



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Proceso constructivo del Viaducto Ignacio Zaragoza

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero Civil.

P R E S E N T A

José Alberto Romero Torres.

ASESOR(A) DE INFORME

M.I. Miguel Ángel Rodríguez Vega.



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2022.

Introducción.	4
Capítulo 1. Antecedentes.	5
1.1 Ubicación.	5
1.2 Necesidad de un nuevo puente.	6
1.3 Compromiso Político.	6
Capítulo 2. ¿Cómo está conformado el puente?	7
2.1 Definiciones (Glosario).	7
2.2 Datos Generales Viaducto.	8
Capítulo 3. Cimentación Profunda.	9
3.1 Armado de pilas de cimentación.	9
3.2 Perforación de pilas de cimentación.	12
3.3 Colado.	15
3.4 Excavación de zapatas de cimentación.	18
3.5 Plantilla pobre.	19
3.6 Descabece de pilas de cimentación.	20
Capítulo 4. Cimentación.	21
4.1 Armado de zapatas.	21
4.2 Cimbra en zapatas.	23
4.3 Colado de zapatas.	25
Capítulo 5. Columnas (subestructura).	26
5.1 Armado de columnas.	26
5.2 Cimbra de columnas.	28
5.3 Colado de columnas.	29
Capítulo 6. Fabricación de dovelas (superestructura).	31
6.1 Patio de prefabricados.	31
6.2 Mesas de colado.	31
6.2.1 Fabricación de mesas de colado.	31
6.2.2 Control topográfico.	32
6.3 Armado de dovelas.	34
6.4 Preparaciones para presfuerzo.	36
6.5 Cimbra de dovelas.	38
6.5.1 Cimbra metálica.	38
6.5.2 Llaves de cortante.	39
6.6 Colado de dovelas.	40
6.7 Dovela de pila.	42
6.7.1 Armado de dovela de pila.	42
6.7.2 Cimbra de dovela de pila.	42
6.7.3 colado de dovela de pila.	44

Capítulo 7. Montaje de dovelas.	45
7.1 Preparación para la primer dovela.	45
7.1.1 Cimbra falsa (andamios).	45
7.1.2 Colado de junta constructiva.	46
7.2 Montaje de dovelas subsecuentes.	48
7.2.1 Secuencia de montaje.	48
7.2.2 Barras temporales y presfuerzo superior.	49
Capítulo 8. Cierre de claros.	52
8.1 Presfuerzo inferior.	52
8.2 Juntas constructivas.	53
Capítulo 9. Conclusión y experiencias.	54
9.1 Conclusión.	54
9.2 Experiencias.	54
Índice de Imágenes.	55
Bibliografía.	58

Introducción.

El presente informe tiene como objetivo documentar el trabajo profesional desarrollado durante los años 2011 y 2012, para poder acreditar la experiencia profesional adquirida durante la construcción del proyecto Viaducto Zaragoza. Participé en el desarrollo del proyecto y en la construcción del Viaducto y puente atirantado Ignacio Zaragoza, aunque este escrito trata únicamente de la parte del viaducto.

Lo interesante de este proyecto es la implementación en México de tecnología nueva para la construcción de este tipo de puentes, el doble voladizo de las dovelas, da al puente terminado una elegancia única, la construcción de prefabricados en match cast, reduce tiempos y elimina riesgo de errores en el presfuerzo.

Durante los últimos 10 años he trabajado en distintas empresas en la industria de la construcción, combiné los estudios en la facultad de Ingeniería con trabajo de medio tiempo en obra. Incluso durante un tiempo estude en el día y trabajé en las noches en la construcción del Viaducto bicentenario en el año 2010.

En todos los trabajos he adquirido experiencia, aplicado los conocimientos adquiridos en la facultad y aprendido habilidades nuevas que podré aplicar en otros trabajos.

He crecido en cada una de las empresas que trabajé, en puestos laborales como checador de acarreo, elaboración de estimaciones, residente técnico, residente de obra, superintendente, coordinador de proyecto e incluso gerente de área de cimentación profunda en el tren interurbano México-Toluca.

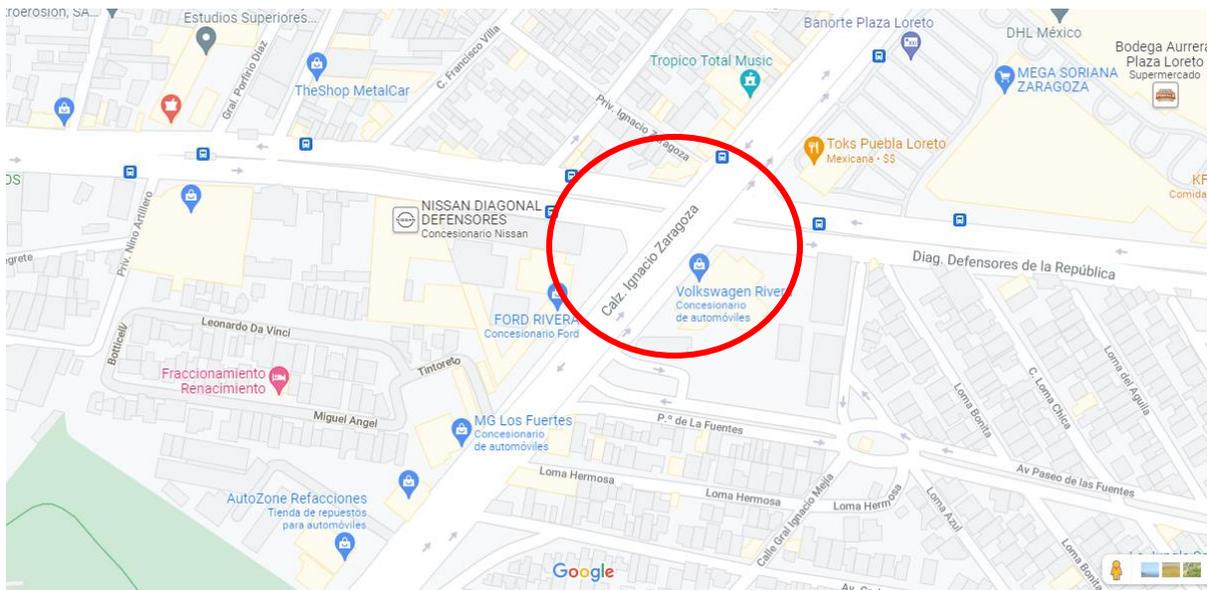
Capítulo 1.

Antecedentes.

1.1 Ubicación.

La ciudad de Puebla de Zaragoza, en el estado de Puebla, que se ubica en el área Este/central de la república mexicana. (1) Con una superficie de 546 Km^2 y con una elevación de 2,135 msnm. (2) La población aproximada es de 1,434,062 habitantes.

El puente Zaragoza híbrido atirantado y viaducto en doble voladizo se ubica exactamente en el cruce de la Calzada Ignacio Zaragoza y Diagonal Defensores de la República.



(3) Imagen 1.1 ubicación en Google maps del puente. Fuente Google.

-
- (1) https://www.google.com/search?q=puebla&rlz=1C1ONGR_esMX973MX973&ei=QNddYayrFsClqtsP8dGegAM&ved=0ahUKEwisy6jXrar1AhXAkmoFHFGoBzAQ4dUDCA4&uact=5&og=puebla&gs_lcp=Cgdn3Mtd2l6EAMyCAguEIAELEDmGgILhCABBCxZlICAAQsQMqgwEYBQgAEIAEMggIABCABBCxAzIICAAQsQMqgwEYBQgAEIAEMgslhCABBCxAxCDATIICAAQgAAQsQMqCAGAELEDEIMBOgclABBHELADogclABCwAxBDogolLhDIAxCwAxBDsgQIQRgASgQIRhgAUKcHWKcHYPOkaAFwAngAGRAYgBkQGSAQMwLjGYAQCgAQHIAQjAAQE&scient=gws-wiz
 - (2) https://es.wikipedia.org/wiki/Puebla_de_Zaragoza
 - (3) Imagen tomada de Google maps <https://www.google.com.mx/maps/@19.0640843,-98.1805831,17.75z>

1.2 Necesidades de un nuevo puente.

El cruce de la Calzada Ignacio Zaragoza y la Diagonal Defensores de la República, es afectado diariamente por un número importante de vehículos que se dirigen al centro histórico de la ciudad o a la Zona Histórica de los Fuertes. El tráfico que se intensifica sobre la calzada Zaragoza se verá disminuido con este nuevo puente de 4 carriles (2 al noreste y 2 al suroeste).

Además de las mejoras en cuestión de movilidad, el Puente Zaragoza era una de las obras de infraestructura más importantes del gobierno del estado, siendo uno de los puentes atirantados en construcción que serían emblemáticos de la ciudad.

1.3 Compromiso Político.

La construcción del puente atirantado Zaragoza, inicio en el año 2011, debido a que en ese mismo año se celebraba el cambio de administración en el gobierno de Puebla, se dio inicio a una serie de obras de infraestructura en el estado.

El nuevo gobernador Rafael Moreno Valle, hacia visitas periódicas para ver los avances de las obras, en especial al puente Zaragoza por estar en una de las avenidas principales.

El programa de ejecución del puente se ajustó a petición del gobernador para poder inaugurarlo antes de la conmemoración de la batalla de Puebla del siguiente año (mayo 2012).

Capítulo 2.

¿Cómo está conformado el puente?

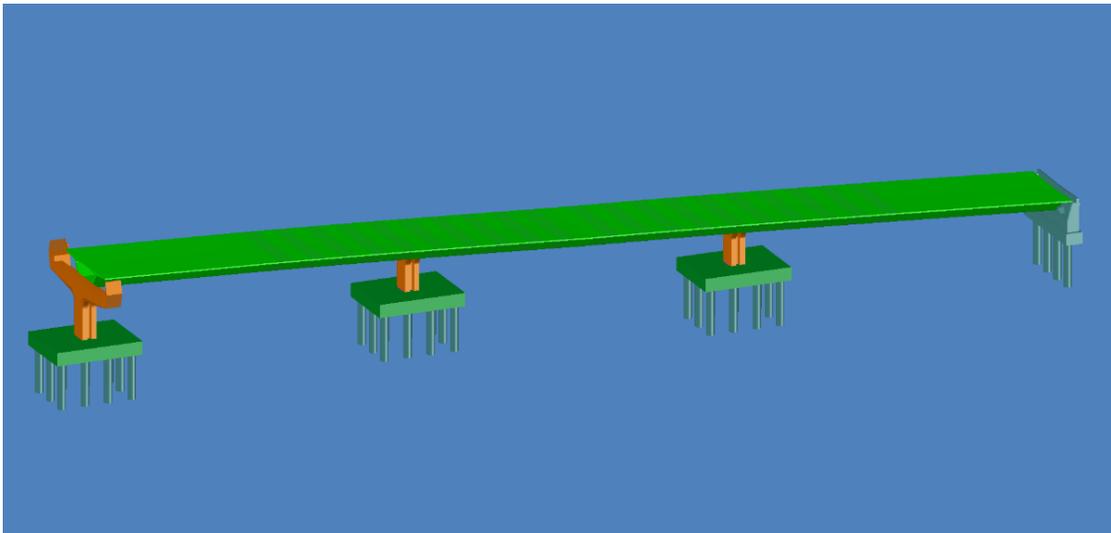
2.1 Definiciones (glosario).

- **Apoyos.** Elementos estructurales verticales del puente, columnas o mástil.
- **Cables de presfuerzo.** Están conformados por cables de acero (torones de 7 alambres de baja relajación), con diámetro de 15 mm; $F_{pu}=1860 \text{ MPa}$ ($18,900 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$).
- **Claros.** Es la distancia que hay entre columna y columna.
- **Dovela.** Elemento estructural horizontales del puente, sección de trabe de cada claro.
- **F'c.** Se refiere a la resistencia del concreto después de ciertos días, la mayoría es después de 28 días.
- **Fpu.** Esfuerzo último de los torones de acero, carga donde el cable se fatiga, se mide en mega pascales.
- **Montaje.** Es la maniobra para elevar y fijar un elemento estructural como una trabe, con ayuda de grúas.
- **NAF.** Nivel de aguas freáticas en el subsuelo.
- **Pila de cimentación.** Elemento estructural cilíndrico, de concreto reforzado, colado en sitio, transmite las cargas de la superestructura al suelo.
- **Cimentación.** Es un grupo de elementos estructurales y su misión es transmitir las cargas de la construcción o elementos apoyados a este al suelo distribuyéndolas de forma que no superen su presión admisible ni produzcan cargas zonales.
- **Tablero.** Elemento estructural horizontal de la zona atirantada, conformado por 2 trabes longitudinales las cuales son sostenidas por los tirantes del puente.
- **Tirantes.** Elementos estructurales formados por cables de presfuerzo anclados al mástil.

2.2 Datos generales del viaducto.

El viaducto está compuesto de los siguientes elementos:

- La primera parte del viaducto se compone de 3 apoyos (2 columnas con cabezal y 1 estribo), la longitud de esta primera parte es de 125 mts de viaducto.
- La segunda parte del viaducto se compone de 7 apoyos (6 columnas con cabezal y 1 estribo), la longitud de la segunda parte es de 312.5 mts.
- En total del viaducto son 2 estribos y 8 columnas con claros de 62.25 mts al centro de cada apoyo.
- 12 pilas de cimentación en cada columna, de 1.5 mts de diámetro, apoyadas en estrato rocoso a una profundidad de 25 a 30 mts.
- Zapatas de cimentación con dimensiones 16.5 mts x 13 mts y 2.5 mts de peralte.
- Las columnas tienen una altura variable de 6 mts a 12.5 mts.
- 8 claros en total de viaducto, con dovelas prefabricadas colocadas en doble voladizo.
- 4 carriles de superficie de rodamiento.



(1) Imagen 2.1 modelo 3D con elementos generales del puente. Fuente del autor.

Capítulo 3.

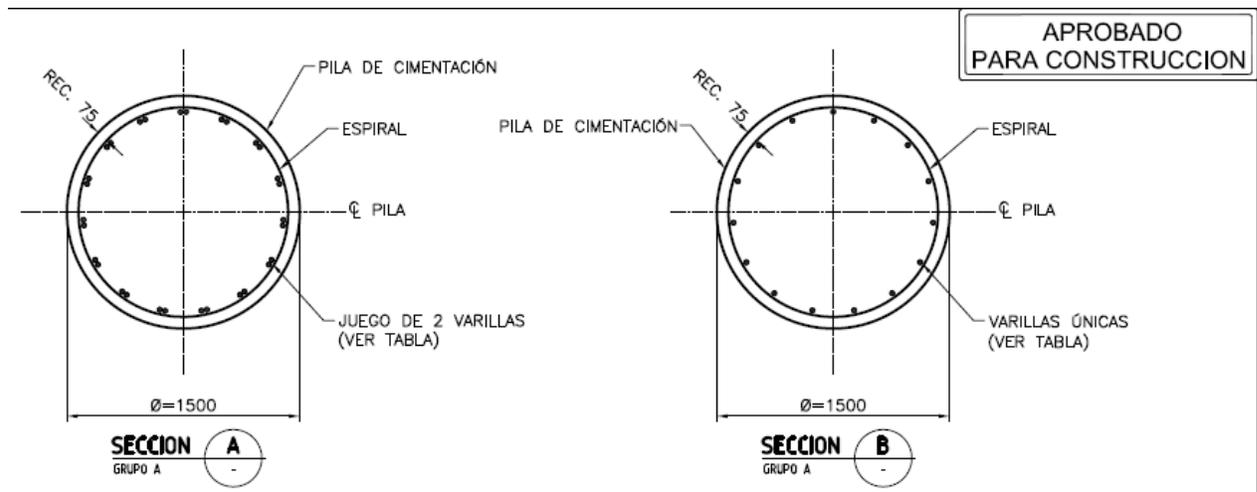
Cimentación profunda.

La cimentación profunda se divide en 2 tipos de elementos:

- **Pilotes de fricción.** (1) Aquellos que transmiten cargas al suelo principalmente a lo largo de su superficie lateral, podrán usarse como complemento de un sistema de cimentación parcialmente compensado para reducir asentamientos transfiriendo parte de la carga de la cimentación a estratos más profundos.
- **Pilotes de Punta o Pilas.** (1) Son los que transmiten la mayor parte de la carga a un estrato resistente (roca) por medio de su punta. Generalmente se llama pilas a los elementos de más de 80 cm de diámetro colados en perforación previa.

3.1 Armado de pilas de cimentación.

Las pilas de cimentación diseñadas para el viaducto y el puente atirantado tienen un diámetro de 1.50 mts a concreto terminado, los armados son de sección circular con zunchos de 1.35 mts, en la parte superior lleva 15 varillas rectas de calibre #10 (1 ¼”) y 15 bastones de refuerzo del mismo diámetro, en el resto de la longitud de la pila hasta su desplante se le da continuidad a las 15 varillas de calibre #10. El refuerzo horizontal de la pila está formado por zuncho o espiral de varillas calibre #4 (1/2”). En la Imagen 3.1 se observa el armado de las pilas en un corte transversal.



(2) Imagen 3.1. sección transversal del armado de las pilas. Fuente plano EST -VIA-GE-1130 DEL PROYECTO INTEGRAL VIADUCTO IGNACIO ZARAGOZA.

(1) NORMAS Y ESPECIFICACIONES PARA ESTUDIOS, PROYECTOS, CONSTRUCCIONES E INSTALACIONES. Volumen 4 Seguridad Estructural. Tomo IV Diseño de Cimentaciones.
https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/normateca/INIFED/03_Normatividad_T%C3%A9cnica/02_Normas_y_Especificaciones_para_Estudios/04_Volumen_4_Seguridad_Estructural/Volumen_4_Tomo_IV.pdf

En toda la longitud del armado de la pila el paso del zuncho (separación entre cada vuelta de espiral) es de 150 mm excepto en la parte superior, los 4 mts superiores de la pila el paso se reduce a 75 mm para dar mayor refuerzo a la pila.

Las varillas longitudinales deben cumplir con el traslape 1,500 mm y no debe exceder el 50% de traslapes en una misma sección, es decir en una sección se traslapa 1 de cada 2 varillas longitudinales. En el caso de este proyecto se utilizaron conectores mecánicos (coples de acero) para conectar las varillas longitudinales. Así mismo para garantizar el refuerzo de la pila los 8.50 metros superiores del armado no deben tener traslapes. Lo anterior se debe considerar en el despiece del acero de cada pila. En la Imagen 3.2 se observa el armado longitudinal de las pilas de cimentación en los planos estructurales.

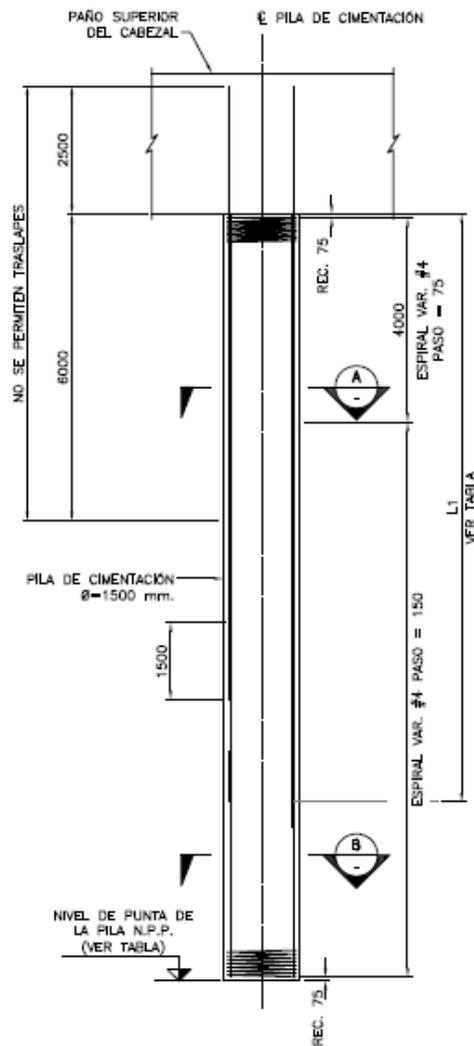
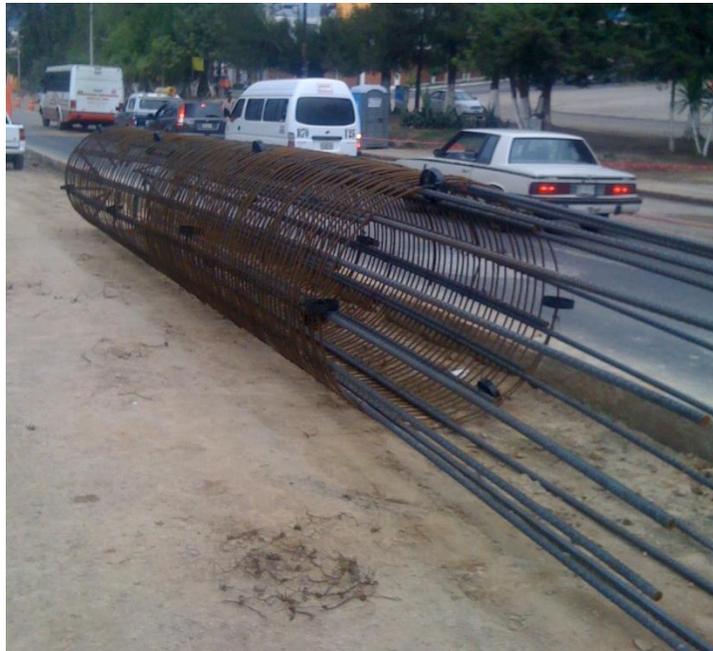


Imagen 3.2 sección longitudinal del armado de la pila de cimentación. Fuente plano EST - VIA-GE-1130 DEL PROYECTO INTEGRAL VIADUCTO IGNACIO ZARAGOZA



(1) Imagen 3.3 armado de pila de cimentación. Fuente del autor.



(2) Imagen 3.4 armado de pila de cimentación. Fuente del autor.

En las imágenes 3.3 y 3.4 se observa el armado de las pilas de cimentación con los conectores mecánicos y con la reducción del paso del zuncho.

3.2 Perforación de pilas de cimentación.

Para la perforación, primero se debe ubicar el centro de la pila con ayuda del equipo de topografía, las coordenadas de cada elemento se encuentran en el proyecto liberado. Una vez ubicado el centro y trazado en campo la circunferencia se da inicio a la perforación.

Este proceso se hace con perforadoras que tengan un barretón suficientemente largo para alcanzar la profundidad de desplante, las herramientas propias de las perforadoras, son brocas de diferentes diámetros y botes con dientes para perforar roca. El material producto de la perforación se retira de la obra cargándolo a camiones de volteo y llevándolos a algún tiro autorizado.



(1) Imagen 3.5 Inicio de perforación con broca. Fuente del autor.

En la imagen 3.5 se observa la perforadora y las diferentes herramientas a utilizar, entre ellas una broca y un bote de compuerta para arcillas.

En algunas perforaciones se utilizan lodos bentónicos o polímeros para evitar derrumbes (caídos) en las perforaciones. En el caso específico de estas perforaciones no fue necesario la utilización de dichos sistemas de contención.

El informe presentado por la empresa encargada de hacer los estudios de mecánica de suelos y emitir las recomendaciones que en este caso fue R Poucell y Asociados, en el subcapítulo 6.3 titulado *Perforación y colado de pilas*, se leen las primeras recomendaciones.

6.3 Perforación y colado de las pilas

Las recomendaciones para la perforación y el colado de las pilas se detallan en el Capítulo 12.

Se hace notar que será necesario llevar un control meticuloso de su profundidad de apoyo para asegurar su buen comportamiento. También deben observar que para construir la mayoría de las pilas será necesario cruzar materiales granulares, por lo que puede ser necesario utilizar un ademe. Se recomienda hacer pruebas de perforación para verificar si el relleno superficial se mantiene estable. En caso contrario será necesario usar bentonita, ó un ademe metálico perdido ó recuperable.

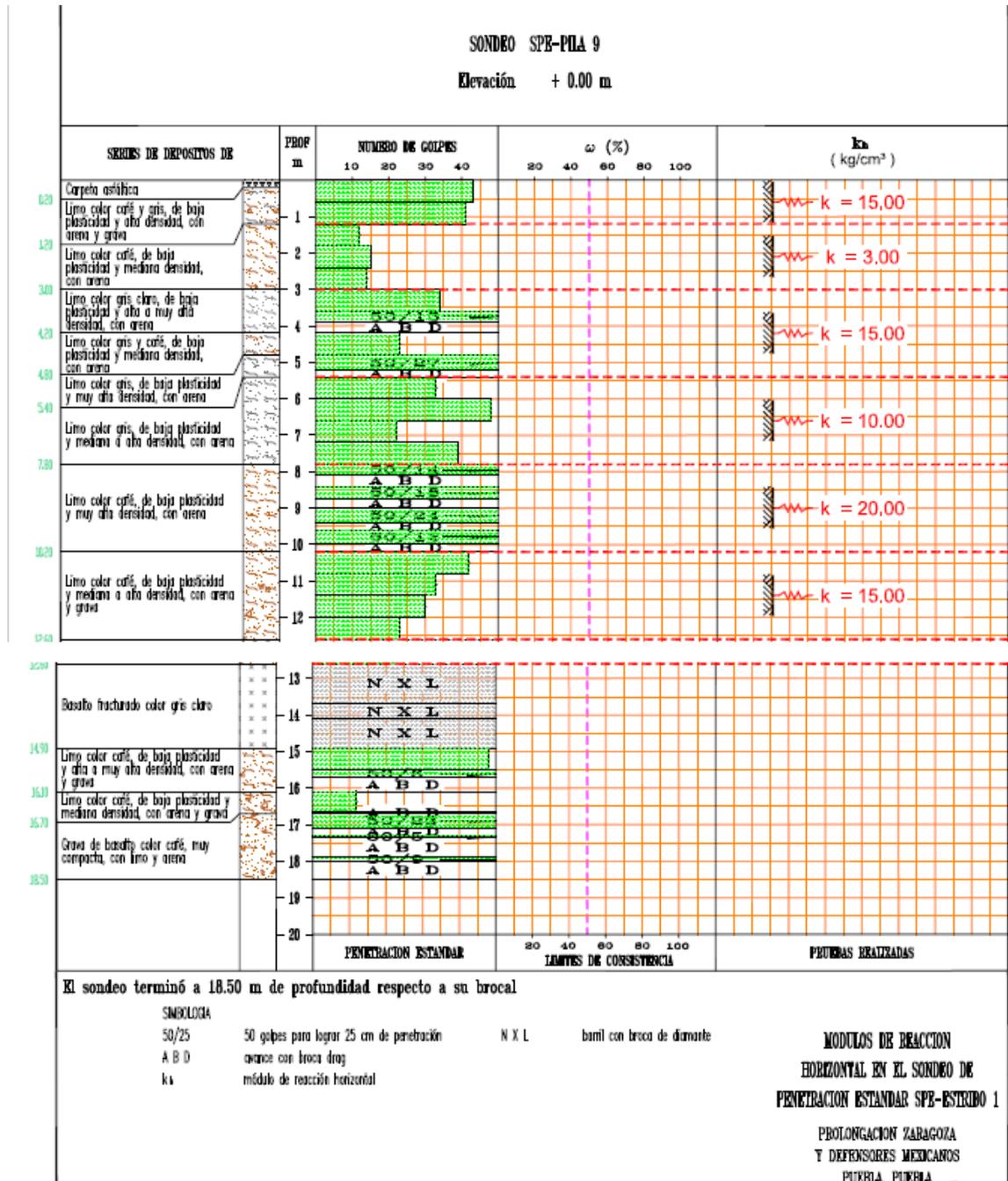
(1) Imagen 3.6 Recomendación técnica. Fuente Estudio de Mecánica de Suelos, puente Zaragoza. Emitido por R POUCELL Y ASOCIADOS SA DE CV.

Dentro del mismo informe se presenta la estratigrafía de cada sondeo realizado, como se presenta en la imagen 3.7.

DEPOSITO	PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCION
I	De 0.0 a 0.1	Carpeta asfáltica.
II	De 0.1 a 1.8	Arcilla color gris oscuro, de baja plasticidad y consistencia rígida a muy rígida, con arena. El número de golpes obtenido en la prueba de penetración estándar varió entre 14 y 23.
III	De 1.8 a 4.2	Arcilla color gris oscuro, de baja plasticidad y consistencia rígida, con arena. El número de golpes obtenido en la prueba de penetración estándar varió entre 9 y 18.
IV	De 4.2 a 5.4	Arcilla color café gris, de baja plasticidad y consistencia muy rígida, con arena. El número de golpes obtenido en la prueba de penetración estándar resultó de 26.
V	De 5.4 a 8.4	Arcilla color café gris, de baja plasticidad y consistencia rígida, con arena. El número de golpes obtenido en la prueba de penetración estándar varió entre 11 y 15.
VI	De 8.4 a 10.2	Arena color gris, muy compacta, con arcilla. El número de golpes obtenido en la prueba de penetración estándar resultó superior a 50.
VII	De 10.2 a 12.6	Arena color gris, semicompacta, con arcilla. El número de golpes obtenido en la prueba de penetración estándar varió entre 26 y 30.
VIII	De 12.6 a 14.4	Arena color gris, compacta, con arcilla de baja plasticidad. El número de golpes obtenido en la prueba de penetración estándar varió entre 32 y 43.
IX	De 14.4 a 15.0	Arena color café oscuro, semicompacta, con arcilla. El número de golpes obtenido en la prueba de penetración estándar resultó de 16.
X	De 15.0 a 18.0	Arcilla color café oscuro, de baja plasticidad y consistencia dura, con arena. El número de golpes obtenido en la prueba de penetración estándar varió entre 30 y 48.
XI	De 18.0 a 20.4	Arcilla color gris claro, de baja plasticidad y consistencia dura muy dura, con arena. El número de golpes obtenido en la prueba de penetración estándar varió entre 46 y más de 50.
XII	De 20.4 a 22.8	Arcilla color gris oscuro, de alta plasticidad y consistencia dura a muy dura, con arena. El número de golpes obtenido en la prueba de penetración estándar varió entre 39 y más de 50.
XIII	De 22.8 a 24.5	Limo arcilloso color gris, de alta plasticidad y muy alta densidad, con arena. El número de golpes obtenido en la prueba de penetración estándar varió entre 48 y más de 50.
XIV	De 24.5 a 31.1	Basalto fracturado color gris claro. Su RQD promedio resultó del 30 %.

(2) Imagen 3.7 Estratigrafía. Fuente Estudio de Mecánica de Suelos, puente Zaragoza. Emitido por R POUCELL Y ASOCIADOS SA DE CV.

En los anexos del informe de mecánica de suelos, se detalla más la estratigrafía de cada apoyo con un perfil gráfico. Con los sondeos también se deduce el Nivel de agua freáticas (NAF), el cual en este caso está por debajo del desplante de las pilas.



(1) Imagen 3.8 Estratigrafía. Estudio de Mecánica de Suelos, puente Zaragoza. Emitido por R POUCELL Y ASOCIADOS SA DE CV.

La verticalidad de la perforación y la profundidad es medida por el equipo topográfico, la profundidad se mide constantemente por medio de una sonda hecha con una cuerda (de longitud superior a la profundidad de desplante) con un plomo (metal pequeño y pesado) en la punta, cada vez que se quiere saber la profundidad se avienta la sonda y se mide hasta dónde llega. En la actualidad muchas perforadoras ya tienen sensores para saber la profundidad de perforación al instante, aunque siempre es mejor verificar por medio de la sonda.

El nivel de profundidad de cada pila es calculado previamente por topografía con la información del proyectista.

UBICACIÓN	CAPACIDAD DE CARGA (TON.)		NIVEL DE TERRENO AL EJE DE LA PILA (m)	N.P.P. (m)	NIVEL ESTIMADO DE ROCA (m)	NUMERO DE JUEGOS DE VARILLAS VERTICALES	DIÁMETRO DE VARILLAS VERTICALES
	COMPRESIÓN	TENSIÓN					
ESTRIBO 1	900	270	2177.863	—	2153.349	—	—
PILA 2	900	270	2177.346	—	—	15	#10
PILA 3	900	270	2176.732	—	—	—	—
PILA 4	900	270	2177.685	2164.085	2165.085	—	—
PILA 5	900	270	2178.643	2164.443	2165.443	14	#10
PILA 6	900	270	2179.722	2165.522	2166.522	14	#10
PILA 7	900	270	2180.890	2169.090	2170.090	15	#10
PILA 8	900	270	2182.840	—	—	15	#10
PILA 9	900	270	2185.613	2172.109	2173.109	15	#10
ESTRIBO 10	900	270	2188.721	—	2179.417	—	—

POR VERIFICAR

(1) Imagen 3.9 Tabla de cimentación profunda. Fuente plano EST -VIA-GE-1130 DEL PROYECTO INTEGRAL VIADUCTO IGNACIO ZARAGOZA

En la Imagen 3.9 se observa la tabla el número de apoyo, el nivel de terreno natural, el nivel de perforación de pila (N.P.P.) y el nivel estimado de roca para empotrar. Con la resta de los niveles se deduce la profundidad de perforación, también se observa el empotre de la pila en la roca que en este caso es de 1 metro.

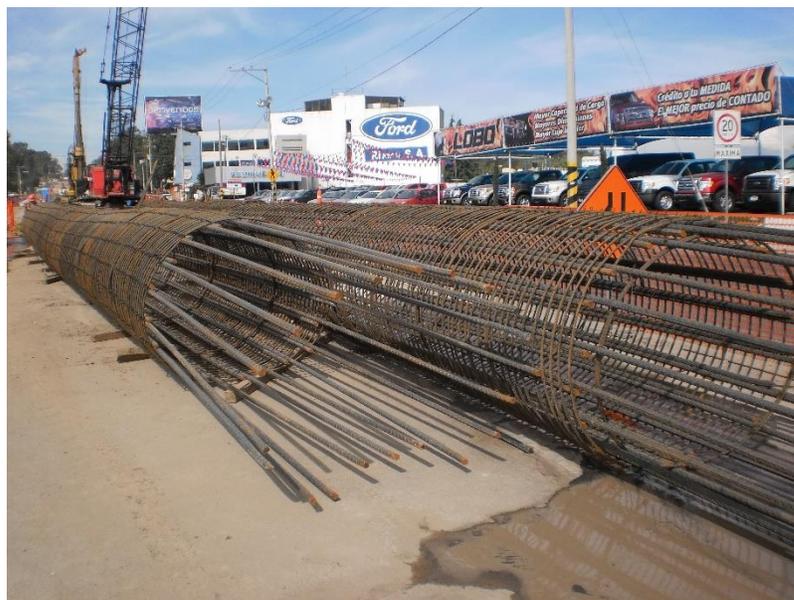
Una vez que se llegó al nivel de perforación verificado por medio del sondeo, se procede a hincar el acero para colar.

3.3 Colado.

Con la perforación terminada y liberada por parte de Topografía, se da paso a hincar el armado. Dicho armado se revisó y se liberó por parte del departamento de calidad. Dicha liberación inspecciona lo siguiente:

- Diámetro del acero longitudinal y de los zunchos.
- Cantidad de varillas longitudinales y bastones de refuerzo.
- Paso de los zunchos, verificando que en la parte superior cumpla con el refuerzo reduciendo el paso.
- Cantidad de traslapes o conectores mecánicos en la sección transversal, verificando que no se exceda el 50%.
- Escuadras en la parte baja del armado.
- Longitud total del armado, cumpliendo con la sección de acero que queda ahogada en el colado de la zapata.
- Amarres al 100% en el cruce de acero.

Al cumplir con todos los puntos de inspección del acero se procede a estrobar y levantar el armado, el izaje se lleva a cabo utilizando una grúa draga que cumpla con la altura suficiente y soporte el peso el armado.



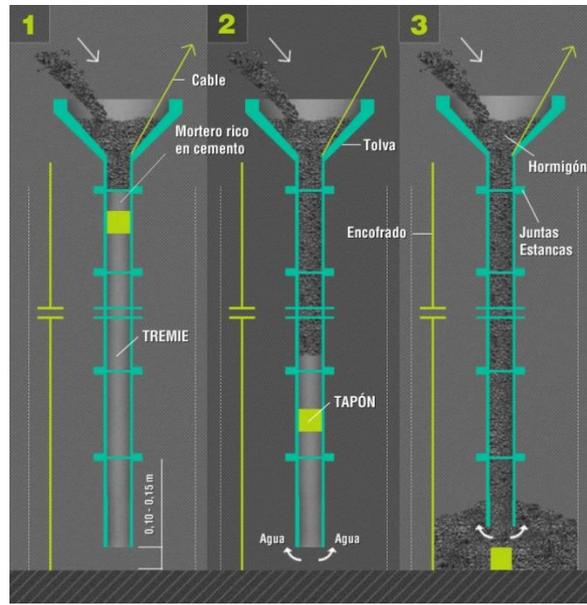
(1) Imagen 3.10 Armado terminado. Fuente del autor.

En la imagen 3.10 se observan los armados listos para izar y al fondo se puede ver la grúa que hará la maniobra.

Para garantizar el recubrimiento del acero durante el colado de la pila, al armado se le colocan unos discos de plásticos llamados espaciadores que tienen un diámetro de 15 cm, al ser colocados desde el centro del disco da una separación de 7.5 cms. Así mismo se coloca un tubo de PVC a lo largo de la pila para facilitar las pruebas de integridad del elemento después de fraguado el concreto.

Una vez colocado el armado en la perforación, centrado y liberado el nivel superior del acero de la pila por topografía, se hacen los preparativos del colado.

El colado de las pilas de cimentación se hace a tiro directo utilizando tubería tremie, el cual es un sistema de tuberías de diámetro menor al de la pila a colar, el cual consiste en varios tubos conectados consecutivamente, los cuales abarcan la longitud total de la pila, en la parte superior de la tubería se coloca una tolva (embudo) que facilita el verter el concreto directo del camión revolvedor.



(1) Imagen 3.11 funcionamiento tubería. Fuente internet 360 concreto.

<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/el-concreto-tremie-un-sistema-de-colocaci211n>.

En la imagen 3.11 se muestra el sistema de tubería tremie, la función de dicha tubería es evitar que el concreto se segregue, se contamine y que se hagan juntas frías, al verter el concreto de forma continua y al asegurarse de que la tubería nunca quede vacía de concreto durante todo el colado se garantiza el correcto colado del elemento. El concreto irá subiendo al costado de la tubería empujando los posibles derrumbes del terreno, por diferencia de densidades, el concreto al ser más pesado que las arcillas quedará abajo.

El tapón señalado en la imagen se emplea cuando el NAF está por encima del NPP, por lo regular se utiliza un pelota de plástico inflada a un diámetro apenas mayor que el de la tubería, al no tener paso libre la pelota por todo lo largo de la tubería pero al ser un elemento fácilmente deformable, con el empuje del concreto y la fuerza cinética de la caída del concreto es empujada hasta salir por la parte inferior de la tubería, empujando y limpiando toda la tubería para que solo quede una columna de concreto fresco. Una vez más por diferencia de densidades, el concreto quedará por debajo del agua y la pelota flotará a la superficie.

El primer concreto que se vertió en la tubería ira subiendo quedando en la superficie y empujando todo las impurezas o azolve que se vaya generando.

El proceso de colado requiere varios cortes de tubería para disminuir la columna de concreto fresco y facilite que el concreto siga subiendo, dichos cortes se hacen, garantizando siempre que la boca de la tubería está sumergida en el concreto al menos 3 mts, para lo anterior se sondea el nivel de concreto por un costado de la tubería, para esto el personal se ayuda con la cuerda y la plomada.

El nivel tope de colado de la pila es determinado y verificado por topografía.



(1) Imagen 3.12 Colado de pila. Fuente del autor.

En la imagen 3.12 se observa el colado de una pila de cimentación, se distingue la tubería tremie, la tolva, el vaciado del concreto y la tubería de pvc para las pruebas de integridad.

El concreto utilizado para las pilas de cimentación viene descrito en los planos de notas generales del proyecto, en este caso se utilizó un concreto estructural con resistencia $f'c = 300 \frac{kg}{cm^2}$ a los 28 días, con Rev. De 12 cms.

3.4 Excavación de zapatas de cimentación.

Una vez terminadas de colar todas las pilas de cimentación del apoyo y pasado el tiempo para que el concreto alcance su resistencia de al menos al 80%, se procede a realizar la excavación para armar la zapata de cimentación.

El trazo de la zapata se hace con ayuda del equipo de topografía, quien delimitará el perímetro de la zapata y la sobre excavación para poder armar y cimbrar la zapata.

La excavación se lleva a cabo con ayuda de excavadoras tipo caterpillar 320 o similares, todo el material producto de excavación es cargado y llevado a los tiros autorizados con camiones de volteo.

El equipo de topografía libera la profundidad de la excavación para seguir con el proceso constructivo.



(1) Imagen 3.13 Excavación de zapata. Fuente del autor.

En la imagen 3.13 se observa la excavación hecha por una excavadora tipo 320y el afine realizado por los trabajadores para dar nivel de desplante.

3.5 Plantilla pobre.

La plantilla pobre tiene como función evitar que el acero que se desplanta para la zapata tenga contacto con el material del terreno natural, al evitar el contacto no se contamina, además de facilitar el armado de la zapata.

La plantilla pobre tiene un espesor de 10 cms el cual está considerado en el nivel de excavación del cajón de cimentación. Previo al colado se compacta el terreno natural con pisón o con bailarina, no es necesario hacer pruebas de compactación

El colado se puede realizar a tiro directo, con ayuda de un canalón o con bomba (estacionaria o telescópica) se extiende y se cuela contra terreno. El concreto utilizado es $f'c = 100 \frac{kg}{cm^2}$ y no lleva refuerzo de acero.

En la imagen 3.14 se observa el colado de la plantilla pobre, topografía supervisa que el nivel sea el del desplante de zapata.

La plantilla pobre no tiene ninguna función estructural, la carga la reciben las pilas de cimentación, como ya se comentó su función es evitar la contaminación del acero de la zapata.



(1) Imagen 3.14 Colado de plantilla. Fuente del autor.

3.6 Descabece de pilas de cimentación.

Debido al proceso constructivo del colado de las pilas de cimentación, al colar con la tubería tremie, el concreto que se vacía primero sube empujando todas las impurezas del fondo de la perforación, por diferencia de densidades el agua y el material (lodo) quedara en la parte superior de la pila.

El material contaminado se debe retirar (tanto concreto como lodo) para garantizar que la pila queda formada únicamente por concreto sano. La forma de retirarlo es haciendo un descabece con equipo de impacto neumático, se debe tener especial cuidado en no dañar el acero de la pila.

La demolición del concreto contaminado se hace hasta el nivel de desplante de la zapata, donde el concreto ya debe ser sano.



(1) Imagen 3.15 Descabece de pilas. Fuente del autor.

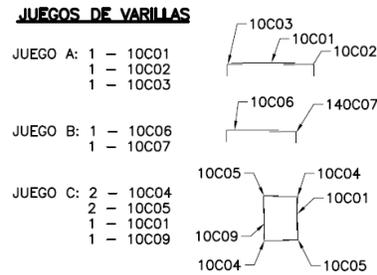
En la imagen 3.15 se observa la demolición del concreto contaminado con compresores de aire y pistolas neumáticas. El impacto de las picas de las pistolas no daña el concreto que está por debajo del nivel de desplante de zapata.

Capítulo 4.

Cimentación.

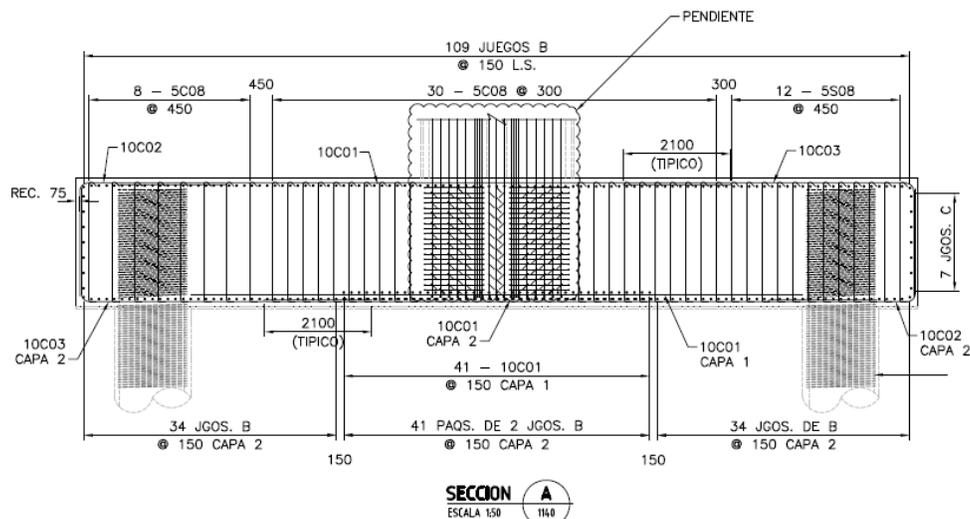
4.1 Armado de zapatas.

El armado de las zapatas viene especificado en los planos de zapatas tipo, el diámetro de la varilla a utilizar, el número de piezas, y la forma de la varilla esta descrita en los planos con clave que es fácil de leer y de identificar.



(1) Imagen 4.1 Despiece de acero. Fuente plano EST -VIA-RF-1141 DEL PROYECTO INTEGRAL VIADUCTO IGNACIO ZARAGOZA

En la imagen 4.1 se observa la clave de los juegos de varillas a utilizar, 10C03 donde 10 es el diámetro de varilla en este caso 1 ¼" y C03 indica la forma y la dimensión de la varilla según la tabla de despiece.



(2) Imagen 4.2 Corte de zapata. Fuente plano EST -VIA-RF-1141 DEL PROYECTO INTEGRAL VIADUCTO IGNACIO ZARAGOZA

En la imagen 4.2 se observa un corte frontal del armado de las zapatas, se observa cómo se compone la parrilla inferior, la parrilla superior y los estribos, así mismo se ven los ganchos verticales y los bastones de refuerzo.

El armado se lleva a cabo siguiendo las medidas y cantidades descritas en el plano, es importante dar seguimiento a la continuidad del zuncho en las pilas de cimentación y hacer el desplante de la parte de columna que quedará empotrada en la zapata.



(1) Imagen 4.3 Armado de zapata losa inferior. Fuente del autor.

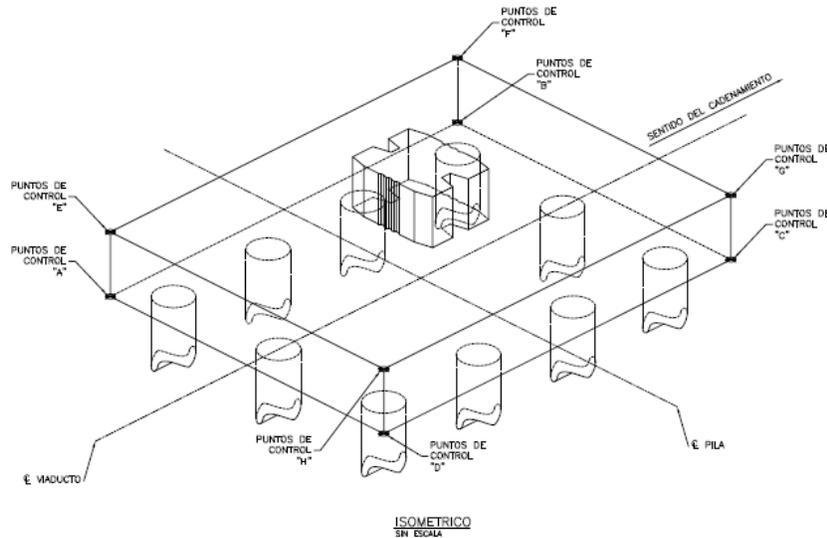


(2) Imagen 4.4 Armado de zapata losa superior. Fuente del autor.

En las imágenes 4.3 y 4.4, se observa el armado de la losa inferior, el recubrimiento con zuncho de las pilas y el desplante de la columna.

4.2 Cimbra de zapatas.

Para la cimbra de las zapatas, en los planos de la geometría de la cimentación, además de tener las medidas (largo, alto y ancho) tienen coordenadas en los vértices para el control topográfico.



(1) Imagen 4.5 Isométrico de zapata. Fuente plano EST -VIA-GE-1142 DEL PROYECTO INTEGRAL VIADUCTO IGNACIO ZARAGOZA.

En la imagen 4.1 se observa el isométrico de la zapata y los puntos de control, dichos puntos se enlistan en una tabla para cada apoyo.

PUNTOS DE CONTROL PARA CONSTRUCCION DE CABEZAL							
PUNTO DE CONTROL*	X	Y	Z	CADENAMIENTO	DIST. AL C. (Y)	ELEVACION	
PILA 7	7-A	586107.954	2107936.910	2177.003	0+542.750	6.500	2177.003
	7-B	586097.184	2107924.410	2177.003	0+559.250	6.500	2177.003
	7-C	586087.336	2107932.895	2177.003	0+559.250	-6.500	2177.003
	7-D	586098.106	2107945.396	2177.003	0+542.750	-6.500	2177.003
	7-E	586107.954	2107936.910	2179.503	0+542.750	6.500	2179.503
	7-F	586097.184	2107924.410	2179.503	0+559.250	6.500	2179.503
	7-G	586087.336	2107932.895	2179.503	0+559.250	-6.500	2179.503
	7-H	586098.106	2107945.396	2179.503	0+542.750	-6.500	2179.503
PILA 8	8-A	586067.159	2107889.560	2178.804	0+605.250	6.500	2178.804
	8-B	586056.389	2107877.060	2178.804	0+621.750	6.500	2178.804
	8-C	586046.540	2107885.545	2178.804	0+621.750	-6.500	2178.804
	8-D	586057.310	2107898.046	2178.804	0+605.250	-6.500	2178.804
	8-E	586067.159	2107889.560	2181.304	0+605.250	6.500	2181.304
	8-F	586056.389	2107877.060	2181.304	0+621.750	6.500	2181.304
	8-G	586046.540	2107885.545	2181.304	0+621.750	-6.500	2181.304
	8-H	586057.310	2107898.046	2181.304	0+605.250	-6.500	2181.304
PILA 9	9-A	586026.364	2107842.210	2181.529	0+667.750	6.500	2181.529
	9-B	586015.594	2107829.710	2181.529	0+684.250	6.500	2181.529
	9-C	586005.745	2107838.195	2181.529	0+684.250	-6.500	2181.529
	9-D	586016.515	2107850.696	2181.529	0+667.750	-6.500	2181.529
	9-E	586026.364	2107842.210	2184.029	0+667.750	6.500	2184.029
	9-F	586015.594	2107829.710	2184.029	0+684.250	6.500	2184.029
	9-G	586005.745	2107838.195	2184.029	0+684.250	-6.500	2184.029
	9-H	586016.515	2107850.696	2184.029	0+667.750	-6.500	2184.029

* 6-D PUNTO DE CONTROL PILA

(2) Imagen 4.6 Tabla de control geométrico. Fuente plano EST -VIA-GE-1142 DEL PROYECTO INTEGRAL VIADUCTO IGNACIO ZARAGOZA

En la imagen 4.6 se observan las coordenadas para el control geométrico de las zapatas.

El cimbrado de las zapatas se hace con madera, confinando el acero armado y cuidando el recubrimiento de 7.5 cms.



(1) Imagen 4.7 Cimbra lateral de zapata. Fuente del autor.



(2) Imagen 4.8 Armado interior zapatas. Fuente del autor.

En la Imagen 4.7 se observa la cimbra de una cara de la zapata y los bloques de concreto previamente colados para dar el recubrimiento. En la imagen 4.8 se observa el armado de zapata desde adentro.

4.3 Colado de zapatas.

Cuando el armado y la cimbra de la zapata es liberado por la supervisión, se procede a hacer el colado, en el plano general del proyecto, se especifica para las zapatas concreto $f'c=300 \frac{kg}{cm^2}$ a 28 días.

Como en todos los colados la presencia del laboratorio de materiales es importante para obtener un muestreo cada cierto número de m^3 vertidos y obtener el revenimiento de todas las unidades (revolvedoras) de concreto.

El revenimiento que se recomienda para el colado de las zapatas es de 12 cm, lo cual puede variar según el criterio del ingeniero responsable ya que en algunos casos se ocupa el concreto más fluido que en otros.



(1) Imagen 4.9 Colado de zapata. Fuente del autor.



(2) Imagen 4.10 Zapata colada. Fuente del autor.

En la imagen 4.9 se observa el colado con bomba telescópica y el vibrado del elemento, en la imagen 4.10 se muestra la zapata terminada.

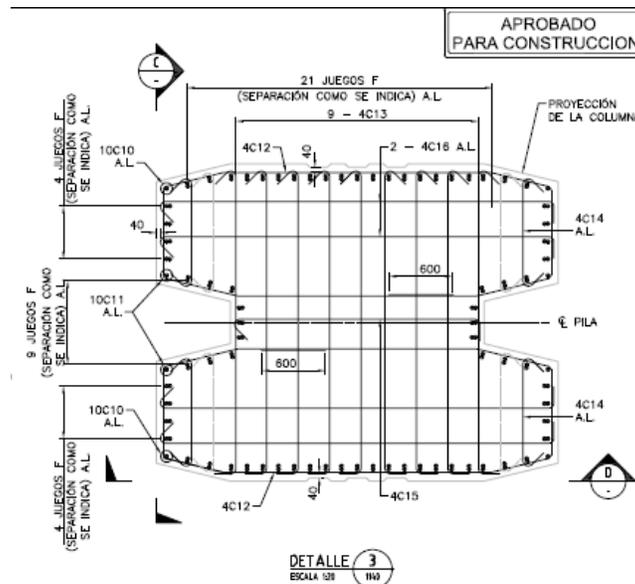
Capítulo 5.

Columnas (subestructura).

5.1 Armado de columnas.

Las columnas se desplantan desde la losa inferior de las zapatas, las varillas con escuadra son colocadas y amarradas al centro de la losa, la ubicación de estas varillas es comprobada por topografía. Al terminar de colar la zapata, quedan las puntas que sobresalen de la losa superior como preparación para darle continuidad al acero de columna.

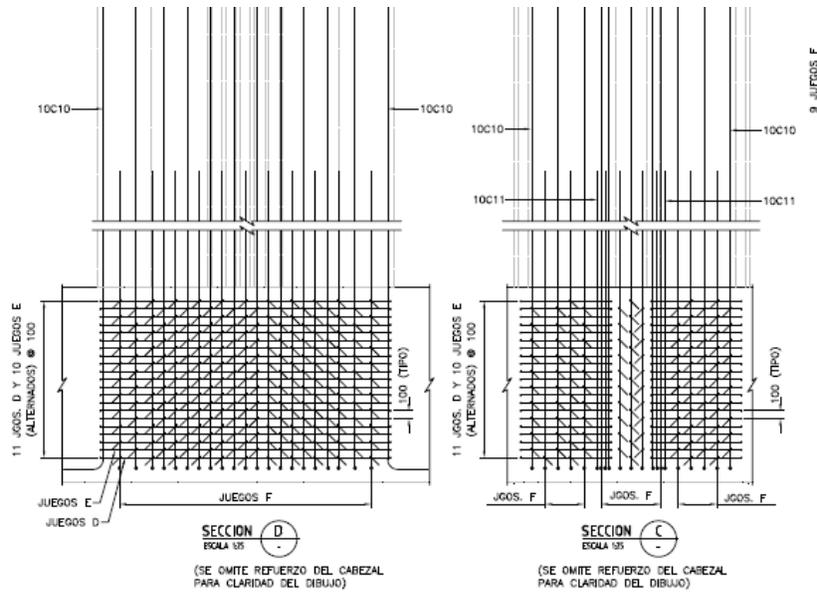
En los planos de refuerzo de columnas, se especifican los juegos de estribos y ganchos que debe llevar la columna, así como el espaciamiento entre cada juego.



(1) Imagen 5.1 Corte transversal de columna. Fuente plano EST -VIA-RF-1142 DEL PROYECTO INTEGRAL VIADUCTO IGNACIO ZARAGOZA

En la imagen 5.1 se observa un corte transversal de la columna, en dicho corte especifica los diámetros de varilla y los juegos de estribos y ganchos que lleva la columna.

Para el acero longitudinal de la columna se consulta el corte longitudinal, donde se especifica la cantidad de varillas que lleva y su diámetro, en este caso son varillas calibre 10 (1 ¼"), a su vez lleva unos bastones de refuerzo que no llegan hasta la parte superior de la columna, sólo refuerzan la parte que esta empotrada en la zapata.



(1) Imagen 5.2 corte longitudinal de columnas. Fuente plano EST -VIA-RF-1142 DEL PROYECTO INTEGRAL VIADUCTO IGNACIO ZARAGOZA.

En la Imagen 5.2 se muestra el corte longitudinal del armado de la columna, se observan las varillas verticales, el espaciamiento entre los estribos y los bastones de refuerzo.



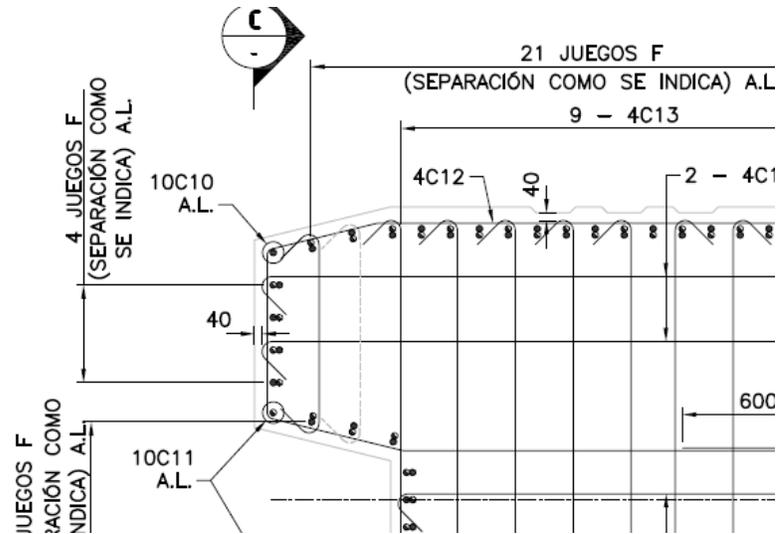
(2) Imagen 5.3 Armado de columna. Fuente del autor.

En la imagen 5.3 se observa el armado de la columna, debido a la altura de la columna, algunas varillas tuvieron que conectarse por medio de conectores mecánicos.

5.2 Cimbrado de columnas.

Terminada de armar la columna y liberada por calidad y supervisión, se procede a cimbrar con madera para recibir el concreto, en la mayoría de proyectos, el cimbrado de columnas se hace con cimbra metálica y en segmentos pequeños llamados trepados. En el caso del viaducto Zaragoza se decidió hacer con madera con cara lisa para dar un acabado tipo espejo al concreto y en un solo colado para evitar las juntas constructivas en el acabado.

El recubrimiento de concreto marcado en los planos es de 4 cms, topografía verifica la verticalidad de la cimbra y se colocan espaciadores de concreto para garantizar el recubrimiento.



(1) Imagen 5.4 Detalle de armado de columna. Fuente plano EST -VIA-RF-1142 DEL PROYECTO INTEGRAL VIADUCTO IGNACIO ZARAGOZA.

En la imagen 5.4 se observa la proyección del concreto terminado de la columna, así mismo se aprecian los 4 cms de recubrimiento.



(2) Imagen 5.5 Espacio entre armado y cimbra de columna. Fuente del autor.

En la Imagen 5.5 se observa la cimbra de una cara ya colocada y el espacio que hay para el recubrimiento del acero.



(1) Imagen 5.6 Cimbrado de columna. Fuente del autor.

En la Imagen 5.6 se observa la colocación de la cimbra de madera, se revisa la verticalidad y se asegura bien con espárragos de acero para que no se mueva ni se abra al momento de colar.

5.3 Colado de columnas.

Ya liberada por topografía, calidad y supervisión, la cimbra colocada en las columnas se procede a colar. Para realizar este colado se vació el concreto con ayuda de una bomba telescópica desde la parte superior.



(1) Imagen 5.7 Colado de columnas. Fuente del autor.

En la Imagen 5.7 se observa cómo se bombea el concreto desde la parte superior de la columna, en algunos casos, para evitar que el concreto cayera desde una altura muy grande y con el impacto se segregara, se utilizó tubería tremie y se usaron vibradores más largos para llegar a vibrar el concreto de hasta abajo.



(2) Imagen 5.8 Columna colada. Fuente del autor.

En la imagen 5.8 se muestra cómo se retira una cara de la cimbra y se observa el terminado del concreto ya fraguado.

Capítulo 6.

Fabricación de Dovelas (superestructura).

6.1 Patio de prefabricados.

Parte de lo que ofrece la tecnología propuesta por el proyectista para construir este tipo de puentes, es utilizar segmentos de tabes llamados dovelas, con los cuales al ser prefabricados y al ser más pequeños y más ligeros, facilita el transporte desde la planta de prefabricados hasta el lugar del montaje.

Para este proyecto se adaptó un patio de habilitado y colado de dovelas a unos cuantos kilómetros de la ubicación del puente, sobre la utopista Mexico-Puebla.

6.2 Mesas de colado.

6.2.1 Fabricación de mesas de colado.

En el patio de prefabricados, se fabrican las mesas de colado, las cuales consisten en losas de concreto, para el Viaducto Zaragoza, se fabricaron 8 mesas que corresponden a los claros del puente que son parte del viaducto.

El lugar donde se fabrica cada mesa de colado se prepara compactando el terreno natural y colando unas zapatas y unas pequeñas traveses que sostendrán la losa donde se colarán las dovelas.

Después de coladas las zapatas, se rellena el cajón formado con material de banco (Tepetate) y se compacta. La losa se arma anclada a las zapatas y se le da la curvatura solicitada con ayuda de la topografía.

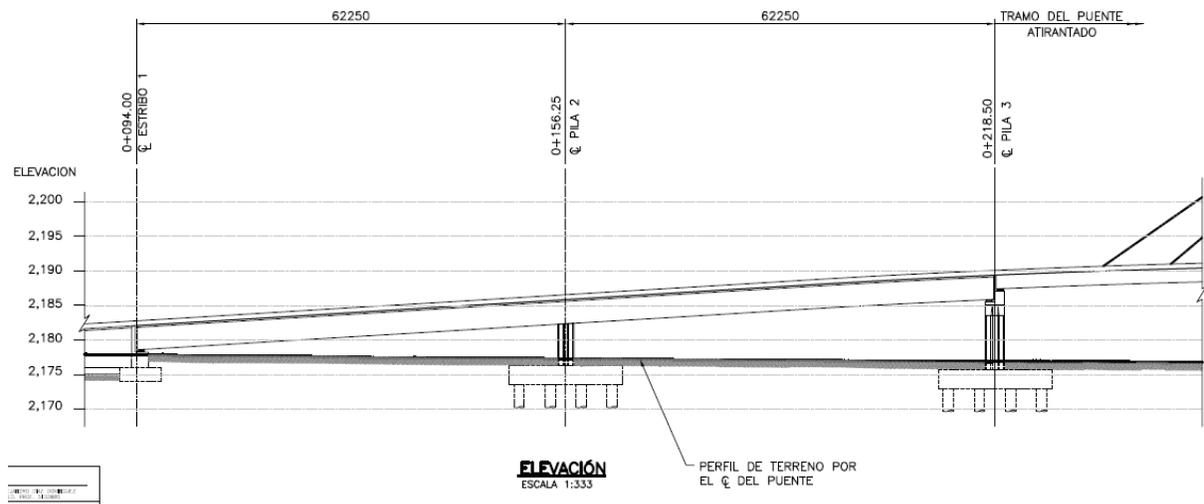


(1) Imagen 6.1 Mesa de colado. Fuente del autor.

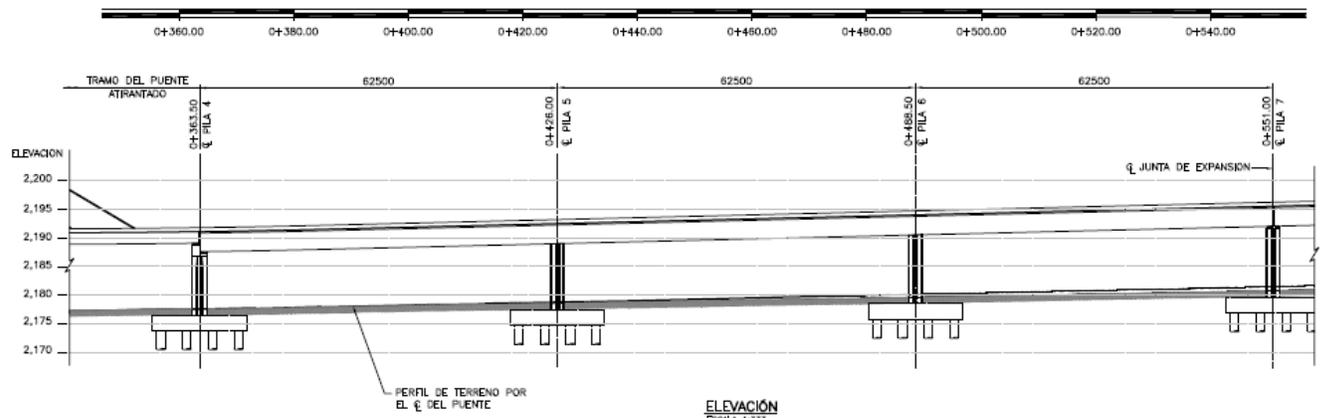
En la Imagen 6.1 se observa el colado de las zapatas para recibir la losa de la mesa de colado.

6.2.2 Control topográfico.

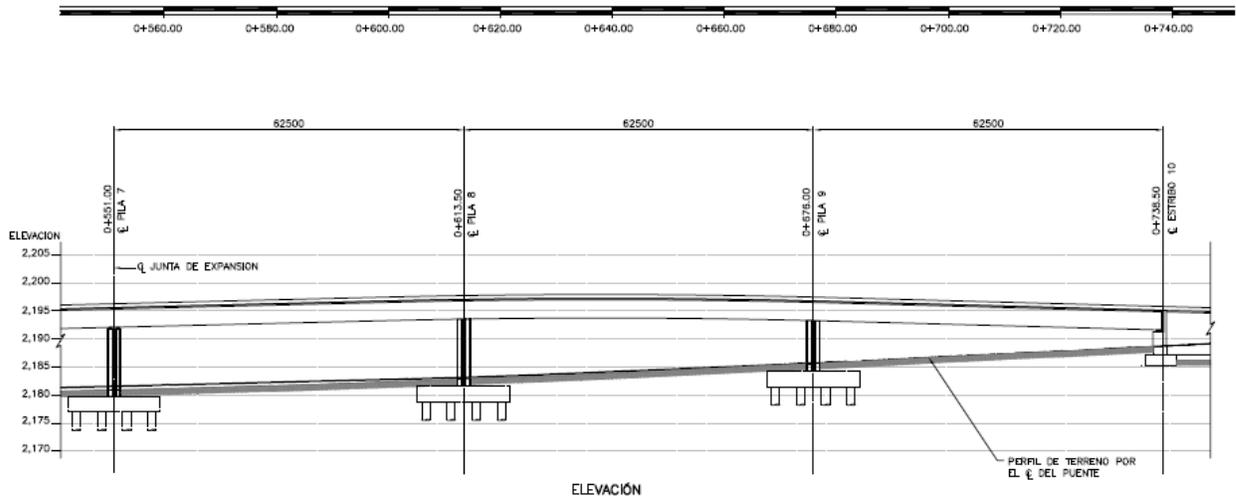
Las mesas de colado tienen una ligera curvatura que se controla topográficamente. Dicha curvatura en el centro de la mesa, hace que la dovela que se colará encima tenga la pendiente requerida en el proyecto y al momento de ser montada junto con las demás dovelas cumpla con la curvatura de la elevación del viaducto.



(1) Imagen 6.2 Perfil del puente. Fuente plano EST -VIA-GN-1040 DEL PROYECTO INTEGRAL VIADUCTO IGNACIO ZARAGOZA.



(2) Imagen 6.3 Perfil del puente. Fuente plano EST -VIA-GN-1040 DEL PROYECTO INTEGRAL VIADUCTO IGNACIO ZARAGOZA.



(1) Imagen 6.4 Perfil del puente. Fuente plano EST -VIA-GN-1040 DEL PROYECTO INTEGRAL VIADUCTO IGNACIO ZARAGOZA.

En las Imágenes 6.2, 6.3 y 6.4 se observa el perfil del viaducto Zaragoza, así mismo se observa la curvatura entre cada apoyo la cual se obtiene con el control topográfico al colar la mesa ya que las dovelas se cuelan usando como cimbra de su losa la mesa de colado.

El control topográfico es fundamental para evitar errores al momento ya que si hay algún error al colar la mesa se verá reflejado en las dovelas y será evidente al terminar los montajes ya que al cerrar los claros entre columna se vería algún brinco en la geometría del puente.

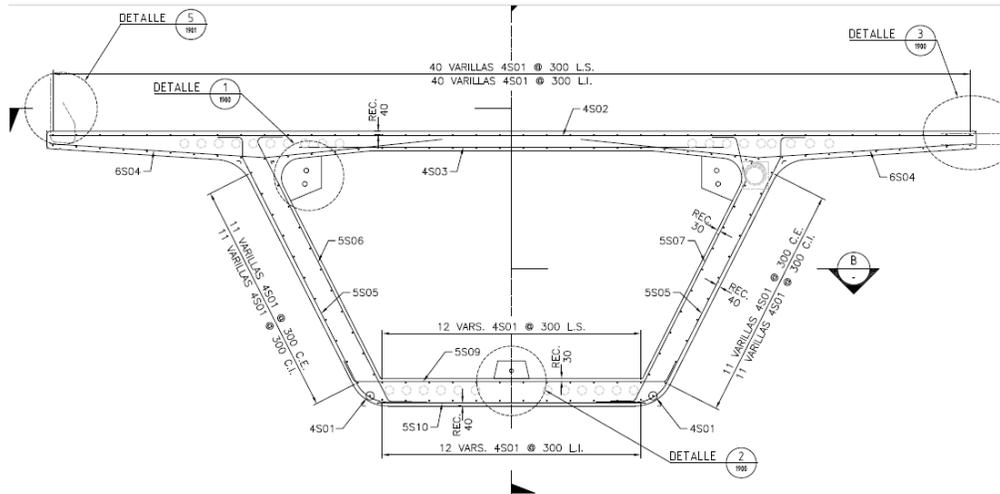
La curvatura marcada en proyecto ya tiene en cuenta la contra flecha del puente que se generará al momento de tensar el presfuerzo longitudinal.



(2) Imagen 6.5 Mesa de colado. Fuente del autor.

6.3 Armado de dovelas.

Cuando se cuenta con la mesa terminada, se procede a habilitar el acero de refuerzo de cada dovela, el colado de será individual una pegada a la otra para que el ensamble al momento de montar sea perfecto.



(1) Imagen 6.6 Geometría de dovela. Fuente plano EST -VIA-RF-1411 DEL PROYECTO INTEGRAL VIADUCTO IGNACIO ZARAGOZA.

En la Imagen 6.6 se aprecia el tipo de armado de las dovelas, el calibre de las varillas es de 4, 5 y 6, las almas de la dovela se componen de 2 parrillas, así mismo las losas superior e inferior se componen de dobles parrillas con refuerzos de acero de presfuerzo en los alerones.



(2) Imagen 6.7 Armado de dovela. Fuente del autor.

En la Imagen 6.7 se observa el inicio del armado de una de las almas de la dovela y de la parrilla inferior.

Para acelerar los tiempos de armado de dovelas, se decidió armar lo básico del refuerzo fuera de las mesas de colado, mientras se colaba la dovela en turno. Al descimbrar la dovela colada se colocaba lo que se había armado antes y se alineaba.

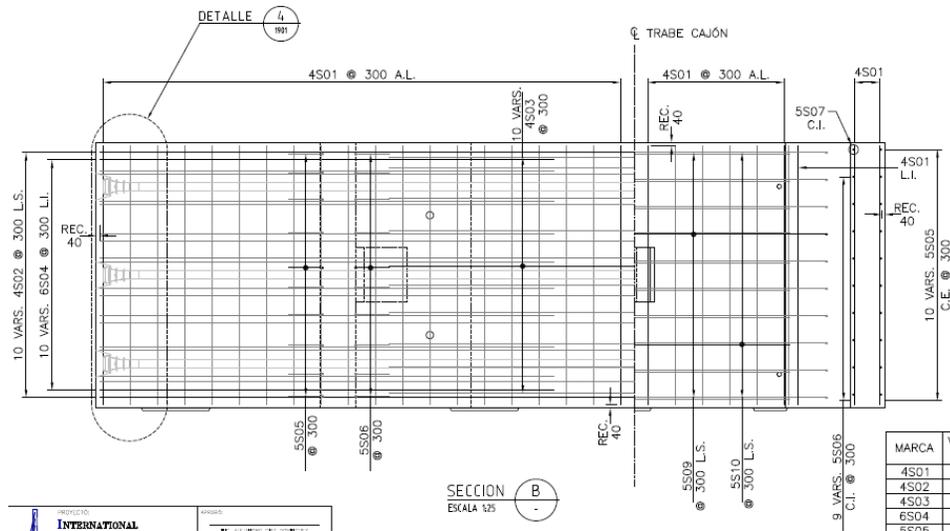


(1) Imagen 6.8 Armado de dovela. Fuente del autor.

En la Imagen 6.9 se observa un armado tipo de dovela, el cual se inició fuera de la mesa de colado para ganar tiempo.

6.4 Preparaciones para el presfuerzo.

En conjunto con el acero de refuerzo de las dovelas se debe colocar las preparaciones para el acero de presfuerzo, el cual se colocará después de que montan las dovelas, dicho presfuerzo funciona para sostener las dovelas y hacer que la estructura trabaje en conjunto.



(1) Imagen 6.9 Planta superior dovela. Fuente plano EST -VIA-RF-1411 DEL PROYECTO INTEGRAL VIADUCTO IGNACIO ZARAGOZA.

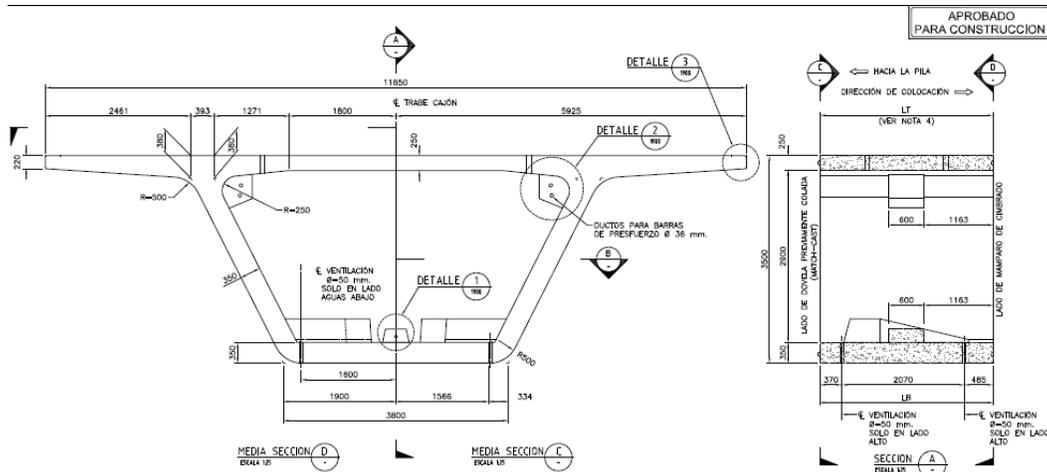
En la Imagen 6.9 se observa las preparaciones para el presfuerzo transversal de la dovela, este debe ir colada en la losa superior del elemento.



(2) Imagen 6.10 Tubos de presfuerzo. Fuente del autor.

En la imagen 6.10 se puede apreciar el armado de la parte superior de la dovela, para el presfuerzo longitudinal se colocan tubos de acero corrugado que atraviesan la dovela de cara a cara y para el presfuerzo transversal el cual tiene la función de reforzar el volado de los alerones, se colocan unos ductos corrugados de polietileno de alta densidad.

Como parte de las preparaciones para el presfuerzo también se deben armar y colar los bloques de concreto donde se alojarán las placas de tensado del presfuerzo longitudinal del puente y las barras temporales las cuales sostienen la dovela al montarla en la estructura mientras se coloca y tensa el presfuerzo longitudinal.



(1) Imagen 6.11 Geometría de dovela. Fuente plano EST -VIA-RF-1411 DEL PROYECTO INTEGRAL VIADUCTO IGNACIO ZARAGOZA.

En la Imagen 6.11 se observan los bloques para las barras temporales y para e presfuerzo longitudinal inferior.



(2) Imagen 6.12 Armado de bloque. Fuente del autor.

En la Imagen 6.12 se ve el refuerzo de los bloques del presfuerzo longitudinal.

6.5 Cimbra de Dovelas.

6.5.1 Cimbra metálica.

Debido a la forma de la dovela y a la cantidad de elementos que se tenían que fabricar, se decidió hacer la cimbra metálica para evitar que se deformara cada vez que se descimbrara una dovela. La cimbra de los costados de la dovela también fue metálica, para dar el recubrimiento de concreto se utilizaron separadores de concreto previamente colados.



(1) Imagen 6.13 Cimbra lateral de dovela. Fuente del autor.

En la Imagen 6.13 se aprecia la cimbra metálica de los costados de las dovelas, para la cimbra interior, se utilizó madera.

El método utilizado para la fabricación de estas dovelas se llama **Match Cast**, el cual consiste en colar el primer elemento utilizando cimbra y después de fraguado colar el siguiente elemento que utilizando como cimbra posterior la cara del elemento previamente colado.

Al usar el Match cast como proceso de fabricación, eliminará la posibilidad de un error que haga que no ensamble al 100%, se podría decir que el puente se construye en las mesas de colado y después sólo se ensambla.

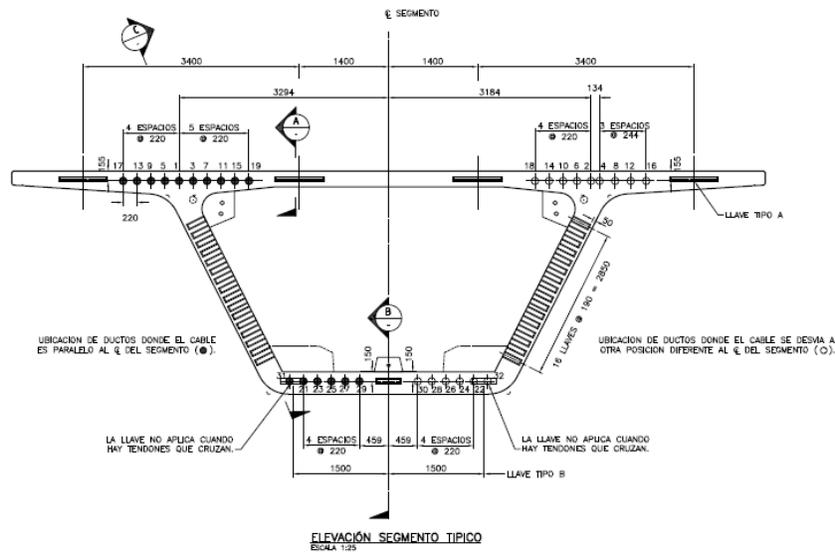


(2) Imagen 6.14 Cimbra frontal de dovela. Fuente del autor.

En la Imagen 6.14 se observa la cimbra metálica de la parte frontal de la dovela, la parte del centro se hizo con madera, se puede observar las perforaciones donde sobresalen los ductos de acero para el presfuerzo superior.

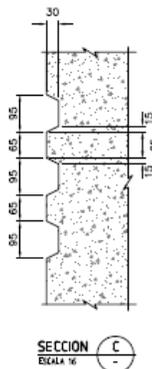
6.5.2 Llaves de cortante.

Como parte de la cimbra es muy importante colocar las llaves de cortante, este elemento absorberá el esfuerzo cortante al que estará sujeto el elemento, dichas llaves vienen marcadas en el plano como unos salientes en las caras de las dovelas.



(1) Imagen 6.15 ubicación de presfuerzo. Fuente plano EST -VIA-GE-1330 DEL PROYECTO INTEGRAL VIADUCTO IGNACIO ZARAGOZA.

En la Imagen 6.15 se muestra la dovela con las ubicaciones de los ductos de presfuerzo y de las llaves de cortante.



(1) Imagen 6.16 Llaves de cortante. Fuente plano EST -VIA-GE-1330 DEL PROYECTO INTEGRAL VIADUCTO IGNACIO ZARAGOZA.

En la Imagen 6.16 se muestra un detalle del mismo plano donde se especifica las dimensiones y profundidades de las llaves de cortante.

6.6 Colado de dovelas.

Cuando se ha verificado el correcto armado, la cimbra metálica y la de madera y todos los elementos del presfuerzo, se libera el elemento para colar, debido a la densidad del acero se habilitaron unas ventanas en la cimbra de madera para poder vibrar bien la parte de las almas.

El concreto marcado por el proyectista para el colado de las dovelas es de $f'c = 400 \frac{kg}{cm^2}$ a 28 días. Para vaciar el concreto se utilizó una bomba telescópica.



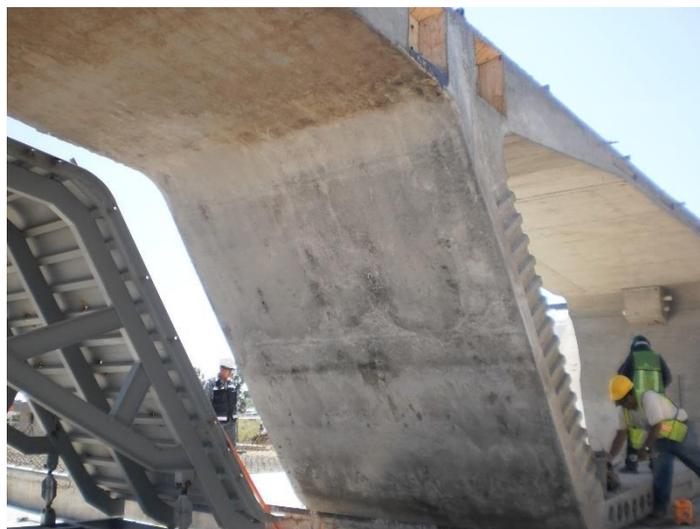
(1) Imagen 6.17 Colado de dovela. Fuente del autor.



(2) Imagen 6.18 Colado de dovela. Fuente del autor

En las imágenes 6.17 y 6.18 se observa el colado de una dovela, durante el colado se tuvo el mayor cuidado de no mover ni obstruir los ductos del presfuerzo ya que podría presentar problemas posteriores al enfilar y tensar.

Después de fraguado el concreto se comienza a descimbrar, se retiran los puntales del centro y se retiran las caras metálicas, se confirma que las llaves de cortante y los ductos del presfuerzo estén correctos.



(1) Imagen 6.19 Dovela colada. Fuente del autor.



(2) Imagen 6.20 Dovela colada. Fuente del autor.

En las imágenes 6.19 y 6.20, se observan las dovelas ya coladas y descimbradas, se logra apreciar con mayor detalle las llaves de cortante, los bloques de las barras temporales, los orificios de presfuerzo. Para evitar que la dovela que se cuela se adhiera la anterior de le aplica un aditivo en la cara que sirve como cimbra.

6.7 Dovela de Pila.

Mientras la producción de prefabricados de dovela continua, en sitio después de haber colado las columnas, se prepara la dovela de pila, este es un elemento que está directamente apoyado en la columna, a diferencia de las dovelas prefabricadas este elemento es macizo es decir el centro también es de concreto reforzado.

6.7.1 Armado de Dovela de pila.

El armado de la dovela de pila es similar al de las dovelas prefabricadas, sólo que en su interior tiene un diafragma que donde se alojarán las placas de tensado del presfuerzo longitudinal inferior y en la losa superior tiene los ductos para que pase de lado a lado el presfuerzo superior.

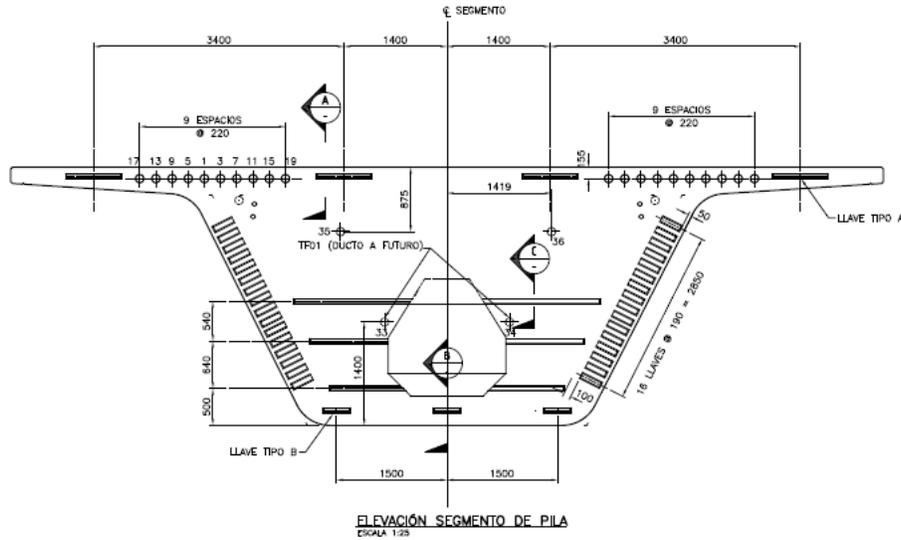


(1) Imagen 6.21 Armado de dovela de pila. Fuente del autor.

En la Imagen 6.21 se observa el armado del diafragma de la dovela de pila y los ductos del presfuerzo, así como los cajetes de los huecos de anclaje.

6.7.2 Cimbra de Dovela de pila.

Para sostener los alerones de la dovela de pila fue necesario colocar unos andamios con los cuales se nivelaron a la altura de proyecto. La cara de la dovela de pila lleva la ubicación de los ductos de presfuerzo, las llaves de cortante y un paso hombre que será útil al momento de hacer el tensado del presfuerzo longitudinal.



(1) Imagen 6.22 Geometría de dovela de pila. Fuente plano EST -VIA-GE-1330 DEL PROYECTO INTEGRAL VIADUCTO IGNACIO ZARAGOZA.

En la Imagen 6.22 se observa la geometría de la dovela de pila, se ve la distribución de los ductos de presfuerzo y las llaves de cortante.



(2) Imagen 6.23 Dovela de pila. Fuente del autor.

En la Imagen 6.23 se observan los andamios y la que sostienen los alerones de la dovela, así mismo se observan las perforaciones de los ductos de presfuerzo.

Topografía revisa la nivelación y la verticalidad de la cimbra, así mismo con coordenadas revisa los ductos de presfuerzo para que coincidan con los de las dovelas prefabricadas.

6.7.3 Colado de Dovela de pila.

Después de revisado y liberado tanto el armado como la cimbra, que topografía revisa la ubicación y los niveles de los ductos se procede a realizar el colado de las dovelas de pila.

Para el colado se utilizó una bomba pluma, el concreto utilizado es $f'c = 400 \frac{kg}{cm^2}$, el correcto vibrado es fundamental para que no queden oquedades.



(1) Imagen 6.24 Colado de dovela de pila. Fuente del autor.

En la imagen 6.24, se observa el colado de la dovela de pila, se observa el vaciado por medio de bomba y el vibrado.



(2) Imagen 6.25 Dovela de pila. Fuente del autor.

En la Imagen 6.25 se observa la dovela de pila ya descimbrada, se aprecian los ductos, cajetines de anclaje y las llaves de cortante.

Capítulo 7.

Montaje de dovelas.

7.1 Preparación para la primer dovela.

Al tener coladas todas las dovelas de pila y las dovelas prefabricadas, después que el concreto ha alcanzado al menos el 80% de su resistencia, se proceden a realizar los montajes, para los cuales hay una secuencia de montaje propuesta en proyecto. Debido a que las dovelas se sujetarán con presfuerzo, en cantiléver y en equilibrio con la dovela espejo del otro lado del apoyo, tendrán que montarse en pares y sujetadas con barras temporales.

La primera dovela de cada claro tendrá que soportarse en andamios hasta colar la junta constructiva, las dovelas subsecuentes se sujetarán sólo con las barras temporales.

7.1.1 Cimbra falsa (Andamios).

Se coloca un cuerpo de andamios en las dos caras de la dovela de pila para soportar la primer dovela, la cual será supervisada por topografía, la alineación y nivelación por parte de topografía es fundamental ya que deben coincidir todos los ductos del presfuerzo, tanto superiores como inferiores. La primer dovela solo se colocará sobrepuesta en la superficie de los andamios.



(1) Imagen 7.1 Montaje de dovela. Fuente del autor.

En la Imagen 7.1 se observa el montaje de la primer dovela, la cual se coloca sobre los andamios previamente nivelados. Al ser segmentos pequeños (comparados con traveses largos), el traslado y el montaje se facilita.



(1) Imagen 7.2 montaje de dovela. Fuente del autor.

En la Imagen 7.2 se puede observar la dovela ya apoyada en los andamios, a una separación de 30 cms de la cara de la dovela de pila, donde se colará una junta constructiva.

7.1.2 Armado y colado de junta constructiva.

Para sostener la primer dovela, es necesario armar y colar una junta constructiva en el espacio que se dejó entre la dovela de pila y la primer dovela, en este espacio se debe dar continuidad a los ductos del presfuerzo y al colarse con concreto armado entraran en función las llaves de cortante.



(2) Imagen 7.3 Ductos de presfuerzo. Fuente del autor.

En la imagen 7.3 se observan los ductos de presfuerzo y al fondo se observa el armado de la junta constructiva.



(1) Imagen 7.4 conexión de ductos de presfuerzo. Fuente del autor.

En la imagen 7.4 se ven los ductos empalmados y aislados para evitar que el concreto de la junta entre en ellos e impida el paso de los torones. Las mangueras naranjas son para hacer un inyectado de mortero posterior al tensado.



(1) Imagen 7.5 Columna y dovelas. Fuente del autor.

En la Imagen 7.5 se observan las primeras dovelas de cada lado del apoyo.

Los andamios se retiran hasta que la junta constructiva alcance al menos el 80% de su resistencia y se tensen los primeros torones del presfuerzo superior, los cuales son anclados desde la primer dovela de un lado hasta la primer dovela del otro lado y pasan a través de la dovela de pila.

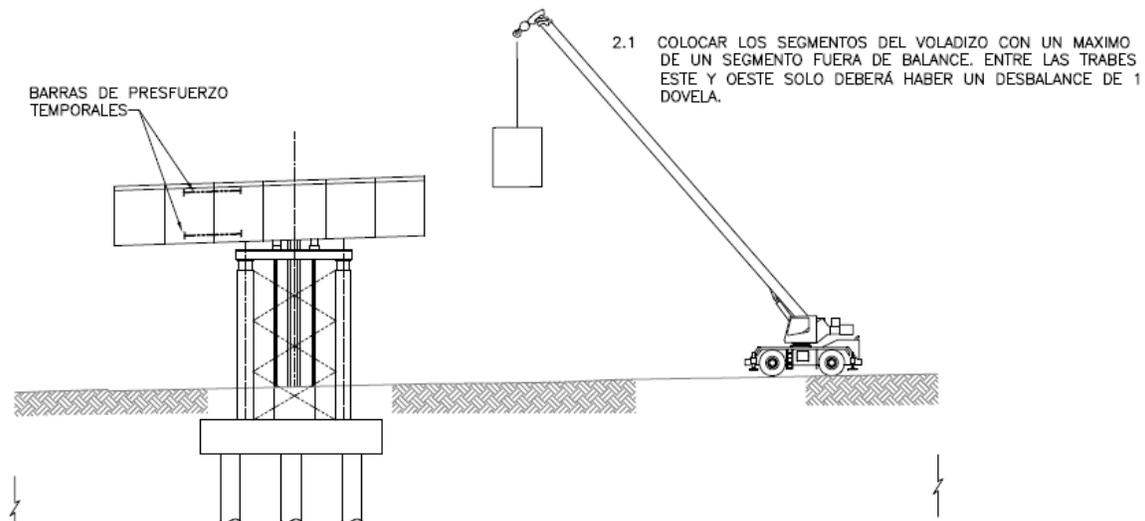
7.2 Montaje de dovelas subsecuentes.

Para este punto de la construcción del viaducto, están coladas el 100% de las dovelas de pila, y están coladas al menos el 80% de las dovelas prefabricadas, los montajes se realizan todos los días.

7.2.1 Secuencia de montajes.

Debido a que dovelas prefabricadas se colocan en cantiliever, es importante seguir una secuencia ya que el apoyo debe estar en equilibrio todo el tiempo.

La secuencia de montaje esta descrita en el proyecto, se debe montar en pares con un máximo de una dovela de desbalance.

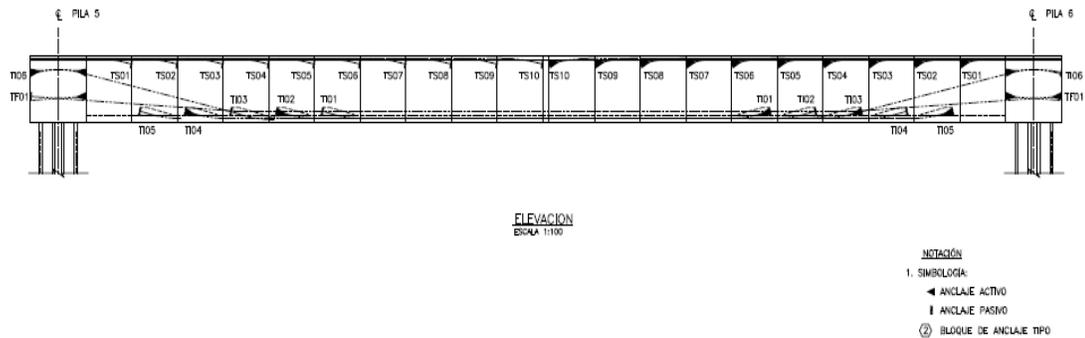


(1) Imagen 7.6 Secuencia de montaje. Fuente plano EST -VIA-GE-2153 DEL PROYECTO INTEGRAL VIADUCTO IGNACIO ZARAGOZA.

La imagen 7.6 muestra un fragmento del procedimiento constructivo y la secuencia de montaje.

Las trabes son sostenidas por el presfuerzo longitudinal, tanto superior como inferior el cual se colocará después de haber cerrado los claros, para la etapa de construcción todos los segmentos son sostenidos por barras de presfuerzo temporales.

La secuencia de montaje continua con una dovela al frente y una dovela atrás en espejo respecto al apoyo, así hasta llegar al medio claro entre apoyo y apoyo, 10 dovelas hacia un lado y 10 dovelas hacia el otro.



(1) Imagen 7.7 Perfil de claro 5-6. Fuente plano EST -VIA-PT-1343 DEL PROYECTO INTEGRAL VIADUCTO IGNACIO ZARAGOZA

En la imagen 7.7 se observa el claro 5-6 son 20 dovelas para cubrir un claro 10 son del apoyo 5 y 10 son del apoyo 6.

7.2.2 Barras Temporales y presfuerzo superior.

Como ya se mencionó, las dovelas son sujetadas con el presfuerzo superior e inferior el cual irá anclado de la dovela 1 del claro 5-6 a la dovela 1 del claro 6-7 pasando por la dovela de pila del apoyo 6, así con todas las dovelas, ancladas a su par del otro lado del apoyo.

El presfuerzo superior se coloca y se tensa después de montada la dovela. Para sostener cada dovela, se utilizan las barras temporales de presfuerzo las cuales son colocadas en los bloques de anclaje de cada dovela que se monta con la anterior montada.

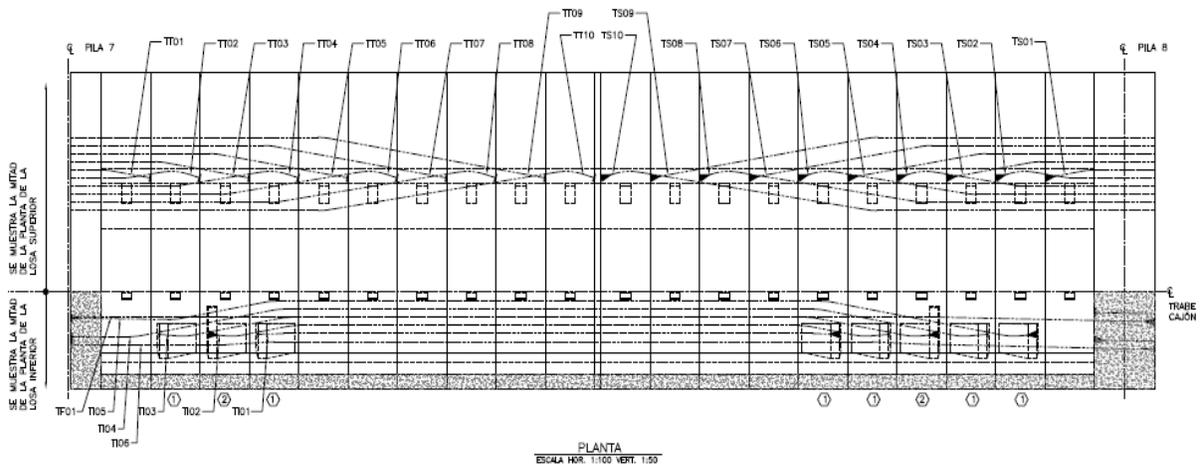


(2) Imagen 7.8 Barras temporales. Fuente del autor.

En la Imagen 7.8 se observan las barras temporales y el ensamble de las llaves de cortante las cuales coinciden al 100% por el colado en match cast.

Para retirar las barras temporales, primero hay que tener tensado el presfuerzo superior se tiene que tensar el presfuerzo superior, por tal motivo se enfilan los 12 torones por cada ducto de

las dovelas los cuales recorrerán todas las dovelas anteriores, la dovela de pila y todas las dovelas que estén antes de su dovela espejo en el otro lado del claro.



(1) Imagen 7.9 Planta de presfuerzo en dovelas. Fuente plano EST -VIA-PT-3145 DEL PROYECTO INTEGRAL VIADUCTO IGNACIO ZARAGOZA

En la Imagen 7.9 se observa en una vista en planta la distribución del presfuerzo inferior y del presfuerzo superior, el claro observado es el 7-8, se aprecia como corre el presfuerzo a través de las dovelas anteriores y de la dovela de pial.



(2) Imagen 7.10 Colocación de torones. Fuente del autor.

En la imagen 7.10 se observa como enfilan los torones por los ductos para presfuerzo, en cada ducto se colocan 12 torones de 15 mm de diámetro.



(1) Imagen 7.11 Anclaje para presfuerzo. Fuente del autor.

En la Imagen 7.11 se observa los torones, las cuñas y la placa de reparto, para tensar los torones se utilizó un gato hidráulico multitorón el cual aplica la misma fuerza en cada torón, al aplicar la fuerza las cuñas penetran y mantienen al torón tensado. Posterior al tensado se cortan las puntas sobrantes de cada torón y se inyecta con mortero.



(2) Imagen 7.12 Tensado con gato. Fuente del autor.

En la imagen 7.12 se observa el tensado de los torones con el gato multitorón, al hacer el tensado se lleva un registro donde se mide la penetración de cuñas, la elongación de cada torón y la presión que mantiene cada elemento, si alguno de estos valores fuera diferente a los teóricos y saliera del rango de tolerancia, se evaluaría para hacer las correcciones pertinentes.

Capítulo 8.

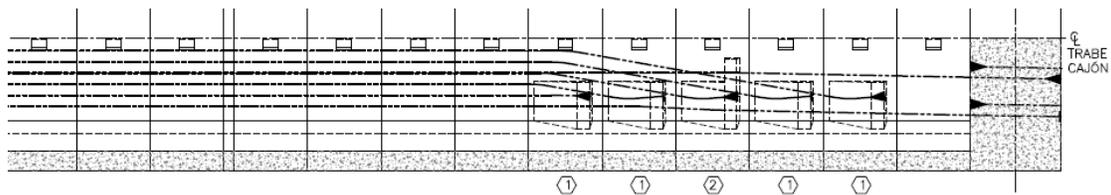
Cierre de Claros.

8.1 Presfuerzo inferior.

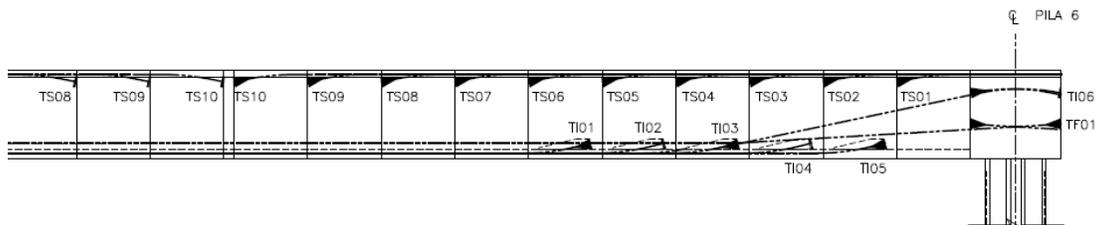
Al tensar el presfuerzo superior de las dovelas ya están trabajando en conjunto con sus dovelas pares del lado opuesto al apoyo, debido a que se montó en pares el apoyo está en equilibrio. En este punto ya se retiran las barras temporales.

Se lleva un control topográfico en cada montaje ya que al estar en cantiléver cada montaje altera la posición del otro lado del apoyo como una balanza.

Posterior a los montajes, se enfilan los torones del presfuerzo inferior, a diferencia del superior la trayectoria pasa de los puntos de anclaje que están en las dovelas a la dovela de pila del apoyo opuesto, es decir los cables pasan a través del espacio que está en el centro de cada claro.



PLANTA
ESCALA HOR. 1:100 VERT. 1:50



ELEVACION

(1) Imagen 8.1 Perfil de presfuerzo. Fuente plano EST -VIA-PT-1345 DEL PROYECTO INTEGRAL VIADUCTO IGNACIO ZARAGOZA.

En la imagen 8.1 se observa parte del claro 5-6, en la parte baja de la imagen se puede observar la trayectoria del presfuerzo superior y el presfuerzo inferior, resaltando que el presfuerzo superior tiene su anclaje en cada dovela y pasa a través de la dovela de pila para anclarse a su dovela par del otro lado, mientras que el presfuerzo inferior pasa a través de la junta constructiva desde el anclaje en la dovela hasta la dovela de pila anterior. En la parte superior de la imagen, se observa en planta la trayectoria del presfuerzo inferior.



(1) Imagen 8.2 Interior de dovelas. Fuente del autor.

En la Imagen 8.2 se observa el interior de las dovelas ya en su sitio y con los torones del presfuerzo inferior ya colocados. Al momento de tensar los cables del presfuerzo inferior las dovelas trabajarán en conjunto y se formará una contra flecha en el perfil del puente, al igual que en el presfuerzo superior se monitorea, la elongación del torón, la penetración de cuñas y la presión.

8.2 Juntas constructivas.

Después de haber montado los 10 pares de segmentos de cada apoyo, de haber tensado el presfuerzo superior, de haber retirado las barras temporales y de tensar el presfuerzo inferior, se procede a cerrar los claros ya que justo en el centro de cada claro entre la dovela 10 de cada apoyo quedará un espacio de 30 cms que será una junta constructiva, en este espacio, se coloca un armado con acero de refuerzo y se cuela con concreto hidráulico, con esto estaría cerrado por completo el claro entre apoyo y apoyo.



(2) Imagen 8.3 Claro cerrado. Fuente del autor.

Capítulo 9.

Conclusiones y experiencias.

9.1 Conclusiones.

Estar presente en la construcción del viaducto Zaragoza me deja muchos aprendizajes y experiencia, me mostró la importancia que tiene cada elemento del puente, desde las pilas de cimentación hasta las dovelas y sus torones de presfuerzo.

Vivir el día a día desde su inicio hasta su inauguración, me formó en la vida laboral con una serie de experiencias para manejar los recursos de una obra de este tipo. Pude observar de cerca la planeación de cada uno de los recursos con los que disponían para esta construcción, aprovechar los recursos humanos y los recursos de maquinaria para que cada elemento estuviera en su sitio con calidad y eficiencia.

El seguimiento al programa de obra empatando varias actividades a la vez para no afectar la ruta crítica en el programa de obra y desfasar la fecha de término me deja una gran lección ya que para esta obra en particular el aumentar los recursos tanto humanos como de maquinaria para ciertas actividades que se podían hacer simultáneamente aceleró y garantizó la entrega en tiempo y forma.

En este proyecto, forme parte de la empresa proyectista, mi función fue coordinar la entrega del proyecto a la constructora, por otro lado, también fui el encargado de supervisar que se cumpliera el proyecto y el proceso constructivo.

9.2 Experiencias.

En la construcción de este viaducto viví muchas experiencias que sirvieron para mi formación laboral, algunas de ellas son:

- Por recomendación de la concretera, agregaron agua con hielo en su fórmula del concreto para colar las columnas ya que el concreto al fraguar tiene una reacción exotérmica lo cual calentaba los espárragos de la cimbra a tal grado que no se podía descimbrar. Además, el hielo evitaría que el concreto se deshidrate muy rápido y no genere grietas por contracción.
- El control topográfico para colar los prefabricados es clave para evitar fallas en el perfil final del puente, así mismo la toma de lecturas después de cada montaje la cual buscaba hacerse a primeras horas de la mañana para evitar lecturas erróneas por la dilatación de los materiales por el calor. Debido a que los claros están en doble voladizo y en equilibrio, cualquier sobre peso en un extremo afectaba la posición del extremo contrario.
- La importancia de la correcta lectura de la penetración de cuñas, elongación de torones y la presión que marcaba los gatos hidráulicos, son fundamentales para poder liberar los tensados y cortar las puntas.

Índice de imágenes.

Imagen 1.1 ubicación en Google maps del puente. -----	5
Imagen 2.1 modelo 3D con elementos generales del puente. -----	8
Imagen 3.1 sección transversal del armado de las pilas. -----	9
Imagen 3.2 sección longitudinal del armado de la pila de cimentación-----	10
Imagen 3.3 armado de pila de cimentación -----	11
Imagen 3.4 armado de pila de cimentación -----	11
Imagen 3.5 Inicio de perforación con broca -----	12
Imagen 3.6 Recomendación técnica -----	13
Imagen 3.7 Estratigrafía -----	13
Imagen 3.8 Estratigrafía -----	14
Imagen 3.9 Tabla de cimentación profunda. -----	15
Imagen 3.10 Armado terminado. -----	16
Imagen 3.11 funcionamiento tubería. -----	17
Imagen 3.12 Colado de pila. -----	18
Imagen 3.13 Excavación de zapata. -----	19
Imagen 3.14 Colado de plantilla. -----	20
Imagen 3.15 Descabece de pilas. -----	20
Imagen 4.1 Despiece de acero. -----	21
Imagen 4.2 Corte de zapata. -----	21
Imagen 4.3 Armado de zapata losa inferior. -----	22
Imagen 4.4 Armado de zapata losa superior. -----	22
Imagen 4.5 Isométrico de zapata. -----	23
Imagen 4.6 Tabla de control geométrico. -----	23
Imagen 4.7 Cimbra lateral de zapata. -----	24
Imagen 4.8 Armado interior zapatas. -----	24
Imagen 4.9 Colado de zapata. -----	25
Imagen 4.10 Zapata colada. -----	25

Imagen 5.1 Corte transversal de columna. -----	26
Imagen 5.2 Corte longitudinal de columnas. -----	27
Imagen 5.3 Armado de columna. -----	27
Imagen 5.4 Detalle de armado de columna. -----	28
Imagen 5.5 Espacio entre armado y cimbra de columna. -----	28
Imagen 5.6 Cimbrado de columna. -----	29
Imagen 5.7 Colado de columnas. -----	29
Imagen 5.8 Columna colada. -----	30
Imagen 6.1 Mesa de colado. -----	31
Imagen 6.2 Perfil del puente. -----	32
Imagen 6.3 Perfil del puente. -----	32
Imagen 6.4 Perfil del puente. -----	33
Imagen 6.5 Mesa de colado. -----	33
Imagen 6.6 Geometría de dovela. -----	34
Imagen 6.7 Armado de dovela -----	34
Imagen 6.8 Armado de dovela -----	35
Imagen 6.9 Planta superior dovela -----	36
Imagen 6.10 Tubos de presfuerzo. -----	36
Imagen 6.11 Geometría de dovela. -----	37
Imagen 6.12 Armado de bloque. -----	37
Imagen 6.13 Cimbra lateral de dovela. -----	38
Imagen 6.14 Cimbra frontal de dovela. -----	38
Imagen 6.15 Ubicación de presfuerzo. -----	39
Imagen 6.16 Llaves de cortante. -----	39
Imagen 6.17 Colado de dovela. -----	40
Imagen 6.18 Colado de dovela. -----	40
Imagen 6.19 Dovela colada. -----	41
Imagen 6.20 Dovela colada -----	41
Imagen 6.21 Armado de dovela de pila. -----	42

Imagen 6.22 Geometría de dovela de pila. -----	43
Imagen 6.23 Dodela de pila. -----	43
Imagen 6.24 Colado de dovela de pila. -----	44
Imagen 6.25 Dodela de pila. -----	44
Imagen 7.1 Montaje de dovela. -----	45
Imagen 7.2 Montaje de dovela. -----	46
Imagen 7.3 Ductos de presfuerzo. -----	46
Imagen 7.4 Conexión de ductos de presfuerzo. -----	47
Imagen 7.5 Columna y dovelas. -----	47
Imagen 7.6 Secuencia de montaje. -----	48
Imagen 7.7 Perfil de claro 5-6. -----	49
Imagen 7.8 Barras temporales. -----	49
Imagen 7.9 Planta de presfuerzo en dovelas -----	50
Imagen 7.10 Colocación de torones. -----	50
Imagen 7.11 Anclaje para presfuerzo. -----	51
Imagen 7.12 Tensado con gato. -----	51
Imagen 8.1 Perfil de presfuerzo. -----	52
Imagen 8.2 Interior de dovelas. -----	53
Imagen 8.3 Claro cerrado. -----	53

Bibliografía.

Google. (mayo 2022). Google.

https://www.google.com/search?q=puebla&rlz=1C1ONGR_esMX973MX973&ei=QNDDyYarFsClqtsP8dGegAM&ved=0ahUKEwisy6jXrar1AhXAkmoFHfGoBzAQ4dUDCA4&uact=5&oq=puebla&gs_lcp=Cgdnd3Mtd2l6EAMyCAguEIAEELEDmGgILhCABBCxAzIICAAQsQMQgwEyBQgAEIAEMgglABCABBCxAzIICAAQsQMQgwEyBQgAEIAEMgslLhCABBCxAxCDATIICAAQgAQQsQMyCAgAELEDEIMBOgclABBHELADogclABCwAxBDogolLhDIAxwAxBDsgQIQRgASgQIRhgAUKcHWKcHYpOKaAFwAngAgAGRAYgBkQGSaQMwLjGYAQCgAQHIAQjAAQE&scient=gsw-wiz

Wikipedia. (mayo 2022). https://es.wikipedia.org/wiki/Puebla_de_Zaragoza

Google. (mayo 2022). Google maps. <https://www.google.com.mx/maps/@19.0640843,-98.1805831,17.75z>

Cipsa. (mayo 2022) <https://www.cipsa.com.mx/38/noticias/la-cimentacion-y-tipos-de-cimentaciones/>

CMIC. (2015). **NORMAS Y ESPECIFICACIONES PARA ESTUDIOS, PROYECTOS, CONSTRUCCIONES E INSTALACIONES. Volumen 4 Seguridad Estructural. Tomo IV Diseño de Cimentaciones.**

https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/normateca/INIFED/03_Normatividad_T%C3%A9cnica/02_Normas_y_Especificaciones_para_Estudios/04_Volumen_4_Seguridad_Estructural/Volumen_4_Tomo_IV.pdf

R POUCELL Y ASOCIADOS SA DE CV. (agosto 2011) **Estudio de Mecánica de Suelos, puente Zaragoza.** México D.F.

360 concreto. (mayo 2022). <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/el-concreto-tremie-un-sistema-de-colocaci211n>