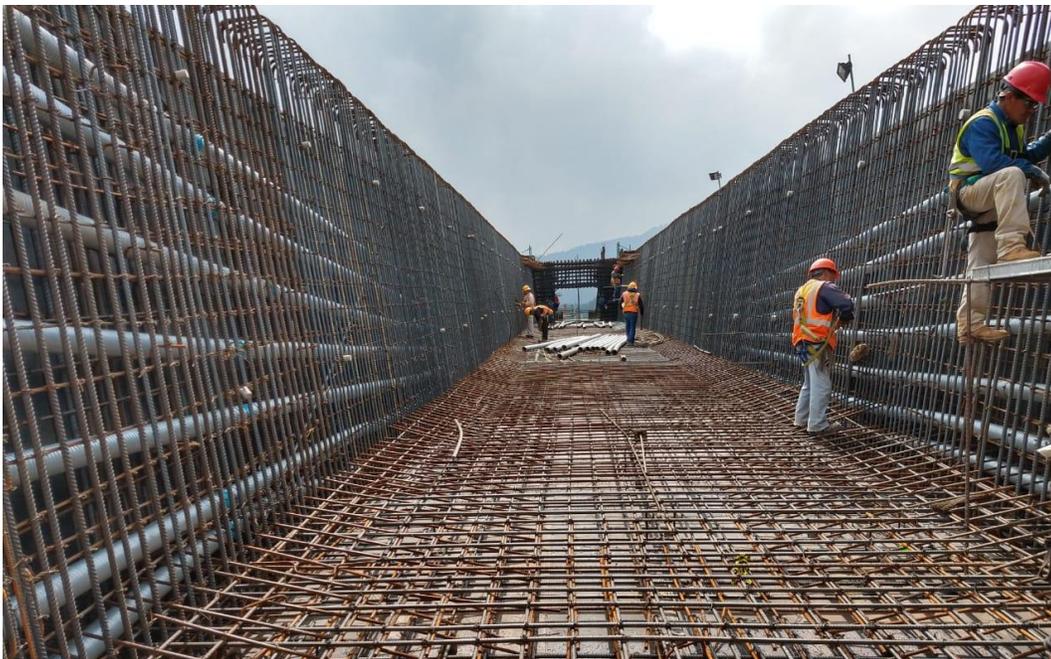


Imagen 4.88. Armado de refuerzo de Autocimbra Mecanotubo

Fuente del autor mismo

Una vez colada la primera fase de la sección en u con los aleros se esperaba el endurecimiento del concreto posteriormente se realizaba el tensado de los cables de prefuerzo para poder descimbrar el interior y descender la cimbra exterior para avanzar al siguiente claro ya posteriormente se colocaba la cimbra para colar la losa de cierre con andamio y cimbra convencional como se muestra en la imagen 4.91



Imagen 4.89. Armado de acero de refuerzo en aleros.

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.90. Colado de primera fase.

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.91. Cimbrado de segunda fase losa central de tablero.

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.92. Armado de segunda fase de tablero.

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.93. Avance de autocimbra mecanotubo

Fuente: del autor mismo

La autocimbra M55-S es una cimbra autolanzable sobre tablero concebida para la construcción de tablero de puentes de concreto reforzado con claros de hasta 55 m de longitud la estructura superior es una viga en celosía que caracteriza por tener un arco en su parte central lo que hace la viga sea de altura variable.

Suspendidas sobre la viga principal están las estructuras transversales que soportan el encofrado. Las estructuras transversales son constituidas por los siguientes elementos mesas deslizantes, 2 módulos inferiores, 3 módulos verticales, 4 asas. El encofrado es posicionado directamente sobre las mesas deslizantes. Durante la fase de colado dichas mesas están suspendidas directamente de las asas por barras roscadas de alta resistencia. En la fase de avance de la autocimbra las mesas deslizantes se apoyan en los módulos

inferiores y se mueven transversalmente para poder pasar por la columna, el movimiento de las mesas se hace por medio de gatos hidráulicos.

El tablero es constituido por vanos de 55, 44 y 36.5 m con una sección en cajón con 11.5 m de ancho y 3.8 m de altura, se construye el cuerpo central del tablero losa inferior y hastiales con una geometría poligonal quebrada en las secciones de columna y de junta constructiva.



Imagen 4.94. Cimbra autolanzable M55-S marca Berd

Fuente: del autor mismo

Tipo	Cimbra Superior
Claro Máximo	55 m
Valor Máximo del peso medio del tablero	25 t/m
Ancho Máximo del tablero	11.5 m
Altura máxima del tablero	3.8 m
Inclinación longitudinal máxima	5%
Inclinación transversal máxima	0%
Velocidad máxima del viento durante el avance	40 km/h
Velocidad Máxima durante el colado	60 km/h
Deformación máxima de la autocimbra durante el colado	75 mm (L/750)
Radio mínimo de curvatura en planta	2000 m
Sistema de locomoción longitudinal	cabrestantes
Sistema de locomoción transversal	Gatos Hidráulicos
Sistema de elevación	Gatos Hidráulicos
Sistema de apertura del encofrado	Movimiento con gatos hidráulicos
Peso máximo de la autocimbra	750 t

Tabla 4.00. Características técnicas de la autocimbra M55-S

Fuente: Manual de ensamble Berd

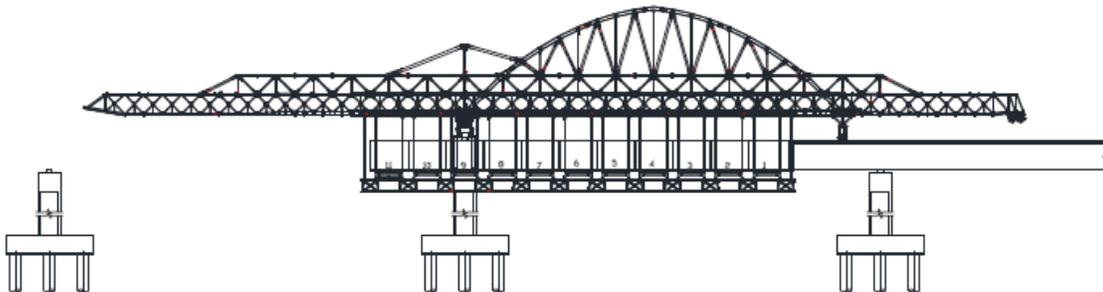


Figura 4.31. Autocimbra M55-S

Fuente: Manual de ensamble Berd

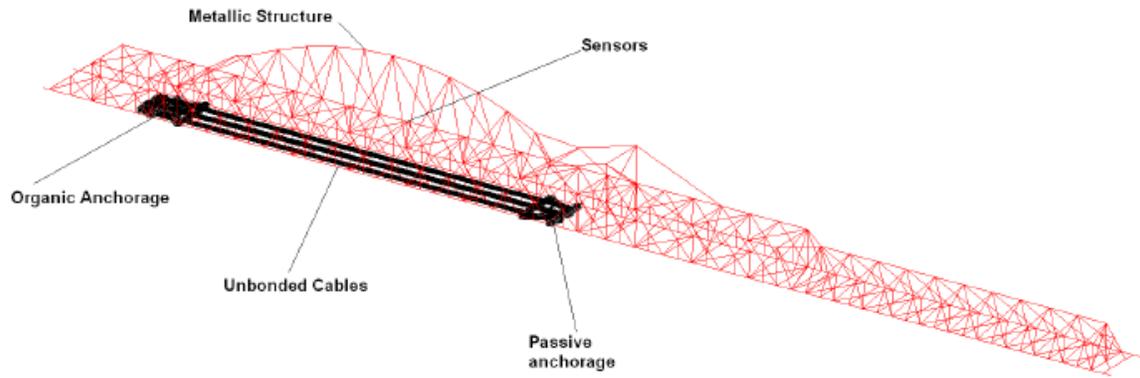


Figura 4.32. Componentes del sistema OPS

Fuente: Manual de ensamble Berd

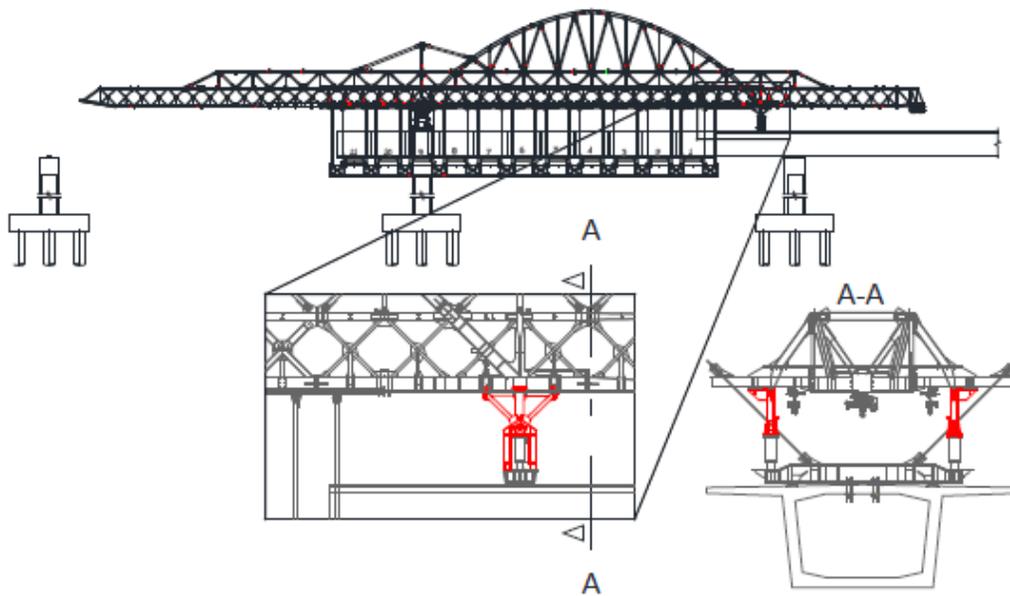


Figura 4.33. Pórtico trasero para colado

Fuente: Manual de ensamble Berd

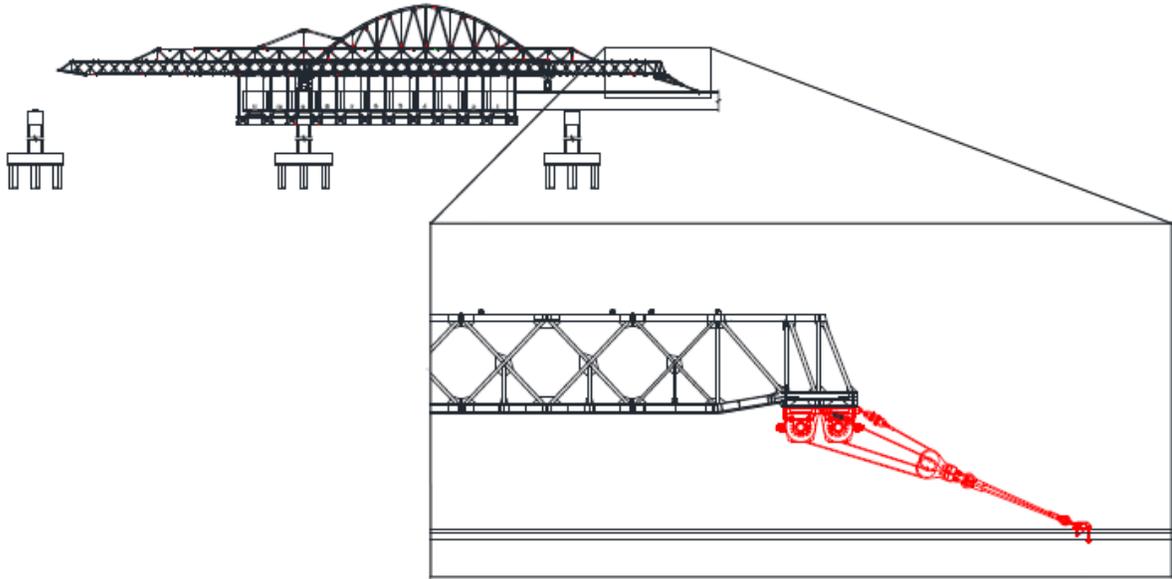


Figura 4.34. Sistema de cabrestantes para avance

Fuente: Manual de ensamble Berd

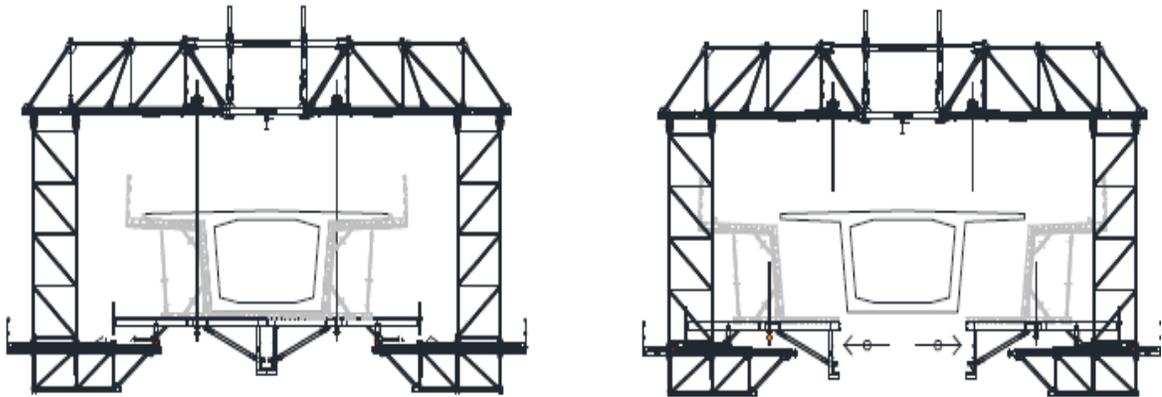


Figura 4.35. Posiciones de mesas móviles cerradas y abiertas

Fuente: Manual de ensamble Berd

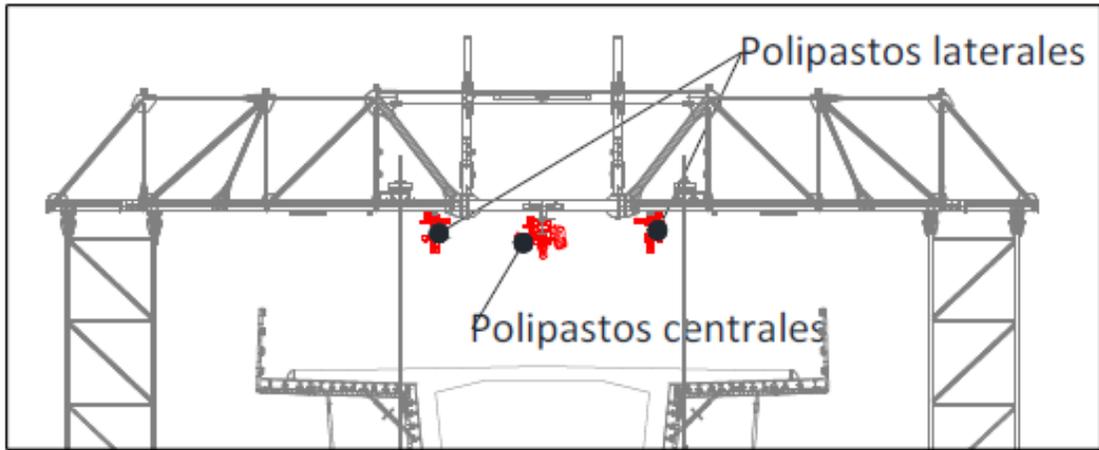


Figura 4.36. Polipastos operativos.

Fuente: Manual de ensamble Berd



Imagen 4.95. Armado de celosía principal

Para el ensamble de esta autocimbra se requirió a la ayuda de grúas hidráulicas para montar la estructura principal sobre las columnas y posteriormente ensamblar cada uno de los módulos para las mesas de colado recordemos que estas mesas estaban suspendidas para poder dar la curvatura que se requería particularmente en este tramo del proyecto



Imagen 4.96. Mesas abiertas para avance

Fuente: del autor mismo

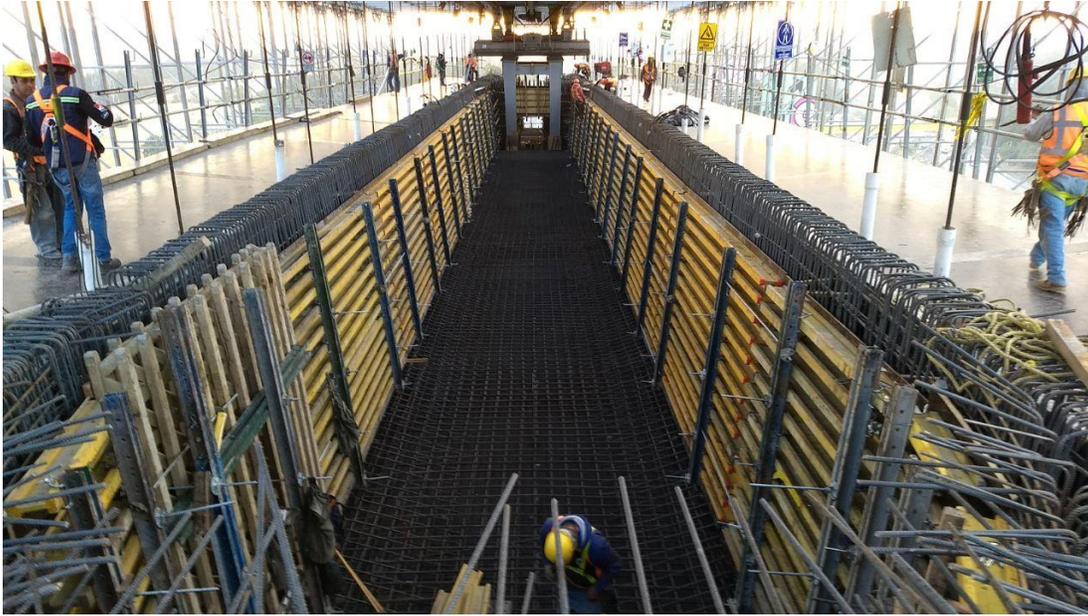


Imagen 4.97. Armado y cimbrado de primera fase de colado

Fuente: del autor mismo

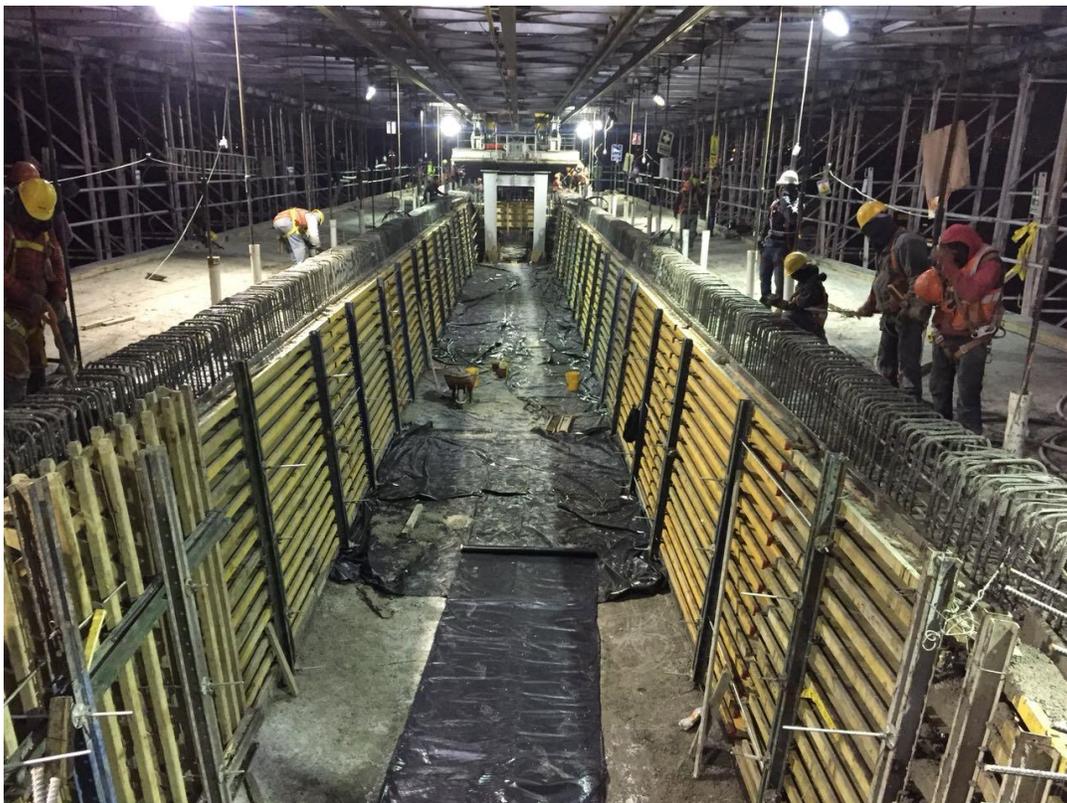


Imagen 4.98. Colado de primera fase

Fuente: del autor mismo

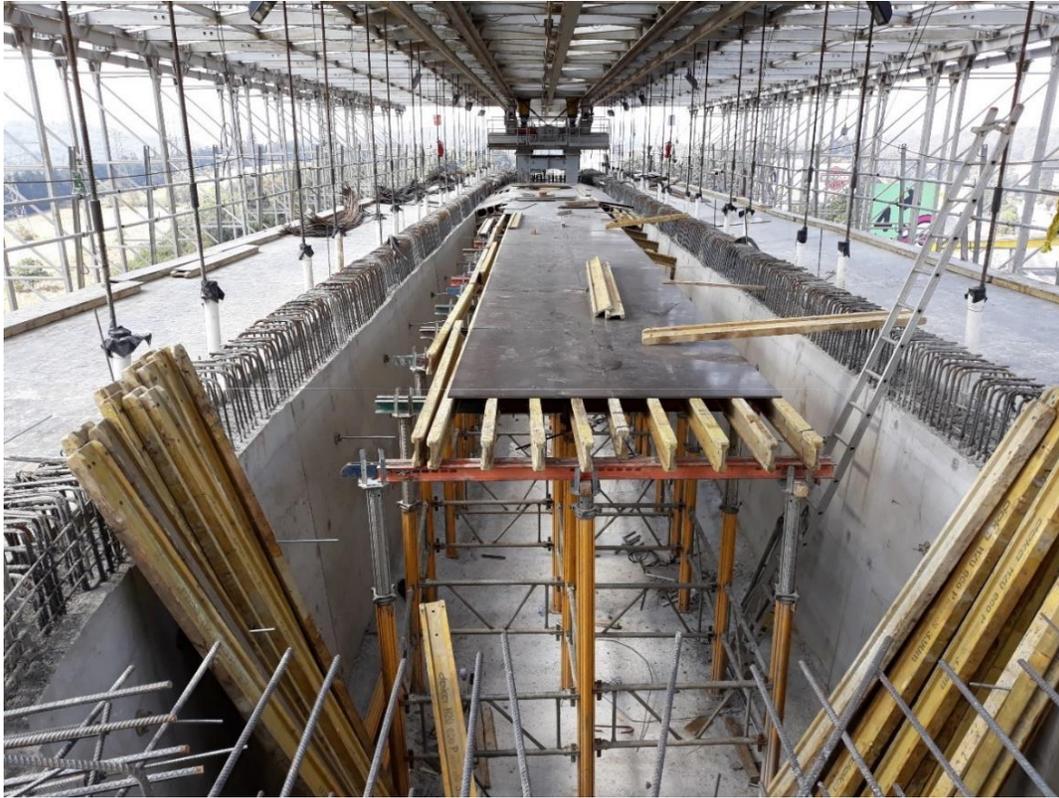


Imagen 4.99. Colocación de cimbra para segunda fase

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.100. Armado de segunda fase

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.101. Colado de segunda fase

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.102. Avance y cierre de autocimbra

Fuente: del autor mismo



Imagen 4.103. Avance al siguiente claro

Fuente: del autor mismo

## **2.4 ESTRUCTURAS METALICAS**

### **2.4.1.1 TRABES CURVAS METALICAS (VIADUCTO 6)**

Estas traves unen el viaducto recto entre los talleres con una curva hacia el inicio del viaducto en Zinacantepec estas traves de secci3n de artesa fabricadas en metal para librar el cruce sobre la avenida las torres y as3 llegar a la primer estaci3n y no tener que colocar apeos provisionales ni afectar la circulaci3n en una avenida tan importante de la ciudad se opt3 por realizar 3nicamente el montaje de 10 traves met3licas con losa de concreto reforzado estas traves se fabricaron en planta y se termin3 de dar acabados de pintura en tramo con la inspecci3n y verificaci3n de la supervisi3n externa



Imagen 5.1 Montaje de traves metálicas en curva

Fuente: del autor mismo

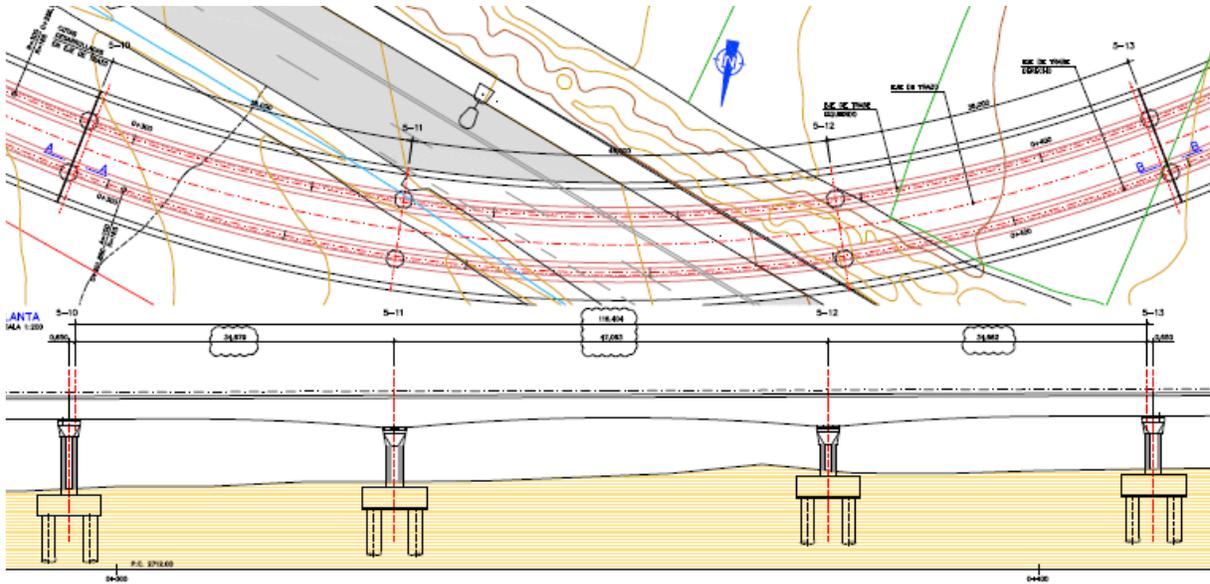


Figura 5.1.2 planta de traves metálicas en curva

Fuente: proyecto ejecutivo sener

### 2.4.1.2 PUENTE ARCO (VIADUCTO 1E)

El puente arco es una estructura que salva un claro de 100 m de una interferencia con la vía de del tren de carga que cruza bajo el viaducto en el municipio de Lerma este puente se construyó en tres partes debido al peso de la estructura completa, se armó cada tercio en piso para después izarlos sobre lo apoyos provisionales para unirlos y posteriormente se deslizó la estructura completa hacia su posición final para librar la vía de carga.

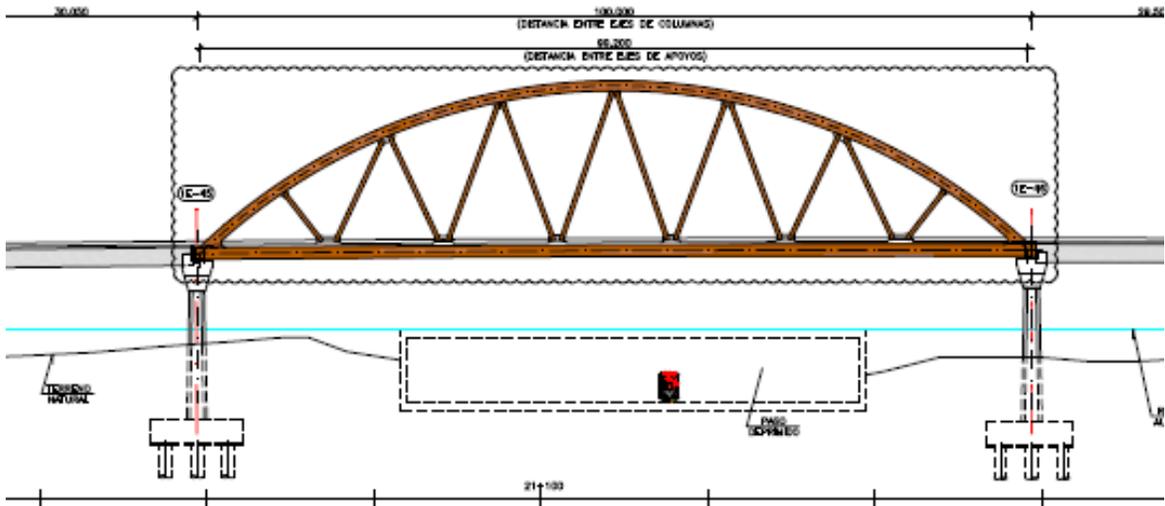


Figura 5.2. vista lateral del puente arco

Fuente: Proyecto ejecutivo sener

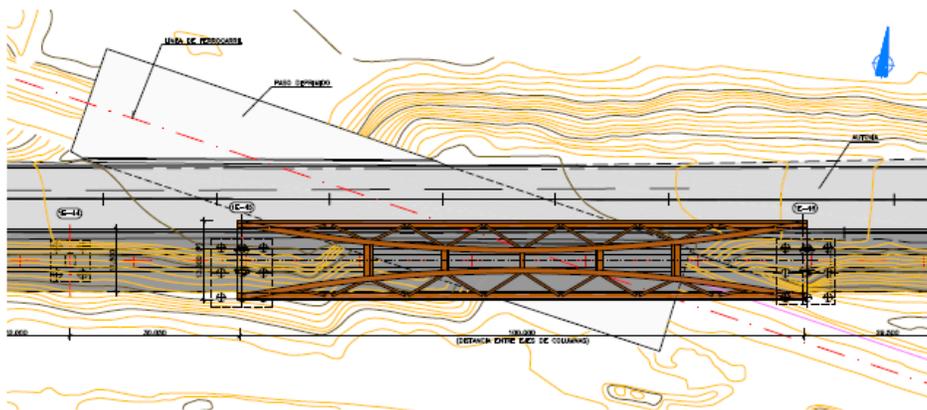


Figura 5.3. vista en planta del puente arco

Fuente: proyecto ejecutivo sener

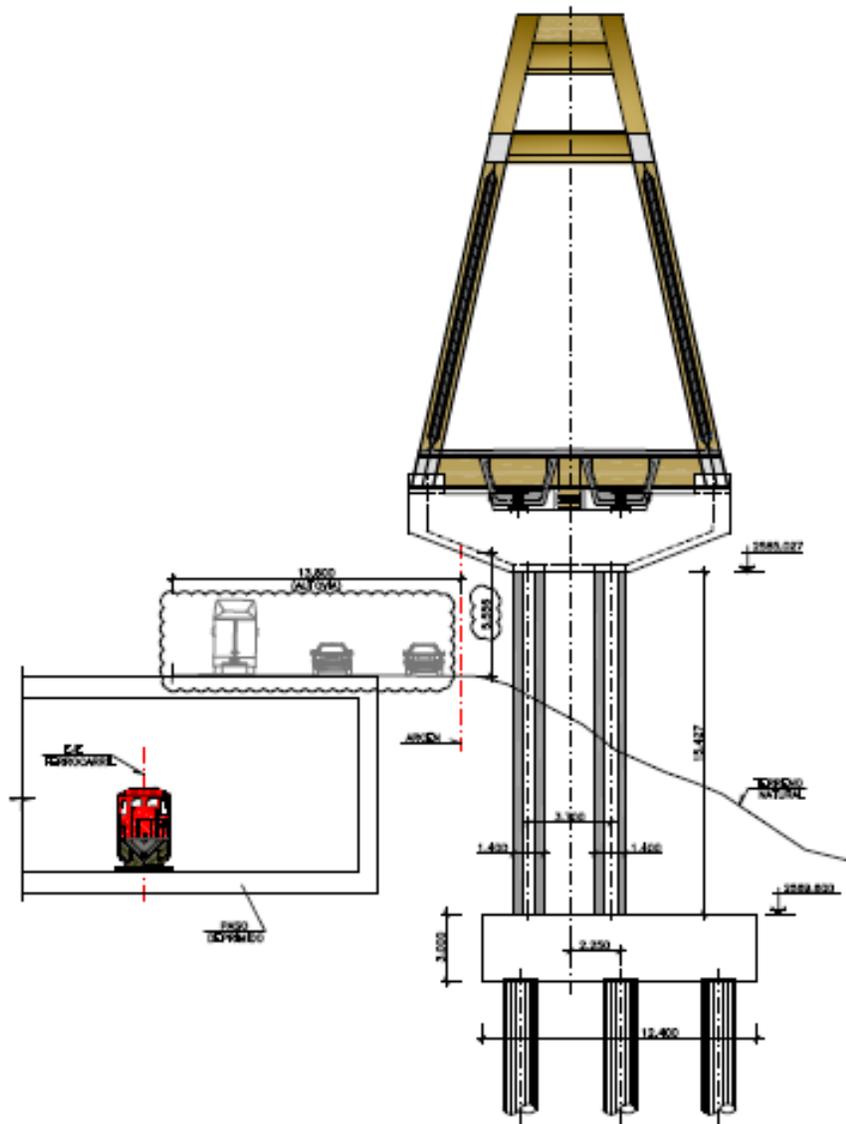


Figura 5.4. corte transversal del puente arco

Fuente: proyecto ejecutivo sener



Imagen 5.2. Trabajos de soldadura en cuerdas del primer tercio

Fuente: del autor mismo



Imagen 5.3. Trabajos de soldadura en tercer tercio

Fuente: del autor mismo



Imagen 5.4. Montaje de armadura para losa de tercio medio

Fuente: del autor mismo



Imagen 5.4.1. Puente arco terminado

Fuente: del autor mismo

### 2.4.1.3 APOYO DELTA Y DISPOSITIVOS ESPECIALES DEL VIADUCTO 4

El Viaducto 4 es una estructura de 1448 m de longitud con 23 claros de 64 metros que cruza por el valle de la Marquesa con alturas máximas de columna de 75 metros

La tipología del apoyo en delta como punto fijo es utilizado en los viaductos de ferrocarril debido a las cargas de frenado que son mucho más importantes que en los puentes de carretera ya que son fuerzas horizontales importantes debido a que el tablero está constituido por una viga continua de 1448 m de longitud en sección cajón esto quiere decir que no tiene juntas al ser un elemento tan largo requiere de dispositivos especiales como lo son los apoyos esféricos que se encargan de transmitir los esfuerzos de forma articulada entre el tablero y las columnas en caso de sismo, los topes antisísmicos laterales, otro dispositivo también son los amortiguadores que se encuentran a los extremos del tablero en los estribos los cuales ayudan a absorber el esfuerzo longitudinal en caso de sismo y sobre ellos para dar continuidad en la vía férrea en caso de sismo y evitar descarrilamiento se colocaron las juntas de largo recorrido. .

El viaducto cuenta en su punto medio con un punto fijo que será unido al tablero con 2 columnas metálicas que se ejecutaron en una posición horizontal y para realizar su izaje con ayuda de un sistema de cables de retenida a la cimentación de la columna anterior y de tiro a la columna metálica tomando como mástil cada una de las columnas ya construidas antes y después del apoyo en delta como se muestra en la figura 5.5

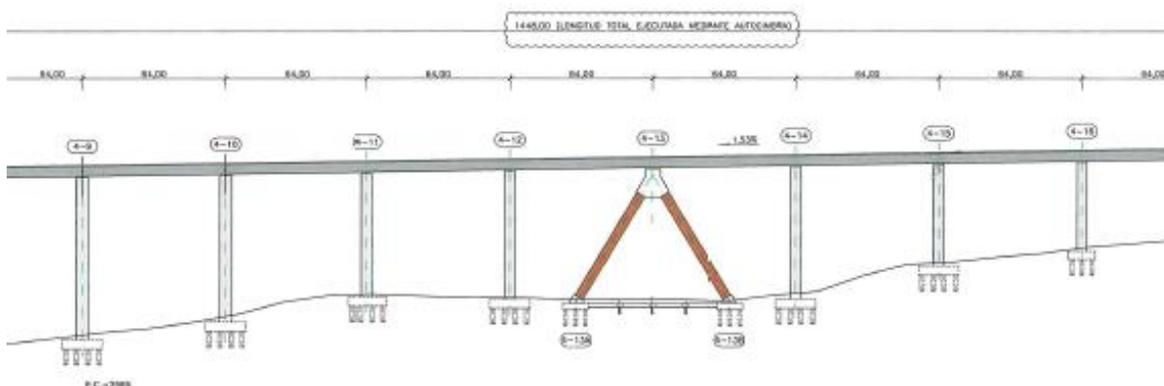


Figura 5.5. Apoyo en delta

Fuente: proyecto ejecutivo sener

## SISTEMA PARA IZAJE

### Cables de retenida

2 cables constituidos por 15 torones de 0.6" de diámetro longitud de 86 m.

### Cables de tiro

2 cables constituidos por 15 torones de 0.6" de diámetro longitud de 86 m y se recogen 30 m.

### Gatos hidráulicos de tiro

Capacidad 330 toneladas.

esfuerzo máximo de 146 toneladas por cable.

Longitud de embolo 50 cm en 6 minutos por embolada.

maniobra total 6 horas.

Izaje a cada 1 grado.

### Gatos hidráulicos de retenida

Capacidad 330 toneladas.

máximo de 154 toneladas por cable.

El apoyo en delta en un principio se construiría con concreto reforzado, pero después de los atrasos por los paros ocasionados por la problemática social en la zona de la marquesa se optó por su fabricación en acero para agilizar el proceso constructivo del viaducto, cada columna del apoyo en delta se secciono en dovelas las cuales se fabricaron en la ciudad de Guadalajara y se trasladaron hasta la marquesa para poder unir las y posteriormente izarlas.



Imagen 5.4.2. Traslado de Dovelas desde el taller al viaducto en la marquesa

Fuente: del autor mismo

Para el izaje de estas columnas se contaba con un sistema de rótula al pie de la columna la cual se fijaba con barras de presfuerzo que requerían una posición muy precisa por la inclinación por lo que se fabricaron plantillas especiales para su ubicación como se ve en la imagen 5.5, la rótula permitía el giro apoyado en la zapata para su correcto funcionamiento se realizaron múltiples pruebas y revisiones simulando el izaje con la primera dovela como se muestra en la imagen 5.7



Imagen 5.5. Colocación de plantilla para barras de sujeción de en la cimentación

Fuente: del autor mismo

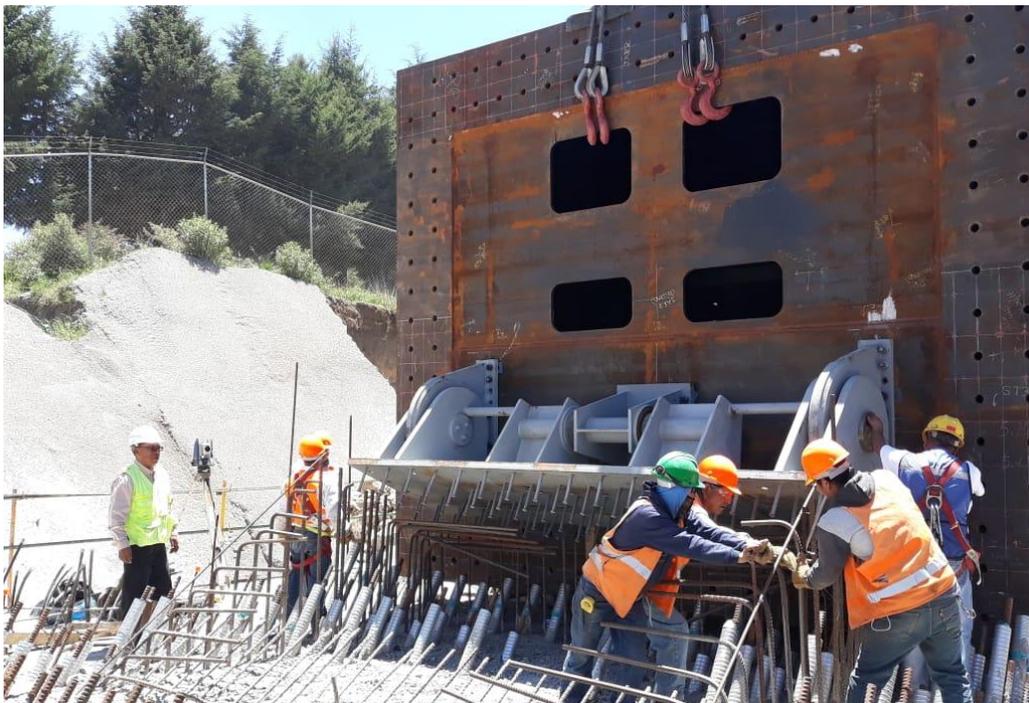


Imagen 5.6. Rotula para izaje de columnas metálicas

Fuente: del autor mismo



Imagen 5.7. Pruebas de giro de rótula y primera dovela

Fuente: del autor mismo

Una vez que la rótula funcionaba correctamente con la primera dovela se realizaron las siguientes 8 dovelas para completar los 57 metros de longitud cada unión fue inspeccionada verificando con ultrasonido e inspecciones visuales por parte de los especialistas en inspección de soldadura tanto de personal de control de calidad del contratista como de la supervisión externa para una correcta soldadura, así como la verificación de los espesores de los recubrimientos de pintura.



Imagen 5.8. Unión entre dovelas intermedias en posición horizontal

Fuente: del autor mismo



Imagen 5.9. Soldadura de unión en interior de dovelas

Fuente: del autor mismo

Posteriormente una vez unidas todas las dovelas se realizó la instalación del sistema de izaje mediante gatos hidráulicos traga torón ver imagen 5.12 con los cuales, apoyándose de la columna anterior como un mástil, esto se puede ver en la imagen 5.11 y de la siguiente como un anclaje para poder así realizar al izaje de la primera columna que llevo 10 horas para dejarla en su posición inclinada final y comenzar con la unión de las dovelas de la segunda columna.



Imagen 5.10. Izaje de primera columna

Fuente: del autor mismo

Para la segunda columna se repitió el proceso de unión de las dovelas y se instaló otro sistema de izaje similar al de la primera columna anclándolo hacia las columnas posteriores como se muestra en la imagen 5.14 y al igual que en la primera se monitorea topográficamente durante el proceso de izaje para dejarla en su posición final.



imagen 5.11. Sistema de izaje de columnas en delta

Fuente: del autor mismo



imagen 5.12. Gato hidráulico de izaje

Fuente: del autor mismo



Imagen 5.13. Izaje de primera columna  
Fuente: del autor mismo



Imagen 5.14. Izaje de segunda columna  
Fuente: del autor mismo



Imagen 5.15. Izaje de segunda columna 30 cm de separación en giro  
Fuente: del autor mismo



Imagen 5.16. Columna en posición para fijación  
Fuente: del autor mismo

Cuando ambas columnas se encontraban en su posición final se procedió a colocar las barras de anclaje en la zapata para su posterior colado de la cuña y el puntal de compresión que es una estructura que une las dos columnas en la punta de ambas columnas para posteriormente retirar el sistema de izaje.



Imagen 5.17. Fijación de segunda columna con la cimentación  
Fuente: del autor mismo



Imagen 5.18. Tensado de barras con cimentación colada  
Fuente: del autor mismo



Imagen 5.19. Colocación de puntal de compresión para retiro de cables.  
Fuente: del autor mismo

Posteriormente se realiza el armado para el cabezal sobre el apoyo en delta que se realiza con concreto reforzado colándolo en tres etapas con ayuda de una cimbra trepante y una grúa hidráulica.



Imagen 5.20. Colado de trepados de cabezal  
Fuente: del autor mismo

Una vez construido el cabezal se continuó con la marcha de la autocimbra M-64 colando los tableros desde el apoyo 24 hasta el encuentro con la autocimbra C-60 implementada para colar los tableros desde el apoyo 1 para encontrarse en el claro ubicado entre los apoyo 8 y 9 del viaducto ejecutándose 15 claros con la autocimbra M-64 y 8 claros con la C-60 y cerrando así la viga continua de 1448 m de longitud.



Imagen 5.21 encuentro de auto cimbras M-64 y C-60  
Fuente: del autor mismo.

Una vez completado el tablero se procedió al descenso de las autocimbras, para la M-64 se descendió en el claro entre los apoyos 10 y 11 mediante un sistema de gatos hidráulicos mono torón y cables de presfuerzo se descendió cada una de las secciones de las armaduras principales de la autocimbra como se muestra en la imagen 5.22.



Imagen 5.22 Descenso de secciones de celosía de la armadura de la autocimbra M-64

Fuente: del autor mismo

Para el caso de la autocimbra C-60 se realizó el retroceso a través de los apoyos para su desarmado más cerca del piso entre los apoyos 2 y 3 y descender las secciones las vigas principales con ayuda de Grúas Hidráulicas como se muestra en la imagen 5.23



Imagen 5.23 descenso de vigas principales de autocimbra C-60

Fuente: del autor mismo

Después de retirar las Autocimbras se completaron los trabajos de topes antisísmicos laterales mediante plataformas que cargaban los armados con cimbra a nivel de piso y con un sistema de izaje de cable de presfuerzo se subían hasta la altura del cabezal como se puede ver en la imagen 5.24.



Imagen 5.24 Izaje de plataforma con armado para topes

Fuente: del autor mismo

Estando la plataforma a la altura del cabezal se procedía a colocar el acero de presfuerzo que atraviesa en los ductos del cabezal este acero los mantendrá unidos a la columna, después se colocaban los neoprenos, la cimbra y se procedía a su colado mediante bombas para concreto y subiendo las ollas de concreto por encima del tablero ya construido.



Imagen 5.25 colado de topes antisísmicos laterales

Fuente: del autor mismo

Los apoyos esféricos son los dispositivos que conectan las columnas y el tablero estos se colocan antes de colar el tablero y tienen pernos que quedan ahogados tanto en la columna como en el tablero como se puede ver en la imagen 5.26 de un apoyo esférico antes de colocarse.



Imagen 5.26 Apoyo esférico antes de colocar

Fuente: del autor mismo

Estos apoyos son fabricados especialmente para que funcionen libres en el sentido longitudinal durante el proceso constructivo del tablero como se muestra en la imagen 5.27 donde se pueden ver los huecos a lado del apoyo esférico.



Imagen 5.27 apoyo esférico sin bloqueo

Fuente: del autor mismo

posteriormente se bloquean mediante un sistema de barras de distintos tamaños para completar el hueco que tienen estos como grado de libertad en el sentido longitudinal como se muestra en la imagen 5.28 para que funcionen en conjunto con las columnas esto antes de poder conectar los amortiguadores a los extremos del tablero.



Imagen 5.28 Colocación de barras de bloqueo de apoyo esférico

Fuente: del autor mismo

Una vez colocadas las barras llenando hasta el último milímetro de los huecos se colocan las tapas para evitar que se muevan las barras de bloqueo como se muestra a continuación en la imagen 5.29



Imagen 5.29 Colocación de tapas de apoyos esféricos

Fuente: del autor mism

En cuanto se completó el bloqueo de los apoyos esféricos se procedió al retiro de las retenidas que tenían conectado el tablero con el estribo y se colocaron los amortiguadores estos amortiguadores absorben una carrea de hasta 60 cm de desplazamiento del tablero en el sentido longitudinal en caso de sismo como se puede ver en la imagen 5.30



Imagen 5.30 Colocación de amortiguadores al extremo del tablero del viaducto.

Fuente: del autor mismo

Tras la instalación de los amortiguadores se procedió al armado y colado de la losa tapa de la cámara de amortiguadores (imagen 5.31) la cual se unió con la losa del tablero mediante una junta de largo recorrido (imagen 5.32)



Imagen 5.31 Cámara de amortiguadores.

Fuente: del autor mismo



Imagen 5.32 Colocación de Junta de largo recorrido

Fuente: del autor mismo

Esta junta permitirá la continuidad de la vía y evitara el descarrilamiento en caso que el paso del tren sobre esta cámara coincida con algún sismo y también para absorber la dilatación por temperatura en el sentido longitudinal del tablero, ya que esta junta funciona con un movimiento parecido al de un acordeón (imagen 5.33) permitiendo el deslizamiento del riel de la vía sobre esta.



Imagen 5.33 vista de junta de largo recorrido ya instalada desde la cámara de amortiguadores.

Fuente: del autor mismo

Durante la colocación de las juntas de largo recorrido se iniciaba la interface entre los contratistas y supervisiones de los diferentes contratos ya que con esto concluían los trabajos del tramo 1 en la entrega de tableros de viaducto terminado y dar paso a las contratistas para el material rodante se encontró a cargo a otras empresas que se encargaban de recibir los trabajos de las empresas de obra civil del tramo 1 para poder ellos continuar sobre los tableros del viaducto con los trabajos montaje de rieles de vía, colado de plintos y tope de anti descarrilamiento, instalación catenarias y de charolas metálicas para el cableado de dato como se muestra en la siguiente imagen 5.34



Imagen 5.34 trabajos posteriores a la entrega de tableros de viaducto terminados

Fuente: del autor mismo

# ***CAPÍTULO 3***

## ***SUPERVISIÓN DE OBRA***

Cuando los seres humanos comenzaron a abandonar la existencia nómada surge la necesidad del asentamiento de las primeras civilizaciones y con ello surge la capacidad inventiva de crear las primeras obras para su desarrollo y desde entonces la construcción se ha visto en la necesidad de ser supervisada por su propio inventor o bien por quien aportaba los recursos para realizarlas.

Si todos los seres humanos se rigieran bajo la lealtad, la ética con un gran compromiso con la honestidad no existiría al servicio de la supervisión ya que hacer las cosas bien y de forma correcta estaría al alcance del contratista, pero en la realidad vivimos en una sociedad en que debemos cuidar los valores y entonces es ahí que surge la necesidad de este servicio dentro de las obras de construcción que en esencia se encarga de vigilar que las obras se hagan bien.

La supervisión de obra es necesaria dentro de todo proyecto ya que las funciones que realiza son de vital importancia para garantizar que para nuestro caso de estudio un viaducto se construya tal como lo indico el diseñador e incluso tener la capacidad de detectar errores que el mismo diseñador pudo haber cometido. Es por esto por lo que la supervisión externa cuenta con un equipo multidisciplinario de especialistas que siguen el proceso constructivo de cerca para evitar los errores de ejecución en obra, además de tener la visión de prevenir, registrar y medir los recursos empleados en los trabajos, vigilar la administración de los recursos y ayudar a tomar decisiones que mejoren el desarrollo del proyecto.

### **3.1 ALCANCES E IMPORTANCIA DE LA SUPERVISIÓN DE OBRA.**

La Supervisión Externa de la Construcción del viaducto se encargó de vigilar que el proyecto se lleve a cabo cuidando la calidad de los trabajos, así como sus costos y tiempos de programación, verificando que el constructor se apegue al proyecto ejecutivo, la supervisión también apoyo a la residencia de obra con las gestiones necesarias ante las distintas dependencias para la ejecución de los trabajos.

Las funciones de la supervisión para este proyecto se encuentran señaladas en el artículo 115 del Reglamento de la ley de obras públicas y servicios relacionados con las mismas RLOPSRM y son las siguientes:

I. Al inicio de los trabajos se realizó una revisión de toda la información que integra el contrato para conocer todas las condiciones que ejercieron cada una las partes involucradas también se recabo y organizó la información respecto a proyecto ejecutivo para el inicio de ejecución de trabajos y así evitar en lo posible las interrupciones hasta concluirlos, en esta etapa inicial se pone sobre la mesa toda la información con la que se cuenta y se concentra, tomando en cuenta que la información que sea faltante tendrá que gestionarse y dar seguimiento hasta su obtención y difusión entre los involucrado.

II. Contribuir con la recepción física en obra a la residencia de obra y entregar trazos, referencias topográficas para inicio de los trabajos, esto para verificar que el contratista cuente con la información topográfica correcta ya que de esto depende evitar errores de niveles u ubicación de los elementos estructurales a construir como se puede ver en la imagen 5.35



Imagen 5.35 verificación de niveles en columnas con bancos de nivel revisados

Fuente: del autor mismo

III. Conseguir de parte de la dependencia las trayectorias de obras que no son visibles como lo son las obras inducidas subterráneas para evitar daños a instalaciones de otras instancias y en su caso prever los trabajos para su protección

IV. Llevar a cabo la integración en archivo de todos los documentos que se generen durante la ejecución de los trabajos el cual contiene los siguientes documentos:

a) “Documentos que integran el proyecto ejecutivo, como lo son los planos actualizados y autorizados, las especificaciones técnicas del proyectista además

de la normativa aplicable, con la finalidad de llevar un control en las actualizaciones del proyecto ejecutivo y conocer en conjunto con el contratista la información que requieren para ejecutar el viaducto

b) Los precios unitarios con su respectivo soporte de avances y programaciones de pagos, principalmente para conocer el avance financiero del proyecto y poder medir en dinero los recursos físicos empleados en el proyecto por parte de la contratista.

c) “Modificaciones autorizadas a los planos”; con la finalidad de contar siempre con las actualizaciones a los planos por parte del diseñador y asegurar que se construya con las últimas versiones

d) controlar la información que se integra en la bitácora electrónica así como el registro de reuniones mediante minutas, este registro permite llevar un control de los acuerdos cambios y requisiciones de obra adicional entre las partes involucradas el cliente, el diseñador, la supervisión y el contratista, con lo cual se respalda muchas veces la generación de precios extraordinarios de cosas que surgen sobre la marcha de los trabajos.

e) “Permisos, licencias y autorizaciones”; para evitar daños patrimoniales al cliente evitando sanciones en caso de no contar con alguna de estas autorizaciones principalmente en liberaciones de derecho de vía” la supervisión cuenta con un especialista en revisión del avance de la liberación del derecho de vía el cual da seguimiento del estatus de los predios para la planeación de trabajos que se pueden ejecutar.



Imagen 5.36 reuniones con dueños de predios para negociación de solicitudes

Fuente: del autor mismo

f) El presupuesto, así como los números generadores, los programas de obra así como los convenios que se generen del contrato, esta información es muy importante principalmente para la toma de decisiones y tener el conocimiento de los compromisos en fechas hablando de los programas, de los alcances en caso de los contratos y el registro de los generadores de obra para controlar el avance físico de la obra

g) “Reportes de pruebas del laboratorio y resultado de los ensayos”; estos documentos permiten al control de calidad tener un historial en el que los

elementos ejecutados cuenten con las características físicas que solicita el diseñador

h) “Manuales y garantía de la maquinaria y equipo”; estos documentos permiten conocer la operación de los equipos y ayudan a dar una visión a los involucrados para proyecciones de rendimiento de los equipos y saber qué resultados se pueden tener en cierto tiempo

VI. Llevar a cabo la verificación del cumplimiento del programa de ejecución de trabajos, para mantener informada a la residencia de obra de aquellas fechas o actividades que necesiten un análisis especial para llevar a cabo su cumplimiento o para tomar las medidas necesarias en caso aplicar alguna sanción económica.

El seguimiento al programa permite cuidar los recursos del cliente ya que si el contratista no cumple con fechas acordadas teniendo el derecho de vía para construir liberado y no construye la cantidad de elementos contra su programa de ejecución solo podrá cobrar lo construido y se tendrán que generar nuevos convenios que mitiguen los atrasos.

VII. Registro en la bitácora electrónica, el avance y cambios considerables en la realización de la obra con la frecuencia que establezca el contrato

La bitácora de obra es muy importante ya que es un registro ayuda a validar a tiempo sobre los acuerdos, cambios y haciendo que sean del conocimiento de todos los involucrados y así evitar abusos por alguna de las partes.

VIII. Organizar juntas entre la residencia de obra y el contratista para revisar los avances problemáticas y alternativas de resolución, registrando en minutas y bitácora electrónica de obra para su respectivo seguimiento.



Imagen 5.37 reuniones de trabajo para revisión de problemáticas.

Fuente: del autor mismo

Estas juntas ayudan principalmente a dar soluciones consensuadas a problemáticas de la obra entre las partes involucradas las cuales se registran y se da seguimiento para que se apliquen dichas soluciones

IX. Verificar que el constructor cumpla con las condiciones necesarias de higiene, seguridad, orden y limpieza en los trabajos.

Para esto se tienen especialistas que revisan en campo que se mantenga siempre la seguridad para realizar todos los trabajos que cuenten con señalamientos que se lleven a cabo pláticas con el personal de obra para el cuidado de su integridad física en la ejecución de los trabajos con los aditamentos necesarios como arneses líneas de vida y equipos de protección, en la higiene que el personal

cuenta con los servicios de sanitarios y limpieza que se realicen las recolecciones de residuos que permitan mantener en orden las arras de trabajo

X. la revisión de estimaciones de acuerdo con el artículo 130 del RLOPSRM para su autorización por parte de la residencia de obra y en conjunto con el contratista plasmar la firma correspondiente y oportuna para realizar los trámites de pagos, verificando su respectivo soporte documental.

Las estimaciones las integra el contratista y la supervisión las revisa para corroborar que los trabajos estén ejecutados y que los volúmenes coincidan con lo que fue colocado en la obra y con el proyecto ejecutivo, así conciliar las cantidades de los volúmenes y autorizarlos para su pago

XI. Control de las cantidades de obra de acuerdo con el catálogo de conceptos para verificar la cuantificación y conciliar con el contratista.

Para este control se realizan en distintos formatos los generadores de obra de acuerdo con los catálogos de conceptos de la propuesta del contratista, sobre la marcha surgen nuevos conceptos que se tienen que pagar siempre y cuando sean reconocidos por la supervisión para pago de acuerdo con la ley Obra pública

XII. Registrar el control de avance financiero estimado, así como el control de las amortizaciones de anticipos y penalizaciones económicas

El avance financiero permite al cliente tomar decisiones respecto al dinero ya invertido en el proyecto y poder realizar las proyecciones necesarias para tener optimizados los recursos y no sufrir atrasos por falta de pagos.

XIII. Respaldar los rendimientos de maquinaria equipos y personal, así como las cantidades de materiales de los conceptos del catálogo para su aprobación por la residencia de obra.

Los conceptos no previstos son tan importantes como los previstos debido a que también se tienen que pagar en lo justo, en esto la supervisión tiene como deber verificar la ejecución de dichos conceptos paso a paso con su debido registro

incluso fotográfico para demostrar a la contratista que los equipos y materiales utilizados son como se integran en sus conceptos no previstos.

#### XIV. Registrar y verificar la actualización de los planos del proyecto ejecutivo

Para tener un concentrado de planos actualizados se requiere de un especialista que lleve a cabo las tareas de recopilación, revisión y distribución de la información contenida en planos, boletines o memorias de cálculo, esta área es muy importante ya que agiliza la información y evita interferencias físicas en la obra

XV. Análisis detallado del programa de ejecución de obra que la residencia entregue a la contratista.

Dentro de este análisis la supervisión se encarga de revisar que lo entregado por la contratista sea lo más cercanos a la realidad tomando parámetros y mediciones registradas durante los trabajos y realizando proyecciones que permitan conocer las fechas término de la ejecución de los trabajos

V. Verificar la ejecución de los trabajos y comunicar al contratista oportunamente las ordenes de la residencia de obra.

La función del supervisor en la obra es con la finalidad de prever lo que el contratista pueda perder en su visión por avanzar rápidamente, el supervisor debe tener la capacidad de detectar una posible falla, poder trasmitirle al contratista y dar seguimiento hasta su corrección tomando en cuenta al cliente y sus observaciones.



Imagen 5.38 Revisión en conjunto Supervisión y contratista de acero de refuerzo para zapatas

Fuente: del autor mismo

XVI. Apoyar a la residencia para verificar que tanto los materiales como los equipos maquinaria y mano de obra cumplan con la calidad y características estipuladas en su contrato, presentando oportunamente los resultados de las pruebas de calidad

El control de calidad es una de las herramientas de la supervisión que le permite asegurar, desde el procedimiento hasta los elementos terminados que se encuentren bien hechos, ya que el personal encargado del aseguramiento de la calidad monitorea en las distintas etapas de la construcción, mediante pruebas a los materiales utilizados como los distintos tipos de concreto, el acero de refuerzo, el acero estructural, las terracerías, los pavimentos, los recubrimientos revisión de estos materiales a través del tiempo como en el caso del concreto hidráulico que se monitorea su madurez para alcanzar las resistencias solicitadas,

si bien la contratista cuenta con su personal de aseguramiento de calidad, la supervisión colabora en conjunto con ellos vigilando que sus técnicas, equipos y personal cuenten con las certificaciones necesarias para este servicio.

En los colados la supervisión verifica que todo el concreto cuente con las características solicitadas tomando muestras dependiendo del volumen suministrado para posteriormente ser ensayado y verificar que cumple con la resistencia de proyecto.



Imagen 5.39 pruebas de revenimiento en concreto fresco para verificación de trabajabilidad

Fuente: del autor mismo

En los trabajos de colocación de terracerías para estructuras de pavimento o en rellenos para estructuras la supervisión se encarga no solo de la revisión del

procedimiento sino también de la obtención de muestras de material, así como la medición de los distintos parámetros como grados de compactación, humedad y densidad



Imagen 5. 40 Revisión de compactación por parte de personal de control de calidad en rellenos con suelo cemento.

Fuente: del autor mismo

En el caso de las estructuras de acero de refuerzo se revisan desde los procedimientos de soldadura mediante inspección visual, pruebas de líquidos penetrantes o mediante ultrasonido y la revisión de los espesores de los recubrimientos de pintura aplicados como se muestra en la imagen 5.41



Imagen 5.41 revisión de espesores de pintura aplicados.

Fuente: del autor mismo

XVII. Avalar la etapa de terminación de trabajos ejecutados en el plazo estipulado.

En muchas veces el avance físico de los trabajos difiere del teórico programado por atrasos en imprevistos es importante que la supervisión prevea y también en conjunto con la contratista buscar en la ruta crítica las actividades que puedan ayudar a mejorar rendimientos que permitan cumplir los plazos de entrega.

XVIII. apoyar ala residencia de obra en la elaboración del finiquito de obra

Para el finiquito de la obra es importante la correcta realización de los registros de las cantidades de obra ejecutada, así como el control detallado de estimaciones, el

avance físico y financiero, pues con esta información se realiza un análisis de lo ejecutado y pagado contra el restante por ejecutar y pagar para que el cliente no pague de más al contratista al término de los trabajos.

XIX. Apoyar en las distintas actividades que requiera la residencia dentro de los términos de referencia estipulados en el contrato de la supervisión.

La supervisión es una herramienta que la dependencia o el cliente utiliza para tener una mejor administración de la obra interactuando en las distintas áreas del proyecto para tener un control oportuno de los recursos empleados en la obra

Dentro del alcance de la Supervisión Externa también se encuentra ayudar con la gestión para obtener el visto bueno de protección civil y las autorizaciones necesarias para la ocupación del inmueble.

### 3.1.1 ALCANCES DEL SERVICIO

La supervisión externa tiene dentro de sus funciones coordinar, supervisar la construcción, el cierre y finiquito de los trabajos del primer tramo del tren México - Toluca incluyendo los viaductos y estaciones en las distintas etapas de trabajos, es la encargada de verificar el cumplimiento de las especificaciones y proyecto ejecutivo aprobado, con su área de control de calidad se encargan de la revisión constante de procedimientos y cumplimiento de especificaciones en cada elemento construido. Además de asegurar que los costos y tiempos se ajusten al contrato y poder garantizar el adecuado funcionamiento y cumplimiento técnico de la obra.

### 3.1.2 PLAN DE TRABAJO

Antes de haber iniciado sus servicios, la Supervisión Externa presentó un plan de trabajo detallado, en el cual describió cómo llevó a cabo la supervisión en las diferentes etapas del proceso: revisión y análisis del Proyecto Ejecutivo del Tramo 1, construcción, control de calidad, gestión administrativa, entrega-recepción y el finiquito de los trabajos. Además,

incluyó las herramientas y formatos de control que aplicó en cada una de las disciplinas involucradas en la obra, conforme a lo siguiente:

- Terracerías
- Construcción viaducto.
- Construcción estaciones.
- Sistemas constructivos.
- Instalaciones eléctricas
- Instalaciones especiales.
- Instalaciones hidro-sanitarias.
- Instalaciones contra incendio y detección de humos
- Instalaciones de telecomunicaciones
- Instalaciones Especiales
- Equipos.
- Obras inducidas.
- Obras exteriores.
- Otras que demande el proyecto.

### 3.1.3 REUNIONES DE ANÁLISIS Y CONTROL

La supervisión se encargo de organizar y llevar a cabo reuniones entre personal de la contratista, la residencia de obra, proyectistas y personal involucrado para revisión del proceso constructivo, la gestión de trabajos y situaciones relevantes de la obra que requieran su especial atención para resolución de controversias e informar los avances de la ejecución semanalmente.



Imagen 5.42 Reunión de Obra con involucrados de contratista supervisión y proyectista.

Fuente: del autor mismo

La supervisión externa registra mediante minutas las observaciones, así como la entrega e información de compromisos o asuntos que requieran ser registrados para su debido seguimiento

#### 3.1.4 BITÁCORA ELECTRÓNICA DE OBRA

La Supervisión Externa conforme al artículo 46, último párrafo de la LOPSRM y el artículo 122 de su Reglamento desde el comienzo de los trabajos se realiza la apertura de dicha bitácora donde se registran mediante notas y archivos adjuntos que las respalden de parte del contratista en comunicación con la residencia de obra donde la supervisión se encarga del seguimiento a las notas ya que es un canal de comunicación escrita de forma electrónica en la cual los participantes deben contar con la evidencia o soporte necesario de cada una de sus notas informando de estas observaciones a la residencia de obra.

### 3.1.5 INFORMES

En un periodo de 15 días se registran las actividades ejecutadas por la supervisión informado de estas a la residencia de obra, a través de informes escritos que contengan la evidencia necesaria de las observaciones o hallazgos así como el seguimiento a correcciones de cada uno de los procesos verificados, así como análisis gráficos y registros fotográficos.

- Informe ejecutivo sobre el programa de ejecución físico-financiero comparado con el avance real de la obra. Se presenta por partidas, indicando porcentajes de avance, importes pagados, importes por pagar y evidencia fotográfica
- informe quincenal sobre el suministro y adquisiciones, comparado con el Programa de Utilización de Materiales establecido en el contrato.
- informe del avance físico real, comparado con el programa de avance físico propuesto por el contratista, incluyendo el detalle por cada una de las actividades ejecutadas.

### 3.1.6 REVISIÓN Y ANALISIS DEL PROYECTO EJECUTIVO

Las revisiones de proyecto ejecutivo comienzan desde la recepción de dicha información completando cada una de las partidas, así como la coordinación para ser entregados a la contratista en versiones autorizadas y actualizadas desde la mecánica de suelos , estudios topográficos medio ambiente , y los planos de los distintos elementos estructurales con una revisión integral del proyecto para evitar interrupciones por falta de información o ausencia de procedimientos en los detalles de los planos constructivos, con la finalidad de prever con cada una de las especialidades encargadas de acuerdo a los términos de referencia situaciones que no se tengan que corregir en obra si no desde el proyecto.

### 3.1.7 PROGRAMA

La supervisión externa vigilara y dará seguimiento al programa de ejecución de la contratista con la utilización de software especializado para programación y desarrollar los análisis de comparación en entre lo real y lo proyectado observando aquellas partidas que presenten desviaciones e informar oportunamente a la residencia de obra para su especial atención y correcciones necesarias.

### 3.1.8 AUTORIDAD DE LA SUPERVISIÓN EXTERNA

La residencia de obra es la autoridad máxima durante el proceso de ejecución de la obra ya que directamente es la responsable de verificar supervisar y controlar los trabajos, apoyándose de la supervisión a la cual delega funciones establecidas en sus alcances de contrato.

#### **La supervisión Externa tiene autorización para las siguientes actividades:**

La supervisión externa está facultada para Rechazar aquellos trabajos que no cumplan con las especificaciones del proyecto, así como a los equipos que no tengan las características que requieran los trabajos para su correcta ejecución.

Es muy importante la imparcialidad en el supervisor cuyo único enfoque debe ser el de hacer las cosas bien permite que tenga la capacidad de no aceptar trabajos que no cumplan con lo requerido ya que el contratista cuenta con los recursos para hacerlo bien solo necesita esa visión que ayude a que los trabajos se ejecuten correctamente, todas estas observaciones deben quedar debidamente registradas en minutas de campo u oficios que permitan dar seguimiento hacia su correcta ejecución, como ejemplo previo a la colocación de armados en los tableros no se permite colocar ningún armado hasta estar de acuerdo con los niveles tanto la contratista como la supervisión.



Imagen 5.43 revisión de alineación y niveles de cimbra previo a colocación de armados para tablero por parte de la supervisión.

Fuente: del autor mismo

1. “exigir al constructor el cumplimiento de los programas de construcción y solicitar el empleo de recursos necesarios para llevar a cabo los trabajos”.

En muchas ocasiones los contratistas por “ahorrar” en dinero más no en tiempo no cuentan con los recursos completos de equipo o personal y es cuando el supervisor debe notar estas faltas en los recursos y darlas a conocer por los medios necesarios antes de tener desviaciones en los tiempos de entrega.

2. Requerir al constructor que se apegue y respete los procedimientos técnicos constructivos correspondientes.

Los contratistas si no son supervisados en ocasiones no respetan los procesos constructivos por no esperar ya que el tiempo en recursos parados es pérdida en dinero para ellos y es por eso que intentan ahorrarse pasos en la espera como ejemplo el no esperar el tiempo suficiente para el descimbrado de un elemento o avanzar sin la verificación del personal de control de calidad y es por ello que es muy importante en esos momentos la presencia de la supervisión para vigilar estos pasos que son vitales en el proceso constructivo sean respetados.



Imagen 5.44 revisión de tensado de presfuerzo tras verificar la resistencia del concreto colocado.

Fuente: del autor mismo

3. Detener los trabajos en un determinado frente por no apegarse a los procedimientos constructivos en casos donde se comprometa la seguridad de la obra o del personal.

Un ejemplo muy claro es cuando se realizan colados continuos como en el caso de algunas columnas no es lógico avanzar si algo salió mal, porque no es lógico poner algo bien sobre algo que está mal y en el caso de las columnas comprometer la seguridad de los trepados superiores si un inferior está mal y si es necesaria la demolición de un elemento simplemente debe realizarse a pesar de que la contratista no quiera hacerlo.

4. Proponer adecuaciones en los planos, a la residencia de obra siempre y cuando no implique cambios significativos en especificaciones o dimensiones que comprometan el comportamiento estructural.

En algunas ocasiones los planos contenían algunas notas incorrectas o se señalaban cantidades que en la realidad no cabían o dobleces en diámetros que no aparecían claros por la escala y que se resolvían con simplemente aclarar algunas notas que no comprometen estructuralmente los elementos.

**La Supervisión Externa no tiene la autorización para las siguientes actividades:**

- a. Cambiar instrucciones que reciba de parte de la residencia de obra.
- b. Asignar concesiones con los alcances de ejecución del proyecto y las especificaciones.
- c. Autorizar acuerdos y compromisos, ya sean verbales o por escrito, vinculados a las obras bajo su supervisión.

- d. Aprobar modificaciones en los planos y especificaciones del proyecto sin contar con la autorización de la residencia de obra
- e. Instruir a la contratista la ejecución de trabajos fuera del alcance contractual o aprobarlos sin la autorización correspondiente de la residencia de obra
- f. Ordenar a la constructora la ejecución de trabajos que interfieran con la obra sin previa autorización de la residencia.
- g. Aprobar pagos de reclamaciones del constructor que ejecuta la obra.
- h. Avalar precios unitarios que no hayan sido contemplados en el catálogo de contrato o ajustes sin autorización de la residencia de obra.
- i. Aprobar modificaciones a las fechas o programas establecidos en el contrato sin la autorización de la residencia de obra.
- j. Instruir a la contratista la suspensión de obra.
- k. Aprobar pagos de trabajos que no se hayan ejecutado dentro de la normatividad y especificaciones requeridas.

### **3.2 NORMATIVA APLICADA AL PROYECTO.**

El proyecto se encuentra regido por las especificaciones del proyectista en estas especificaciones el proyectista detalla paso a paso el proceso constructivo mediante la ayuda de planos esquemas y notas que se deben revisar para conocimiento del proceso a seguir para ejecutar los trabajos en orden. Al existir imprevistos en el proceso constructivo y en el caso de no existir una especificación dentro del proyecto de cómo proceder ante alguna situación de problemática técnica se recurre en este proyecto a la normativa de la SCT en sus diferentes libros y capítulos que si bien esta normativa es mucho más específica para la construcción de infraestructura carretera varios de sus libros fueron aplicados dentro de este proyecto para calidad de materiales CMT, y conceptos de obra de cimentación y superestructura del libro de construcción CTR y en algunos casos donde era necesario ser más estricto, también se recurría a la consulta en las normas técnicas complementarias del Reglamento de construcción de la ciudad de México

Para la estructura metálica se rigió bajo la normativa de la AWS (American Welding Society) por sus siglas en ingles Sociedad Americana de Soldadura la cual es una organización a nivel mundial para desarrollar en la ciencia, la tecnología y la aplicación de soldadura, procesos de unión y corte, que incluyen soldadura fuerte, soldadura y pulverización térmica.

Aplicando los distintos códigos dependiendo del tipo de estructuras a emplear en el proyecto, así como el seguimiento los planes de inspección y pruebas aplicables a los distintos procesos constructivos en los que se detalla las pruebas y la frecuencia en que deben realizarse.

***CAPÍTULO 4***  
***PROBLEMATICAS DEL***  
***PROYECTO.***

## 4.1 PROBLEMÁTICA SOCIAL

Debido a que no hubo una liberación oportuna del derecho de vía esto provoco atrasos en los trabajos ya que la logística de concurso era realizar un tren de trabajos con actividades continuas lo cual no se pudo lograr debido a los tramos intermitentes liberados ya que impedían dar secuencia a los trabajos provocando tiempos muertos de equipos y mano de obra lo que obligó a reducir la plantilla de equipos hasta tener tramos francos de derecho de vía liberados, y una vez después de entrar a laborar a los tramos “liberados” se presentaron bloqueos por parte de comuneros exigiendo pago por terrenos que ya habían sido pagados pero que sus representantes nunca hacían llegar a los comuneros lo que provocó paros de hasta 4 meses en lo que se resolvían los conflictos y se accedía nuevamente con la presencia de la fuerza pública para impedir paros por grupos de comuneros.



Imagen 6.1. Bloqueo por grupo de comuneros

Fuente: Periódico El Sol de Toluca



Imagen 6.2. Grupos de protesta en contra del proyecto.

Fuente: Periódico El Sol de Toluca

Los predios donde se desarrolla el Tren Interurbano México–Toluca en el municipio de Ocoyoacac pertenecen a la Federación, y, adicionalmente los pueblos de San Jerónimo Acazulco y Santa María Tepezoyuca recibieron pagos de parte de la secretaria de comunicaciones y transportes SCT por 223 millones 343 mil 561 pesos y 69 millones 560 mil 437 millones respectivamente.

la dependencia precisó que “los predios sobre los que se ejecuta el Tren Interurbano México-Toluca en Ocoyoacac son propiedad federal; fueron expropiados en favor de la Comisión Federal de Electricidad en 1943, quien los cedió a la SCT para continuar con el paso al tren”.

Para retribuir a quienes aprovechaban los predios bajo las torres de la CFE y lograr su desocupación, la SCT indemnizó a los afectados, según consta en el convenio firmado entre la Representación Comunal y la SCT el 16 de octubre

del 2015, previa autorización de la Asamblea de Comuneros del 9 de octubre de 2015, donde se otorga la transmisión de derechos de posesión.

No existen afectaciones ambientales ni violaciones a los Derechos Humanos como afirman dichas comunidades. Además, el proyecto cuenta con autorización federal otorgada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), a través de la Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental, emitida el 25 de abril de 2014, para su ejecución



Imagen 6.3. Protesta en zócalo de la ciudad.

Fuente: Periódico El Sol de Toluca

Asimismo, el proyecto dispone de una autorización para el cambio de uso de suelo, emitida por la Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos (DGGFS), que permite la remoción de vegetación forestal, conforme al oficio resolutivo SGPA/DGGFS/712/0117/16, fechado el 21 de enero de 2016.

La manifestación de los comuneros responde a conflictos internos que son aprovechados por actores externos y despachos de abogados con el fin de obtener beneficios adicionales. Después de no haber logrado detener las obras mediante el derecho de vía, las comunidades continuaron su protesta contra la construcción del Tren Interurbano, alegando que se estaban afectando los manantiales que proveen de agua a sus poblaciones lo cual es falso ya que el recurso hídrico existe el problema es que las comunidades no cuentan con la infraestructura para aprovecharla ya que se realizaron obras para dar paso a los ríos y venedos existentes, y cuando por maniobras se afectaba la conducción, los mismos comuneros impedían el acceso a las brigadas a realizar la reparación provocando el desperdicio de agua mientras atraían a los medios de comunicación.



Imagen 6.4. Comuneros de Coapanoaya impiden la reparación de fuga de agua  
Fuente: Periódico El Sol de Toluca

## 4.2 PROBLEMÁTICA TÉCNICA

### 4.2.1 CIMENTACIÓN

En los trabajos en pilas de cimentación se presentaron diferentes problemas durante la excavación se presentaban caídos en las paredes de la perforación principalmente donde se encontraban estratos con boleos empacados los cuales provocaban cavernas la cuales por la profundidad de la pila de cimentación se elevaba el costo de colocar ademe metálico por lo que se procedía rellenar las cavernas con un mortero de  $100 \text{ kg/cm}^2$  y se procedía a re perforar para estabilizar las paredes de la perforación como se muestra en la siguiente imagen.



Imagen 6.41 perforación con estabilización de cavernas con concreto.

Fuente: del autor mismo

Durante la colocación del armado al interior de la perforación se presentaban caídos donde atrapaban el armado e impedían recuperarlo por lo que se rellenaba la perforación y se rediseñaba la zapata aumentando la cantidad de pilas de cimentación.

Después de la revisión con pruebas de integridad a las pilas de cimentación se presentó un caso peculiar en las pilas de cimentación que se ubicaban al margen del río Lerma ya que por los químicos presentados por el agua freática del río se produjo una baja resistencia en el concreto colocado por lo que se procedió a realizar una zapata más grande y con un nuevo arreglo de pilas de cimentación.

En ocasiones cuando el enderezado de las varillas de las pilas de cimentación después del descabece se llegaban a quebrar se restituían mediante acopladores extrusionados los cuales evitaban realizar soldadura o cuerda a la punta de la varilla para darle continuidad ya que se colocaba un coplee tubular de acero donde se insertaban la varilla quebrada y su reposición, después mediante una mordaza hidráulica dejando prensado el conector hacia la varilla.

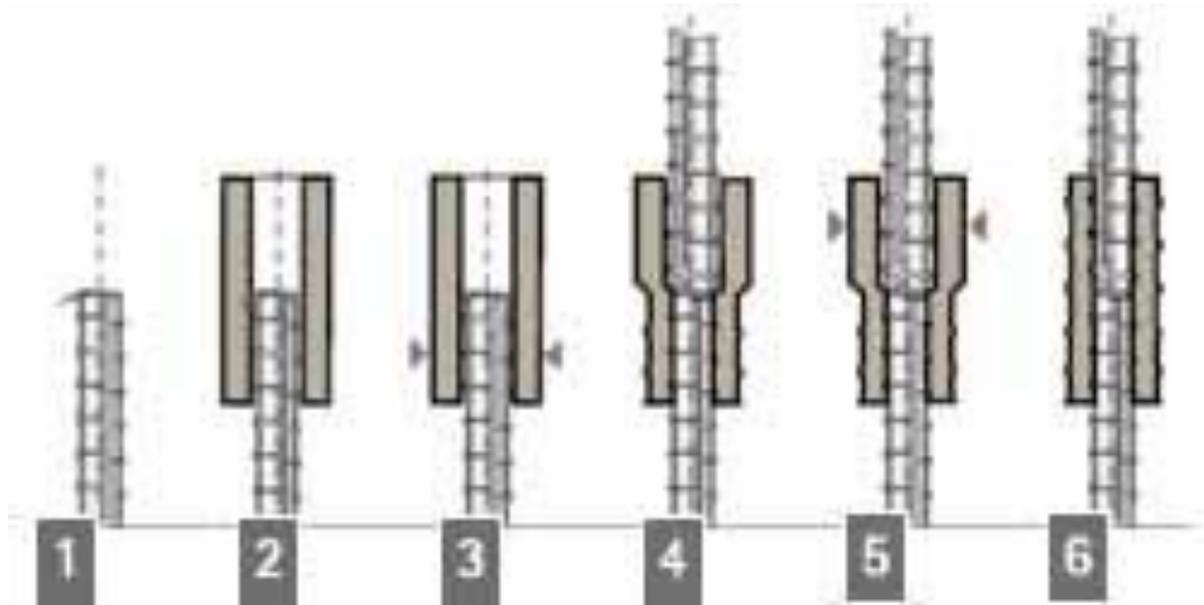


Figura 1.1. Pasos para conectores extrusionados

Fuente: mexpresa.com



Imagen 6.42 colocación de conectores extrusionados

Fuente: del autor mismo



Imagen 6.4 varilla conectada

Fuente: del autor mismo

#### 4.2.2 SUPERESTRUCTURA

En el caso de las columnas se presentaron accidentes por un mal aseguramiento en los contravientos de sostenían el armado donde un camión se atoro con un uno de los cables de contraviento jalando el armado y provocando su colapso donde se tuvo que demoler parte de la columna para lograr un traslape en el acero que no fue dañado en el colapso.



Imagen 6.5 Caída de armado sobre vialidad por accidente con contravientos.

Fuente: del autor mismo



Imagen 6.6. Retiro de armado de la vialidad

Fuente: del autor mismo

En el viaducto 1B se presentó un accidente en el montaje de las traveses de claros continuos en uno de los cruces con vialidad, donde por una falla en el apeo provisional de las traveses provoco el desplome de 4 traveses, el apeo sufrió un colapso que no provoco ninguna pérdida humana debido a que la armadura de la estructura comenzó una deformación que alerto el retiro de personal, posterior a esto se procedió a retirar las traveses que cayeron y a su sustitución por otras nuevas , colocando cimentación y reforzando la estructura del apeo provisional.



Imagen 6.7 Colapso de apeo provisional en apoyo 118 del viaducto 1B

Fuente: del autor mismo



Imagen 6.8. Caída de 4 traves del claro continuo

Fuente: del autor mismo



Imagen 6.81 reforzamiento de apeo provisional

Fuente: del autor mismo

En el tablero del viaducto 4 se presentó un problema en uno de los diafragmas que se colaban en una segunda fase no alcanzo la resistencia de proyecto lo cual requirió la demolición del mismo cuidando las conexiones del acero de refuerzo y remplazando aquellas varillas que se vieron afectadas durante la demolición, para su posterior reposición con un concreto de la resistencia requerida



Imagen 6.9. Demolición de diafragma viaducto 4

Fuente: del autor mismo

***CAPÍTULO 5***  
***CONCLUSIÓN.***

El proyecto del tren interurbano México Toluca si bien se ha visto con atrasos y sobrecostos es un proyecto que es necesario para el traslado de pasajeros de la ciudad de México al valle de Toluca ya que se reducirían accidentes viales, así como costos de mantenimiento de la infraestructura carretera, la emisión de contaminantes de los automóviles, y reduciendo el tiempo de traslado.

Es un proyecto en el cual se ha demostrado la posibilidad de construir rutas de trenes de pasajeros como en los países europeos con procedimientos constructivos similares con aplicación de ingeniería y mano de obra mexicana si bien se ha visto en los temas anteriores los viaductos fueron adaptados a la tipología del terreno, las problemáticas de atrasos modificaron el proyecto adaptando soluciones estructurales como las autocimbras y construyendo por primera vez en México claros de hasta 64 m en 14 días, es un proyecto que aporó conocimientos de nuevos procedimientos a profesionistas, técnicos y constructores que participaron en este proyecto.

El supervisor de obra además de contar con los conocimientos técnicos específicos para cada proceso constructivo, es el responsable y encargado de tener la perspectiva de estar un paso delante de la contratista, con una actitud preventiva cuidando detalles que muchas veces el contratista en el día a día comienza a no percibir por tener más presión por el avance físico de la obra y descuidando mínimos detalles que resultan con gran interferencia al no ser bien ejecutados y no por falta de recursos si no por observaciones que a su debido tiempo pueden mejorar los resultados, el supervisor debe ser capaz de formar parte del equipo de construcción y poder interactuar con todos los involucrados para evitar una visión de túnel que impide anticiparse a posibles problemáticas futuras dentro del proceso constructivo, compartiendo y escuchando la opinión de todos los integrantes del equipo buscando un fin común que es el proyecto.

El participar en un proyecto tan multidisciplinario como lo es el tren interurbano se adquieren conocimientos bastos sobre los procedimientos constructivos ejecutados, y principalmente en la toma de decisiones cuando se presentan problemáticas técnicas, sumándose como supervisor para aportar a la prevención de estas, así como en el manejo y análisis de la información dentro de un equipo de trabajo, en la organización y delegación de actividades de personal a cargo. también ampliar las habilidades en la comunicación e interacción con equipos de trabajo de distintas disciplinas y oficios.

La organización y manejo de información que te permita agilizar decisiones óptimas. Además, que el trabajo entre las distintas áreas que aplican para la correcta ejecución de una obra de esta magnitud nutre de forma integral al conocimiento del ingeniero.

Sin dejar atrás la aportación de las experiencias del personal que labora que aplico a soluciones de problemáticas en otros proyectos, lo cual suma a la mejora continua para un desarrollo de habilidades tanto técnicas como humanas ya que en estos proyectos la suma de actitudes en un mismo propósito marca una gran diferencia para su desarrollo.

En lo personal la comunicación y planeación forma gran parte para alcanzar éxito en la ejecución de estos proyectos.

## GLOSARIO

**Alero:** parte de una estructura que se encuentra en voladizo o sobre sale de la que se encuentra anclado

**Barra gewi:** son barras de acero que proporcionan mayor resistencia a la tensión que una varilla convencional las cuales se unen con tuercas

**Bogie:** carros que se encuentra conformado por varios valeros de acero para evitar la fricción entre las estructuras durante su deslizamiento

**Cantiléver:** es un elemento estructural muy rígido que sobresale de un lado y se encuentra apoyado del otro.

**Esparrago:** es el término que se utiliza para un tornillo sin fin que únicamente tiene cuerda de un extremo a otro sin contar con algún tipo de cabeza que permite introducirlo en orificios por ambos lados

**Gato hidráulico de tensado:** es un equipo que funciona con el bombeo de aceite hidráulico con el cual se sujetan los cables para ser tensados con la carga requerida

**Gato traga torón:** es un equipo que tensa cables sin límite en la longitud de cable que se requiera tensar utilizado principalmente para maniobras de izaje

**Lechada:** es una mezcla de cemento y agua en una proporción que se utiliza para inyectar los ductos de presfuerzo y dar más durabilidad al acero de presfuerzo

**Multitorón:** se refiere a que se pueden sujetar varios cables de presfuerzo al mismo tiempo

**Monotorón:** cuando solo se puede sujetar un solo cable de presfuerzo

**Postensado:** es el proceso de tensado del acero de presfuerzo después de que el elemento estructural ha sido colado y ha alcanzado su resistencia

**Pretensado:** es el proceso de tensado del acero de presfuerzo antes de que el elemento estructural sea colado

**Rollers:** es un balero de acero que tiene un mayor ancho de rodaje que diámetro

**Tendón:** es un cable de presfuerzo

**Torón:** es un conjunto de varios cables de presfuerzo

**Tensado:** es el proceso en el cual se estira el acero de presfuerzo para aumentar la resistencia de los elementos estructurales

**Vaina:** es el recubrimiento o ducto en el cual se introduce algún elemento de acero para que este no tenga contacto con el concreto hidráulico

## REFERENCIAS

Términos de referencia para la supervisión, administración y control para la construcción del tramo ferroviario “Zinacantepec – kilómetro 36+150” de 36.150 kilómetros de longitud, con inicio en el kilómetro 0+000 y terminación en el kilómetro 36+150, en el estado de México, el cual forma parte del proyecto integral de transporte de pasajeros “tren interurbano México -Toluca”

<https://normas.imt.mx/busqueda-desplegable.html#006>

[normativa SCT N·CTR·CAR·1·02·006/01](#)

[normativa SCT N·CTR·CAR·1·02·007/01](#)

[https://www.mexpresa.com/productos/cimbra\\_a.php](https://www.mexpresa.com/productos/cimbra_a.php)

Emilio Herrero J. 2007 Madrid España Manual de cimbras autolanzables confederación nacional de la construcción

Carlos J bajo pavia 2015 Madrid España Manual de cimbras autolanzables Torna punta Ediciones

Manual de ensamble de Autocimbras Berd

Proyecto ejecutivo del tren interurbano México Toluca sener ayesa.

Periódico el sol de Toluca

<https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/toluca?redirect=true>

<https://sct.gob.mx/index.php?id=4119>

[www.sct.gob.mx](http://www.sct.gob.mx)

[www.maurer-china.com](http://www.maurer-china.com)

[www.ulmaconstruction.com](http://www.ulmaconstruction.com)