

III. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS

III.1 OBRAS INDUCIDAS

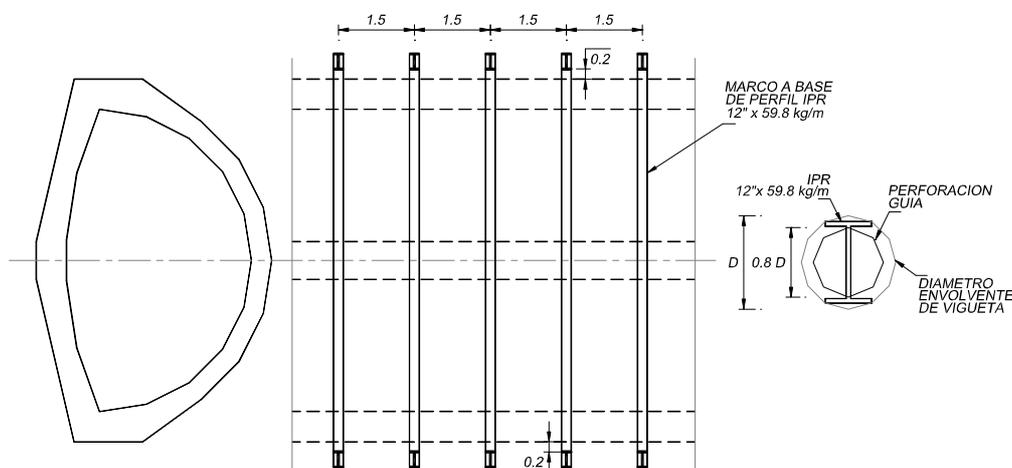
PROTECCIÓN DEL CAJÓN

El primer procedimiento constructivo importante relativo a las obras inducidas es el relativo a la protección del cajón del río churubusco, el cual se describe como sigue:

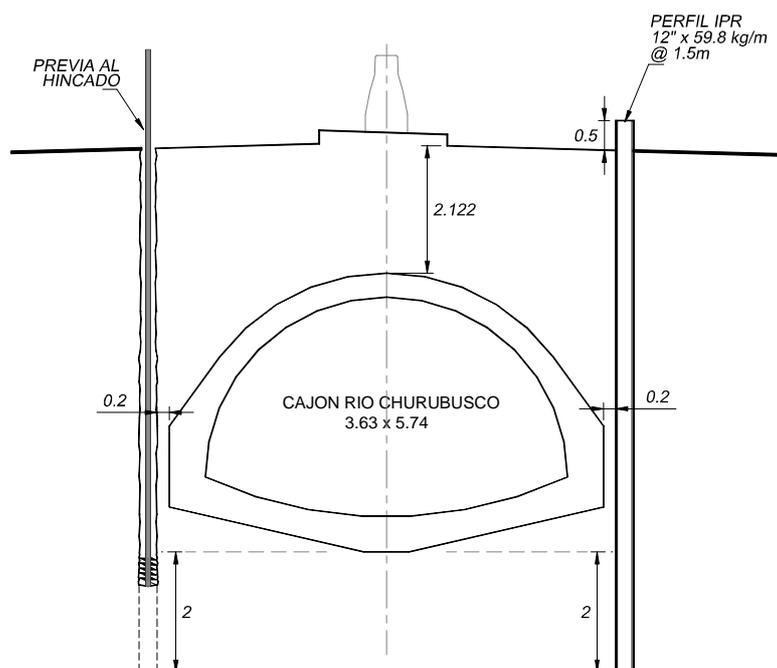
Para asegurar que durante el proceso constructivo del puente no se dañara el cajón del río churubusco, se implementó un sistema de protección a base de perfiles estructurales de IPR, los cuales serán hincados a todo lo largo del cajón en ambos costados del mismo, estos perfiles serán vigas de 12" x 59.8kg/m y se colocarán a cada 1.5m una de otra y tendrán la finalidad de proteger el cajón cuando se realicen principalmente excavaciones para las zapatas.

El proceso deberá ser el siguiente:

Como primer paso se localizará perfectamente el paño externo del cajón en ambos lados, para poder marcar los lugares que se colocarán los perfiles, estas marcas se colocarán a 20cm del paño del cajón. Teniendo identificados los puntos sobre los cuales irán los refuerzos se realizará una perforación previa que nos servirá de guía, esta perforación tendrá que ser del 80% del diámetro envolvente de la viga y hasta la profundidad del hincado de 2.0m bajo el nivel de arrastre del cajón, dicha perforación será sin extracción de material solamente con batido.



Acto seguido se hincarán las vigas en cada uno de los puntos con perforación previa, apoyándose de maquinaria pesada como lo son dragas o grúas, con este equipo se sujetará al mismo la viga y se colocara en la perforación cuidando de dejar 50cm sobresaliendo esta del nivel de la vialidad como se muestra en la siguiente figura.



Para garantizar mayor rigidez y por ende mayor protección del cajón, se soldará un viga transversal de 12" x 59.8 kg/m la cuál será montada sobre el marco formado por dos viguetas verticales (una a cada costado del cajón), la unión entre vigas se garantizará colocando ménsulas y soldadura.

Como protección adicional, cualquier trabajo que se tenga que realizar muy cerca del cajón se llevará a cabo con maquinaria ligera para así poder evitar cualquier daño.

CONSTRUCCIÓN DE TORRES PARA LOS CABLES DE ALTA TENSIÓN

Este punto es el segundo en importancia después de la protección del cajón, dado que los cables de alta tensión que pasan sobre Av. De Las Torres en su cruce con Av. Ermita, están a una altura en la cual no se podría colocar las traveses y sería muy riesgoso el tránsito de los vehículos.

Para resolver este punto se determino que la mejor solución es la de sustituir tres torres alternas en los sitios específicos para poder elevar el nivel de las líneas de energía, cada una de estas torres estarán sobre una cimentación de cuatro dados con medidas promedio de 0.60 x 0.60 x 4.50m de altura en promedio, armados con varillas de 1" y estribos del #3 @ 15cm, con concreto premezclado de $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$.

Para esta cimentación se realiza una excavación de dimensiones 2.50 x 2.50m y a una profundidad de 3.0m debajo del nivel de terreno actual, esto se logra con una máquina Caterpillar 320.

Teniendo listo el nivel de proyecto para desplantar la cimentación se habilita el acero de refuerzo y se coloca conforme a lo dispuesto en los planos estructurales de la cimentación mencionada.

Estando el acero de refuerzo completo se coloca la cimbra previamente impregnada con desmoldante para facilitar su posterior retiro. Enseguida se colocarán unos perfiles fijos al acero de refuerzo y que sobresalen del nivel de colado, estos tendrán la ocupación primordial de servir como anclaje para la estructura en general, estando listos los anclajes se coloca el concreto premezclado sobre cada una de las columnas de cimentación.

Completa la cimentación en los tres sitios designados el paso siguiente será el de armar en sí la torre, este procedimiento se lleva a cabo de manera manual; es decir no se utiliza ningún tipo de maquinaria especial sino solo llaves para apretar tornillería, podríamos describir este proceso de manera coloquial como “si se armara un mecano”; es decir ninguno de los elementos estructurales de la torre está soldado, sino atornillado entre sí.

Para lograr esto una parte de la torre se ensambla en la cimentación hasta por lo menos unos 3.0m, después en otra área de la obra se arma toda la parte superior de la torre para que con la ayuda de grúas se coloque sobre la estructura base que está sobre la cimentación.



Foto .Estructura alterna



Foto .Apoyo con grúa

Teniendo totalmente armadas y completas las estructuras de cada una de las tres torres, se solicita realiza una libranza para quitar por unas horas la energía de los cables que se encuentran en las torres a sustituir, y así poder reubicar los cables de energía eléctrica a sus nuevas torres. Cabe hacer mención que todo este proceso es realizado por Luz y Fuerza del Centro, desde la cimentación, armado de estructuras, elevación y colocación final de las torres, libranza, reubicación de cables y puesta en marcha de energía; debido a que ellos son los especialistas para dicho trabajo, la altura final de las tres torres fue de: las dos cercanas al circuito de 53m y la torre cercana a la Av Ermita fue de 25m, el gálibo que quedó finalmente entre la superficie de rodamiento y los cables de alta tensión fue de 19.0m

III.2 CIMENTACIÓN PROFUNDA

Como se mencionó en el capítulo I de esta Tesis, la cimentación que se construirá para este puente será cimentación profunda basada en pilotes trabajando principalmente a fricción y desplantados a una profundidad promedio de 20.5m a 22.0m. Para poder llevar a cabo el proceso constructivo de la cimentación profunda será indispensable seguir los siguientes pasos:

- Trazo de ejes de referencia
- Trabajos de perforación
- Fabricación de pilotes
- Hincado de pilotes

III.2.1 TRAZO DE LOS EJES

El primer paso en materia de construcción es el de realizar el trazo y nivelación de la zona de proyecto, este trazo es indispensable para la correcta ejecución de la obra, se realiza con equipo topográfico y la finalidad es la de dejar los sitios precisos bien delimitados para el inicio de las excavaciones, despalmes, hincados, etc.

Para el caso que nos ocupa, se trazó el eje principal de cada uno de los cuerpos del puente (Eje A y Eje B); así como los ejes de cada una de las columnas que lo comprenden, paralelo a este trabajo de topografía se colocaron referencias de cada eje de columna sobre las banquetas de los arroyos cercanos a cada eje con la finalidad de tener un soporte en caso de perder la marca por el mismo proceso de la obra. Las marcas necesarias son el eje de cada uno de los pilotes, el perímetro de la zapata, el eje de la columna y el eje principal.

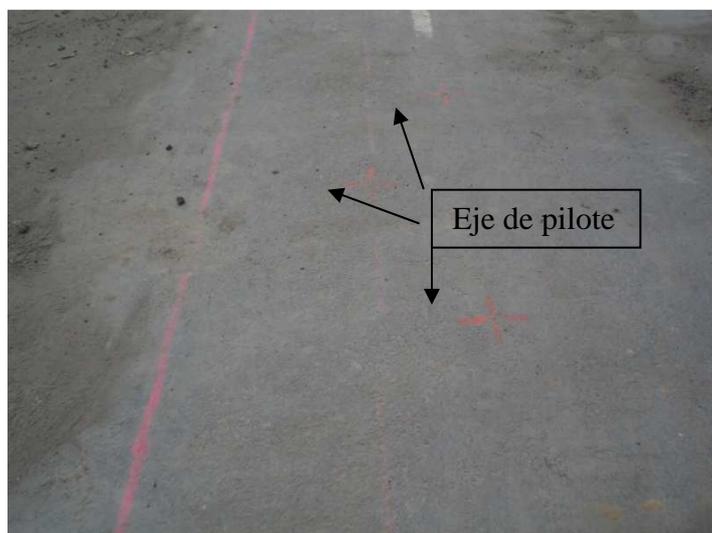
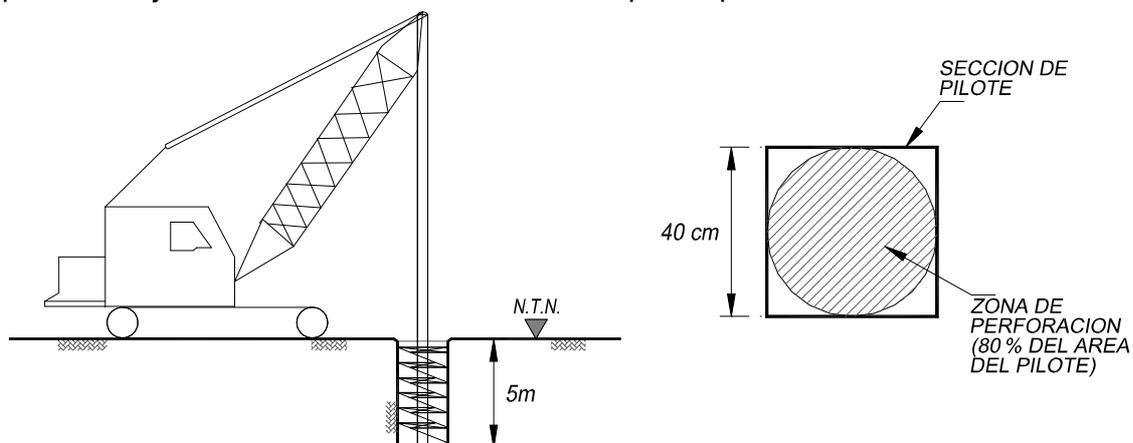


Foto. Trazo topográfico para eje de pilotes

III.2.2 TRABAJOS DE PERFORACIÓN

Estando terminados los trabajos para las referencias de los ejes de los pilotes se comienza con la perforación de cada uno de los lugares donde se hincarán los mismos, esta perforación tiene como finalidad la de facilitar el hincado del pilote, además de evitar movimientos excesivos de la masa de suelo adyacente La perforación se realizara con equipo especial para perforar, en este caso fue con una perforadora Solimec modelo 212. La posición final del pilote no deberá exceder de 2cm con respecto a la del proyecto, el diámetro de la perforación será del 80% del área transversal del pilote a modo de que la perforación quede inscrita

dentro del área del pilote con una tolerancia de $\pm 2.5\text{cm}$, esto es con la finalidad de que el pilote trabaje como está diseñado el sistema que es por fricción.



Durante todo el proceso de la perforación deberá cuidarse la verticalidad de ésta, además de conservar las dimensiones y profundidades de proyecto.

En todos y cada uno de los pilotes se llevará a cabo la perforación con extracción de material los primeros 5m y en los siguientes 15m solo se realizará remoldeo de material para así facilitar el hincado. El tiempo máximo permisible entre la perforación y el hincado es de 36hrs.



Foto. Equipo de perforación

III.2.3 FABRICACIÓN DE PILOTES

Enseguida pasamos a la fase de fabricación de los pilotes en campo, este proceso deberá seguirse al pie de la letra para poder garantizar que los pilotes resistirán las fuerzas de diseño; así pues, el procedimiento de fabricación es el siguiente:

Debido a que la profundidad de proyecto es alrededor de los 20.0 a 22.0m, los pilotes se fabricarán de dos tipos, pilotes Tipo "A" y pilotes Tipo "B" ambos tendrán una sección rectangular de 40 x40cm. Los pilotes que se hincarán primero de acuerdo al proyecto serán los denominados Tipo "A" con una longitud de 11.0m, enseguida se unirán a éstos los del Tipo "B" con una longitud de 9.0 a 9.5m.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PILOTE TIPO "A"

Comenzaremos a expilar el procedimiento constructivo de este tipo de pilote, este pilote se fabricará construyendo dos secciones estructurales distintas para poder dar la longitud solicitada de 11.0m, las secciones las nombraremos Sección I (parte superior de dicho pilote con longitud de 5.0m) y Sección II (parte inferior del pilote con longitud de 6.0m) Fig. 1

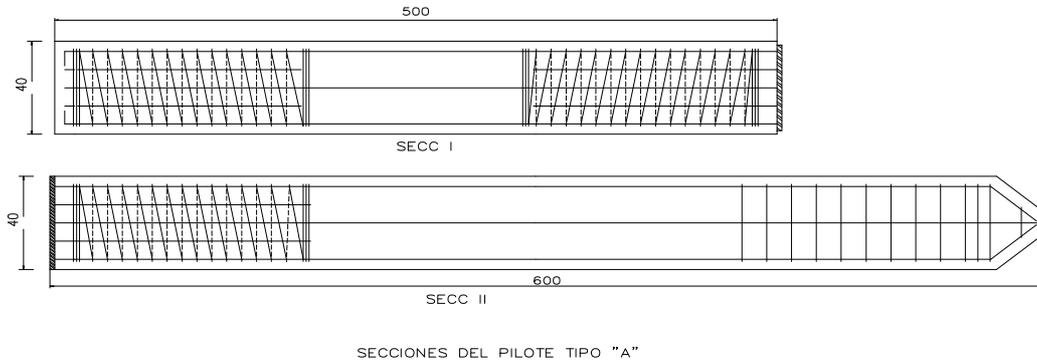


Fig.1

ARMADO ESTRUCTURAL DE LA SECCIÓN II

El pilote Sección II tendrá un refuerzo longitudinal compuesto de la siguiente manera: se colocarán 8 varillas de manera longitudinal del número 6 dispuestas en el perímetro de la sección, una en cada esquina (para un total de 4) y otra a la mitad de cada uno de los lados (otras 4) como se especifica en la Fig. 2. El refuerzo transversal será el siguiente: En la parte que ira como punta del pilote se le colocaran estribos del número 3 a cada 10cm, la disposición de este refuerzo solo será en el primer metro (Fig. 3), después del primer metro de este refuerzo la disposición siguiente será con estribos del número 3 a cada 20cm, hasta llegar un metro antes de la parte superior de este pilote. Para la parte superior de este pilote se reforzará con estribo del número 3 a cada 10 cm y adicionalmente se colocará estribo en forma de espiral del número 3 con un paso de 6cm, con arranque y termino de 3 vueltas (Fig. 4).

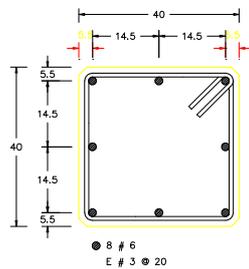


FIG. 2

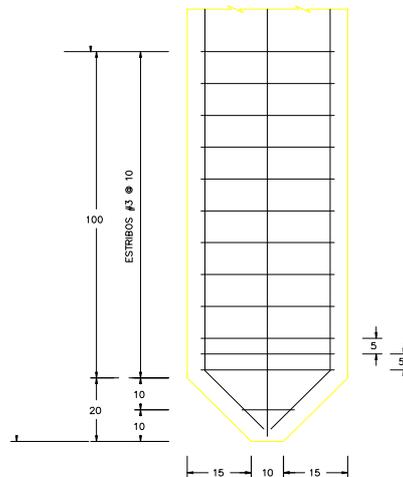


FIG. 3

REFUERZO ESTRUCTURAL

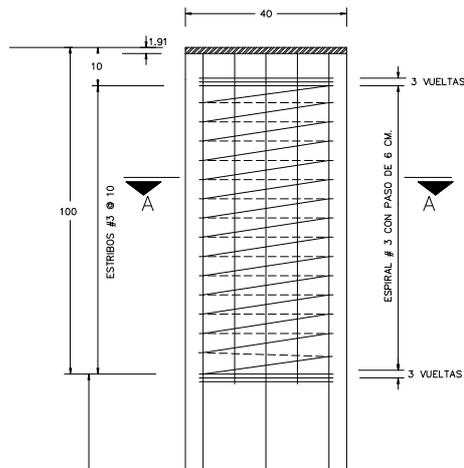


Fig. 4

En la parte superior se colocará una placa que nos servirá para conectar la Secc I con la Secc II , esta placa es de 38 x 38cm de 1.91e, la cual anclaremos en el pilote mediante 8 varillas del número 4 como lo muestra la Fig. 5.

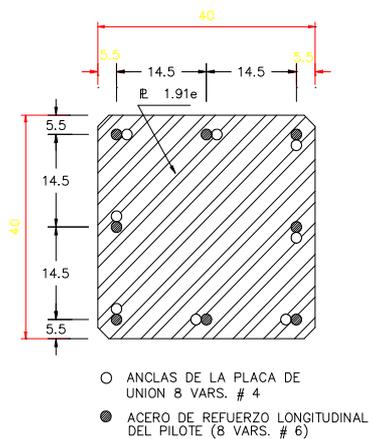


Fig. 5



ARMADO ESTRUCTURAL DE LA SECCIÓN I

Para la construcción de esta sección del pilote el armado estructural será el siguiente: el refuerzo longitudinal estará compuesto por 8 varillas del número 6 dispuestas en el perímetro del pilote como lo indica la Fig. 2, para el refuerzo transversal se colocarán estribos del número 3 a cada 10cm en una longitud de 1.0m, adicionalmente se colocará un refuerzo en forma de espiral con varilla del número 3 con paso de 6cm y tres vueltas al arranque y tres vueltas al final. La disposición de este refuerzo transversal será tanto en la parte inferior (un metro) como en la parte superior (un metro) de este tipo de pilote (Fig. 6). En la parte intermedia el refuerzo transversal será con estribos del número 3 @ 20cm



Para poder ligar esta sección estructural de 5.0m con la sección de 6.0m, se le colocarán dos placas; la primera estará en la parte inferior y tendrá una sección de 38 x 38cm de 1.91e, para poder ligarla a la estructura de la sección II. La otra placa se colocará en la parte superior de esta estructura pero tendrá las medidas de 40 x 40cm de 1.91e, para poder ligar posteriormente el pilote tipo "A" con el tipo "B", ambas placas se ligan a la estructura del pilote con 8 varillas del número 4 dispuestas en su perímetro como lo muestra la Fig. 5.

Teniendo listas y armadas estructuralmente las dos secciones de este tipo de pilote, se dispondrá de un área especial para poder realizar la fabricación de los mismos, esta área especial tendrá que prepararse de la siguiente manera: si se elige una zona en la cual exista algún firme y este irregular, éste deberá escarificarse con equipo especial para este proceso y acto seguido se colará una plantilla de 5cm de espesor de manera que este perfectamente bien nivelada, en el caso de que la superficie elegida este perfectamente horizontal solo deberá hacerse limpieza de la zona para evitar que los pilotes se contamine a la hora de colarlos. Por disposición del estructurista solo se colocarán en camas de 13 pilotes en el sentido horizontal y la forma de colado será la siguiente:

Se unirán y colocarán las secciones estructurales I y II en el área designada para luego colocar la cimbra correspondiente, se cimbrarán primero los números pares cuidando de poner en la cimbra suficiente desmoldante en cada una de las caras en contacto con el concreto y verificando que la sección final sea de 40 x 40cm, con una tolerancia de ± 1 cm y

se colarán con concreto premezclado de resistencia normal a 28 días de $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$ de manera continua de tal manera que se garantice un colado monolítico, utilizando para este fin herramientas como son vibradores para poder eliminar todo el aire que pudiera tener el concreto.

Teniendo colados los pilotes pares, se descimbran y a continuación se colarán los pilotes con números nones siguiendo las mismas recomendaciones que para los anteriores, con la ventaja de que para este colado los pilotes fabricados nos servirán como cimbra para los nuevos, para evitar que se “peguen” unos con otros se colocará una barrera de polietileno.

Con esto se obtiene una primera cama de 13 pilotes fabricados en campo, de manera similar a esto se colarán sobre esta primera cama otras camas de pilotes en el sentido vertical cuidando de no estibar más de 4 camas de 13 piezas cada una.



Con este procedimiento se tienen listos los pilotes que serán hincados primero (Tipo "A") enseguida se describirá el proceso constructivo de los pilotes siguientes (Tipo "B").

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PILOTE TIPO "B"

El proceso para construir los pilotes siguientes (estos serán de 9.0 a 9.5m aprox.) es similar a lo descrito anteriormente, con la diferencia que estos se fabricarán en una sola sección estructural.

El armado longitudinal de este pilote está constituido por 8 varillas del número 6 colocadas en el perímetro del pilote como lo muestra la Fig. 2, para el armado transversal se colocarán estribos del número 3 @ 10 cm en una longitud de 1.0m tanto en la parte inferior como en la superior, adicionalmente se colocará en estas mismas secciones refuerzo en forma de espiral con varilla del número 3 con un paso de 6cm. Para el refuerzo en la parte intermedia del pilote se colocarán estribos del número 3 @ 20cm. A este pilote solo se colocará una placa en la parte inferior del mismo de medidas 38 x 38 cm de 1.91e para poder ligarlo con el pilote Tipo "A", el anclaje de esta placa al pilote seguirá los mismos lineamientos como se indica en la Fig. 5

Para la fabricación de estos pilotes se seguirá el procedimiento de colado como el descrito en la sección anterior y también se respetará el apile en camas de no más de 13 elementos en forma horizontal y no más de 4 camas en forma vertical.

Estando completas las camas de colado y aceptados todos los pilotes por la supervisión se numerarán cada uno de ellos para llevar un control adecuado en especial en el caso de que las pruebas de laboratorio del concreto no sean satisfactorias, de esta manera es más fácil ubicar en que zapata y que número de pilotes están en ese dilema, además deberá colocaran marcas a cada metro en toda su longitud para poder llevar un control del número de golpes por decímetro hincado.

III.2.4 HINCADO DE PILOTES

La colocación de los pilotes de concreto debe efectuarse de manera que se pueda garantizar la integridad estructural del pilote y se alcance la integración deseada con el suelo de manera tal que cumpla totalmente su cometido, también deberá cuidarse de no causar daños a las estructuras e instalaciones vecinas por vibraciones o desplazamiento vertical y horizontal del suelo; para cumplir con esto se deberán seguir el procedimiento que se describe a continuación:

Estando fabricados todos los pilotes, se retirarán del área donde están las camas de colado con el uso de una grúa ó draga, cuidando de izarlos de manera correcta conforme lo indique el especialista estructural y se trasladarán en su caso mediante plataformas, en ningún caso se moverán pilotes que no hayan cumplido con por lo menos el 75% de la resistencia de proyecto.

Teniendo los pilotes necesarios para una de las zapatas, se comienza con el hincado del primer pilote (estos serán los Tipo “B” de 11.0m de longitud), el proceso para su hincado es el siguiente:

Se utiliza una draga y se le coloca un estrobo abrazando la parte superior del pilote (área sugerida por el especialista estructural generalmente indicada en planos de fabricación) comenzando a elevarlo y dirigiéndolo hasta la perforación que le corresponde, estando listo en la perforación se deja caer con la draga para que su propio peso lo hinque, es importante mencionar que una vez que se dejó caer el pilote éste no deberá retirarse para volverlo a dejar caer por lo que se prohíbe la maniobra conocida como en el medio como “chaqueteo”.

Después de dejarlo caer se verifica la verticalidad del pilote, esto se logra con equipo topográfico en dos direcciones, empero existen formas más económicas y aceptables, la más común es con el apoyo de plomadas en dos direcciones formando un ángulo de 90 grados teniendo como vértice el pilote mismo y cuidando que una de las caras del pilote sea paralela a las de las contratrabes Figura. 7.

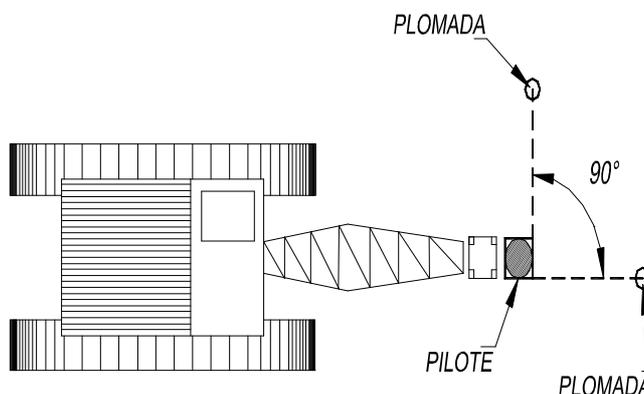


Fig. 7 Referencia para garantizar verticalidad

Estando confirmada la verticalidad del pilote se coloca el martillo piloteador (martillo D-22-32 con una energía nominal de 6,700 kg-m) en la parte superior del mismo, cerciorándose de que la cabeza del martillo cuente con una base de material plástico así como colocar un colchón de madera entre el martillo y la cabeza del pilote.

Estando todo lo anterior listo se comienza con el hincado del pilote por medio del martillo piloteador, en este proceso es importante tener una persona exclusivamente para el conteo del número de golpes entre cada una de las marcas (recordar que las marcas están a cada metro), las características del martillo deberán ser: martillo pesado con baja velocidad de impacto, o dicho de otra manera de carrera corta. El peso del pistón no debe ser menor de 0.3 veces el peso del pilote y la energía del martillo será superior a 0.3 kg-m por cada kilogramo de peso del pilote.

En caso de que el peso del pistón sea demasiado grande con relación al del pilote, deberá regularse la energía para no dañar al pilote. La altura de caída se mantendrá del orden de 0.75 a 1.0m. La velocidad del pistón o la carrera se reducirá al principio del hincado cuando se encuentre en la zona alterada de la perforación, además de realizarse con sumo cuidado para minimizar los esfuerzos de tensión.

El proceso de hincado de los pilotes en una zapata deberá seguir una secuencia; dicha secuencia será hincar primero los pilotes que se colocarán en el perímetro exterior de la zapata y después seguir con los pilotes centrales, esto es con la finalidad de reducir las expansiones que se puedan generar por el desplazamiento de la masa del suelo. Una vez hincado el pilote la maniobra no deberá suspenderse hasta que la punta alcance la profundidad de proyecto, que en este caso el pilote quedará aproximadamente 1.0m por sobre el terreno natural actual; esto es para poder ligarlo al siguiente pilote, esta liga será por medio de soldadura.

Estando el primer pilote colocado y sobresaliendo aproximadamente 1.0m del nivel del suelo, con el apoyo de la draga ó grúa se coloca otro pilote (Tipo “B” este es el de 9.5m de longitud) por encima de éste, cuidando de alinearlos perfectamente en sus cuatro caras y limpiando perfectamente las superficies de contacto que en este caso son placas de acero, la limpieza debe hacerse con cepillo de alambre para poder retirar el óxido que pueda estar presente en las placas. Listas las placas y alineados los pilotes se unirán por medio de soldadura de filete en todo el perímetro



Terminada la unión de estos dos pilotes se inicia nuevamente el hincado hasta llegar a su profundidad final conforme a proyecto, esta profundidad se encuentra por debajo del nivel actual del terreno natural, el martillo no puede seguir operando cuando el pilote llega al nivel del terreno natural debido a que la perforación es demasiado pequeña, por lo que se requerirá el apoyo de un aditamento especial llamado “seguidor”, este aditamento permite seguir hincando el pilote hasta la profundidad deseada.

La desviación angular máxima admisible del pilote es de 2%, la tolerancia en la profundidad de hincado de $\pm 1\%$ de la longitud total.

III.3 CIMENTACIÓN PARA ESTRUCTURA

La cimentación diseñada para soportar la estructura consta de zapatas de cimentación de 13.80m x 6.60m, 11.40 x 6.60m, 15.00 x 6.60m, las dimensiones en ancho y largo varían dependiendo de la ubicación, todas son de 2.0m de altura; aunado a esta zapata se construirán los dados de cimentación como se muestra en la Fig. III.3.1.

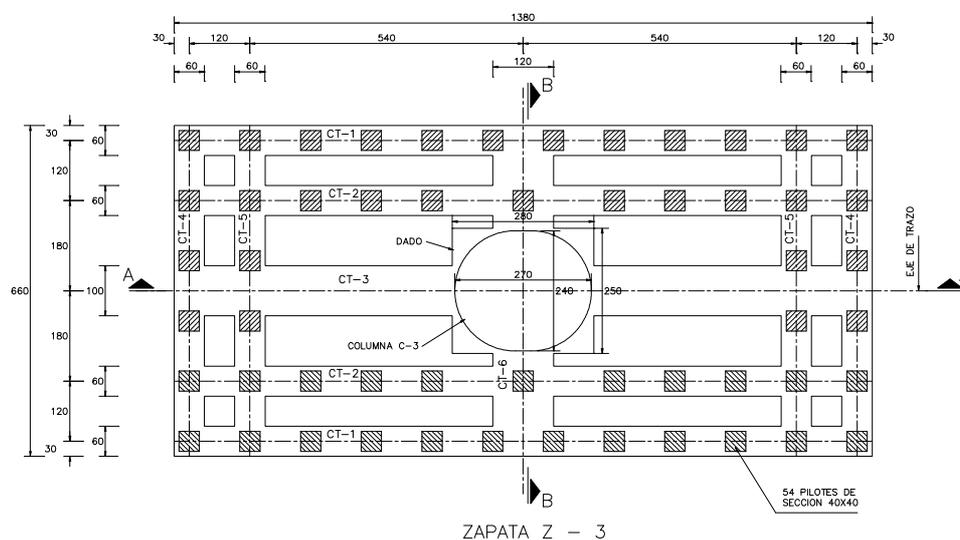


Fig. III.3.1

Todas las zapatas se conforman por 10 contratrabes dispuestas de la siguiente manera: 2 contratrabes denominadas CT1 colocadas en la parte externa del lado largo de la zapata, estas contratrabes son de dimensiones 13.8 de largo x 0.6m de ancho y 2.0m de altura, el refuerzo estructural longitudinal de esta contratrabe es con 10 varillas del número 6 en la parte superior y 18 varillas del número 10 en la parte inferior, en la sección intermedia se colocarán en los dos costados 14 varillas del número 4 dispuestas en paquetes de 2 piezas cada uno. En lo relativo al refuerzo transversal se colocará de la siguiente manera: Se colocarán estribos de 0.49m x 1.85m con varilla del número 4 @ 15cm, adicionalmente se colocarán también estribos de 0.18m x 1.85m con varilla del número 4 @ 15cm, también se colocarán refuerzos en losa fondo y losa tapa con varilla del número 4 @ 15cm.

Las siguientes 2 contratrabes son denominadas CT2 colocadas en la parte interna de la zapata como lo muestra la Fig. III.3.1, son de medidas idénticas a las contratrabes CT1, y el armado estructural prácticamente es el mismo, solo difieren en el acero de refuerzo

longitudinal en la parte inferior que en este caso solo son 16 varillas del número 10, todo lo demás es idéntico a la contratrabe CT1. En lo relativo al refuerzo transversal son idénticos los armados.

La zapata cuenta con 1 contratrabe denominada CT3 colocada al centro del claro corto y sus medidas son de 1.0m de ancho x 2.0m de altura y 13.80m de largo, el refuerzo estructural longitudinal de esta contratrabe consta de 16 varillas del número 10 en el lecho superior y 28 varillas del número 12 en el lecho inferior; en la sección intermedia se colocarán en los dos costados 14 varillas del número 4 dispuestas en paquetes de 2 piezas cada uno. Para el caso del refuerzo transversal se colocarán estribos del número 4 de sección 87.60m de ancho x 1.85 de altura @ 15cm y también se colocarán 2 estribos del número 4 de sección 0.19m de ancho x 1.85m de altura @ 15cm, estos dos últimos estribos se colocarán en la parte central de la contratrabe.

La zapata cuenta con 2 contratrabes denominadas CT4 colocadas en la parte externa de la zapata en el lado corto estas contratrabes son de dimensiones 6.60m de largo x 0.6m de ancho y 2.0m de altura, el refuerzo estructural longitudinal de esta contratrabe es con 10 varillas del número 6 en la parte superior y 7 varillas del número 8 en la parte inferior, en la sección intermedia se colocarán en los dos costados 18 varillas del número 4 dispuestas en paquetes de 2 piezas cada uno. En lo relativo al refuerzo transversal se colocará de la siguiente manera: Se colocarán estribos de 0.49m x 1.85m con varilla del número 4 @ 15cm, adicionalmente se colocarán también dos estribos de 0.18m x 1.85m con varilla del número 4 @15cm; estos dos últimos estribos se colocarán en la parte central de la contratrabe, también se colocarán refuerzos en losa fondo y losa tapa con varilla del número 4 @ 15cm.

Las siguientes contratrabes son 2 denominadas CT5, estas son de características idénticas a las CT4 pero solo tienen una variación en el acero longitudinal del lecho inferior, aquí se colocarán 10 varillas del número 10, por el demás acero tanto en sentido longitudinal como en sentido transversal son idénticas.

Por último la contratrabe denominada CT6 colocada al centro de la zapata en el lado corto de dimensiones 6.60m de largo x 1.20m de ancho y 2.0m de altura, el refuerzo estructural longitudinal de esta contratrabe es en el lecho superior de 20 varillas del número y dos más adicionales del número 8, en el lecho inferior se colocarán 26 varillas del número 2 mas dos adicionales del numero 8. En lo que respecta al acero transversal se colocara un estribo de dimensiones 1.08m de ancho x 1.85m de altura de varilla del número 4 @ 15cm, adicionalmente se colocara un estribo central de dimensiones 0.60m de ancho x 1.85m de altura de varilla del número 4 @ 15cm y por último otro estribo adicional central de dimensiones 0.28m de ancho x 1.85m de altura con varilla del número 4 @15cm.

El acero de refuerzo descrito en las secciones anteriores se muestra en la Fig. III.3.2

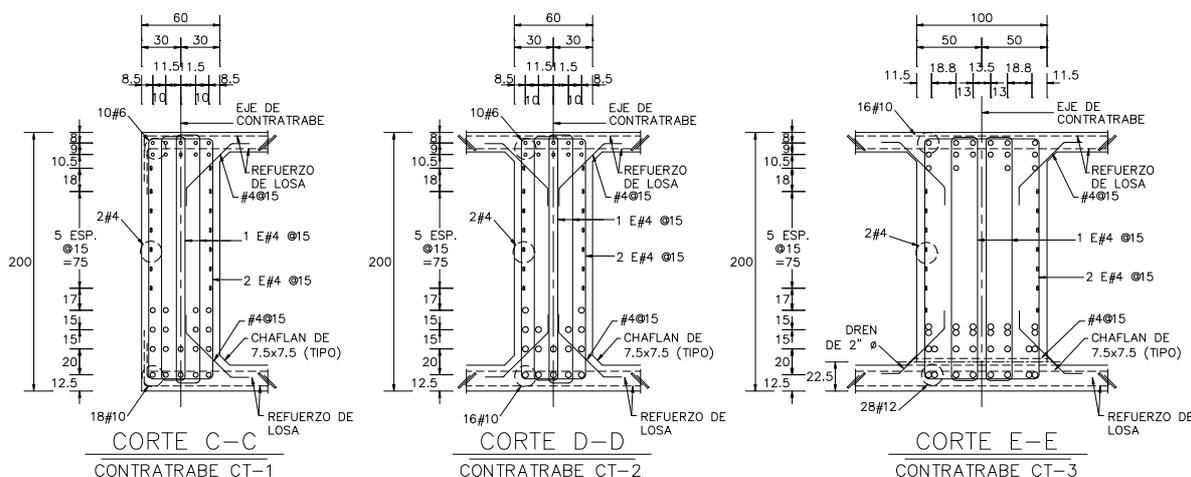


Fig. III.3.2

Cabe hacer mención que el refuerzo estructural de la cimentación y en general del proyecto en cuestión es el producto de un análisis a fondo y detallado, el cual está fuera del alcance de esta tesis, debido a que el tema principal de la misma es Proceso constructivo mas no diseño; por lo cual solo se mencionan los resultados de dicho análisis estructural, que son los expuestos.

Ya descrito el número de contratraves y el tipo de armado de las mismas, ahora procedemos a describir el proceso constructivo de dichas zapatas y se enumera como sigue:

- Trazo de los límites de la zapata
- Excavación
- Elaboración de plantilla de concreto
- Protección del talud del terreno
- Descabece de pilotes
- Limpieza del área
- Trazo de ejes de contratraves y limite de zapata
- Armado de losa fondo
- Armado de contratraves y dado
- Limpieza de escoria con equipo de aire comprimido
- Cimbrado de contratraves y dado
- Colado de losa fondo, contratraves y dado
- Cimbrado y colado de losa tapa y dado
- Relleno y compactación con material de banco

Comenzaremos entonces con la descripción del proceso constructivo.

III.3.1 TRAZO TOPOGRÁFICO DE LOS LÍMITES DE LA ZAPATA

En este primer paso para la construcción de la zapata se verificará que los trazos topográficos del los límites de la zapata marcados anteriormente estén visibles perfectamente, en caso contrario deberán trazarse nuevamente apoyándose de ser necesario en las referencias marcadas a los costados de la obra.

III.3.2 EXCAVACIÓN

Estando delimitada el área de la zapata se realizará una excavación con equipo mediano como una retroexcavadora Caterpillar 320C, con capacidad de cucharón de $3/4\text{yd}^3$. Este proceso de excavación deberá realizarse con mucho cuidado en la primer etapa de la excavación, esto porque la parte superior de los pilotes están 2.0m por debajo del nivel de terreno natural aproximadamente, entonces si el operador de la máquina no tiene el cuidado suficiente podría golpear alguno de los pilotes provocado un daño a la maquina o al pilote mismo, se recomienda entonces que se inicie la excavación entre las líneas de pilotes. En las siguientes Fotografías se muestra el detalle de la excavación



Excavación realizada

Deberá asegurarse que la excavación sea más amplia con respecto al largo y ancho de los límites de la zapata, esto con la finalidad de permitir más cómodamente las maniobras de armado de acero, colocación de cimbra y colado, además se dejará un talud del material en las caras que así lo requieran. Este talud estará determinado por las características mecánicas del material y será proporcionado por el estudio de mecánica de suelos.

Conforme se va excavando, es importante que la supervisión verifique el nivel de desplante de la zapata, para así poder determinar la profundidad final de excavación de la máquina y proceder a nivelar el fondo a mano si así se requiere. Estando perfectamente nivelado el terreno a la profundidad indicada en proyecto se procede con el siguiente paso.



Nivelación del fondo y afine del terreno

III.3.3 PLANTILLA DE CONCRETO

Este punto es muy importante ya que se necesita tener una superficie plana donde poder marcar nuevamente los ejes y referencias de las contratrabes y límites de la zapata, en este caso se colocará una plantilla de 5cm de espesor con concreto premezclado de $f'c=100$ kg/cm² con agregado máximo de $\frac{3}{4}$ " , en promedio se lleva un total de 6.0m³ a 6.5m³ por zapata (la excavación para una zapata tipo Z-3 es de 7.60m x 16.0m). Antes de verter el concreto en el área previamente se colocarán referencias para poder medir la altura de esta plantilla y así garantizar los niveles de proyecto, estas referencias pueden ser varillas de $\frac{3}{8}$ " bien ancladas al terreno con una traza de hilo entre ellas colocado perfectamente horizontal apoyados con equipo topográfico.



Colado de plantilla

III.3.4 PROTECCIÓN DEL TALUD DEL TERRENO

Estando lista la plantilla, el paso siguiente es el de proteger el talud del terreno, esto se llevará a cabo colocando en todas y cada una de las caras de la excavación un refuerzo metálico que en este caso será lo que se conoce como malla de gallinero anclada al terreno por medio de varillas de $\frac{3}{8}$ " y con una longitud de 1.0m colocadas @ 2.0m una de otra en tres bolillo para garantizar la perfecta adherencia de la malla al terreno natural; teniendo lista la malla se

colocará mortero sobre ella con la finalidad de formar una barrera de concreto entre el terreno natural y la zona de obra, y así evitar un probable deslave del terreno o en su caso escurrimientos de agua debido al nivel freático.

III.3.5 DESCABEZADO DE PILOTES

Con el área de trabajo perfectamente delimitada en lo que respecta a los costados de la excavación se inicia el trabajo de quitar el concreto de cada uno de los pilotes hincados anteriormente con la finalidad de descubrir totalmente el acero de refuerzo, a esta maniobra se le conoce como descabece de pilote. Este procedimiento se lleva a cabo con máquinas rompedoras apoyadas con equipo de aire comprimido. Estando la cabeza del pilote libre de concreto se retira el acero de refuerzo que se colocó para el confinamiento; es decir, se eliminan los estribos formados por varilla del número 3 que fueron colocados @ 10cm y también se elimina el acero de refuerzo colocado en espiral, solo queda el acero longitudinal para que se ligue a las contratrabes de la zapata.



Descabezado de pilotes

III.3.6 LIMPIEZA DEL AREA

Terminado el descabece de los pilotes se deberá realizar limpieza del área para poder pasar al siguiente proceso, esta limpieza es muy a fondo eliminando residuos de concreto, acero, tierra, etc. Es muy cercano a la limpieza fina de obra (deberá estar libre de polvo la superficie).

III.3.7 TRAZO DE LOS EJES DE CONTRATRABES Y LÍMITES DE LA ZAPATA

Con el área completamente limpia el paso siguiente es nuevamente realizar los trazos topográficos para poder marcar en el fondo de la excavación los límites de las contratrabes y de la zapata en cuestión, estos trazos deben respetar totalmente el proyecto original tanto en longitudes como en niveles de alturas; además de estar perfectamente referenciados al eje principal del arroyo. Este trabajo se realiza con equipo topográfico y una estricta supervisión ya que un error en este punto y puede repercutir de manera considerable en la obra, tanto económicamente como en tiempo.



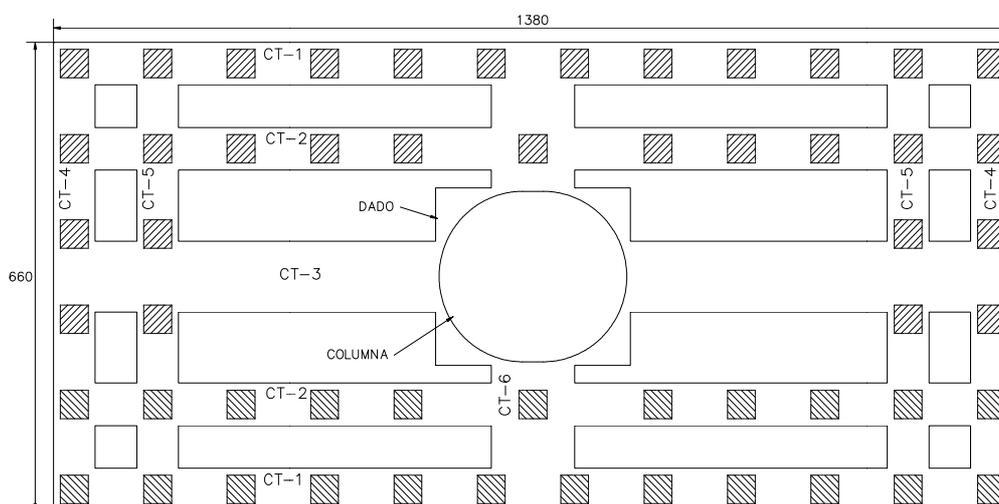
Trazo de ejes con equipo topográfico

III.3.8 ARMADO ESTRUCTURAL DE LOSA DE FONDO

El armado de esta losa de fondo se realizará con dos parillas elaboradas con varillas del número 4 @ 15cm en ambas direcciones y separadas una de otra mediante silletas, el espesor final de la losa fondo será de 20cm, el acero de refuerzo que quedó descubierto en los pilotes quedará dentro del armado de esta losa de fondo.

III.3.9 ARMADO ESTRUCTURAL DE CONTRATRABES Y DADO

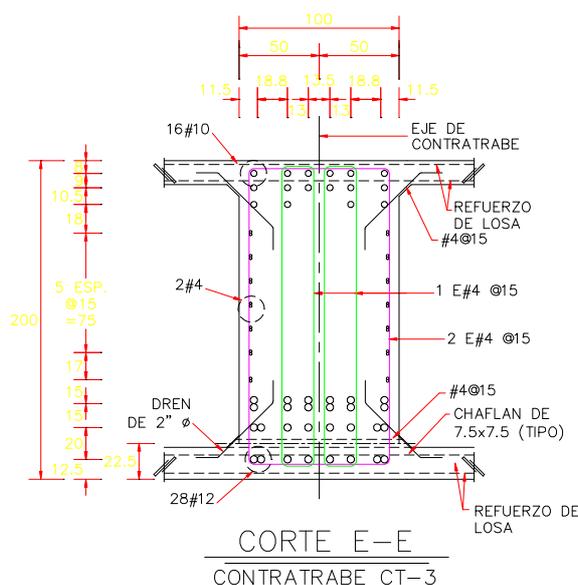
El sistema de zapata de cimentación propuesto para este puente cuenta con 10 contratraves dispuestas como se muestra en la figura.



UBICACIÓN DE CONTRATRABES

El proceso de armado de estas contratraves fue de la siguiente manera: se armaran primero las contratraves CT-1 y CT-4, para poder tener los límites de la zapata; enseguida se comenzarán a armar las contratraves CT-2 y CT-5 para después armar las contratraves CT-3 y CT-6, y finalmente se coloca el armado del dado, siguiendo todas las especificaciones

descritas en los planos estructurales, con relación a la ubicación de los estribos, paquetes de varillas y empalmes requeridos.



Distribución del acero de refuerzo longitudinal y transversal en contratrabes

Es muy importante que a la par de este armado de contratrabes se debe colocar el acero de refuerzo de la columna y dado de cimentación debido a que estos van anclados e integrados al sistema de cimentación.

Para todos los casos en los cuales el acero de refuerzo de las contratrabes sea del número 8, 10 ó 12, deberá cuidarse que se cumplan las longitudes de proyecto y los empalmes para cada contratrabe; es decir, las contratrabes CT-1 están armadas con varillas del número 10 en su parte inferior y la longitud de la contratrabe es de 13.80m más los anclajes en los extremos que es alrededor de un metro más por varilla nos da un total aproximado de 14.80m. La longitud estándar de fabricación de las varillas es de 12.0m aprox., por lo que se requiere hacer empalme de varilla en los casos mencionados.

Este empalme en realidad será la unión de dos secciones de varilla mediante soldadura de bisel en "V" sencilla con electrodo de la serie E-90xx, con respaldo de ángulo o placa curva, con la finalidad de tener un elemento de las dimensiones necesarias en el proyecto así como de la calidad solicitada para el mismo. Aunado a este trabajo se deberán realizar pruebas de control de calidad en cada una de estas uniones de varillas para garantizar que el sistema en general trabajará de manera adecuada, el tipo de pruebas y control de calidad se describirá más detalladamente en el capítulo IV.1 de esta Tesis.

III.3.10 LIMPIEZA DE CONTRATRABES

Cuando se hayan armado totalmente todas las contratrabes y dado de la zapata en cuestión se debe realizar previo al trabajo de cimbra una limpieza de toda la zona; esta limpieza tiene la finalidad de retirar toda la escoria que pudiera estar presente en las varillas y así poder

garantizar el correcto anclaje del acero de refuerzo con el concreto, la limpieza se lleva a cabo con equipo de aire comprimido y a presión.



Retiro de escoria en contratrabes con equipo de aire comprimido

III.3.11 CIMBRA DE CONTRATRABES Y DADO

Estando listo el refuerzo estructural se coloca la cimbra de todas las contratrabes aplicando previamente a cada una de las caras que estarán en contacto directo con el concreto una capa de desmoldante, para garantizar que al momento de retirarla no quede pegada y ocasione el deterioro de la misma. Es importante cuidar nuevamente en este punto los niveles de colado y dimensiones de proyecto.

III.3.12 COLADO DE CONTRATRABES, DADO Y DE LOSA FONDO

El paso siguiente es colar parte de la zapata, en lo que respecta a las contratrabes, estas se colarán con concreto premezclado de $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ bombeado con agregado máximo de $\frac{3}{4}$ ", el volumen aproximado de este colado es de 123.0 m^3 (depende de la zapata que se trate), se utilizarán vibradores eléctricos para poder expulsar el aire del concreto y garantizar la homogeneidad del colado y la colocación será con bomba telescópica, el nivel de colado es de 1.85 m dejando 15 cm para la losa tapa (recordemos que las contratrabes son de 2.0 m de altura). Al terminar este colado se retirará la cimbra pasados 3 días y se curará el concreto

III.3.13 CIMBRADO DE LOSA TAPA

Estando terminado el colado del punto anterior, se iniciará el cimbrado para la losa tapa; así como el armado estructural de la losa el cual es con varilla del número 4 @ 15 cm en ambas direcciones y en dos parrillas separadas mediante silletas de varilla a una distancia tal que el espesor final de la losa sea de 15 cm . En este punto se coloca el acero estructural de la parte del dado de cimentación que falta para completar el nivel de proyecto ya que la altura de la zapata es de 2.0 m y la altura del dado es de 2.60 m armado con 44 varillas del número 4 en el sentido vertical (las cuales fueron colocadas anteriormente al colado de las contratrabes), en el sentido transversal se colocarán 7 estribos del número 4 @ 15 cm y dos grapas del número

4 @ 15cm, al igual que el concreto del punto anterior este será de resistencia $f'c = 300\text{kg/cm}^2$ con agregado máximo de $\frac{3}{4}$ ".



Armado y colado de losa tapa y dado de cimentación faltante

III.3.14 RELLENO Y COMPACTACIÓN

Terminados los colados de la zapata se retirará la cimbra y se procederá con los rellenos en las áreas laterales colindantes que se excavaron; así como rellenar la parte superior de la zapata, estos rellenos se realizarán con material de banco limo-arenoso (tepetate), el cual será compactado al 90% de acuerdo al AASHTO estándar (T-99) en capas de 20cm máximo.

Todos los rellenos que se coloquen en la zona de obra y no tengan una función estructural u ornamental, deberán colocarse y compactarse con las mismas características del párrafo anterior. Los rellenos que se coloquen cercanos a las instalaciones hidráulicas deberán ser tendidos con una humedad superior en 2% respecto a la óptima, y ser compactados en capas de 20 cm al 85% respecto a la prueba citada siempre atendiendo a los criterios fijados por SACM.





Compactación en área de zapatas

III.4 ESTRUCTURA

La parte denominada estructura es la que comprenden por una parte las columnas y por otra los cabezales; dentro de este apartado describiremos también el proceso constructivo de los Muro Estribo, Rampas de acceso y descenso y Muros de contención; primeramente describiremos el proceso constructivo de las columnas.

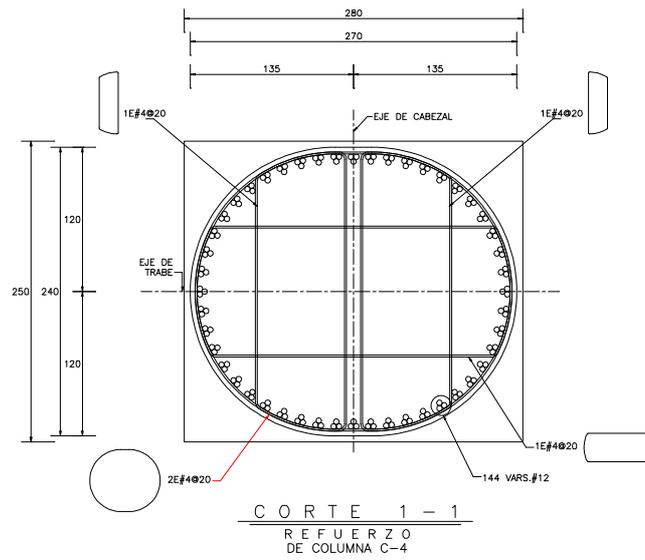
III.4.1 COLUMNAS

Como se menciona en un principio la sección de las columnas es oblonga, de medidas 2.70m x 2.40m, cada columna deberá cumplir al igual que los elementos anteriores estrictamente los lineamientos de control y supervisión para la correcta ejecución del proyecto. El proceso constructivo para las columnas consta de tres pasos esenciales.

- Armado estructural de la columna
- Nivelación y cimbrado
- Colado de columna

ARMADO ESTRUCTURAL DE LA COLUMNA

El armado estructural de la columna se inició previamente cuando la zapata de cimentación comenzó a construirse, pues al momento de su proceso se dejaron colocadas las varillas longitudinales perimetrales de la misma. El acero de refuerzo consta de 48 paquetes de 3 piezas cada uno para un total de 144 varillas verticales del número 12 en el perímetro de la sección, para el refuerzo transversal se colocarán estribos de forma oblonga al igual que la columnas, estos serán del número 4 @ 20cm en toda la altura como confinamiento de todas las varillas; además se colocan estribos rectangulares del número 4 @20cm perpendiculares al eje principal y un estribo rectangular del número 4 @20 paralelo al eje principal, estos estribos se colocarán a todo lo alto de la columna como se ilustra en la siguiente figura.



Acero de refuerzo en columnas

NIVELACIÓN Y CIMBRADO

Es importante mencionar que durante el proceso de armado estructural de la columna, deberá ponerse especial atención en la verticalidad de la misma, esto es entendible debido a que si por algún motivo la columna no quedara totalmente vertical, el cabezal tendría problemas, así como la colocación de las trabes; además de que las cargas sobre la columna no estarían trabajando en el sentido vertical solamente, se tendría una flexión de la columna en todo momento, no siendo este el diseño principal.

Esta verticalidad además del constructor es responsabilidad de la supervisión y deberá verificar la misma con dos equipos de topógrafos formando un ángulo de 90° entre ellos. Para ir alineando perfectamente este armado se recurre al apoyo de tensores de alambre fabricados en la obra y se colocan en cuatro lados de la columna (norte, sur, este y oeste), tirando de cada uno de ellos conforme lo indiquen los topógrafos.

Estando el acero de la columna alineado correctamente, el siguiente paso es colocar la cimbra metálica, que de igual manera deberá estar alineada perfectamente; esta cimbra se coloca con el apoyo de una grúa pequeña u equipo topográfico, la cimbra consta de dos secciones en forma de "U" acopladas mediante tornillería, es cimbra metálica liza para dar un acabado aparente.



Cimbra metálica en columnas

COLADO DE COLUMNA

Estando lista la cimbra se realiza el colado de la columna, que será con concreto premezclado de $f'c=400 \text{ kg/cm}^2$ bombeable, se debe tener especial cuidado que durante este proceso se lleve a cabo el vibrado correctamente, en particular en la parte más baja de la columna que en algunos casos como en las columnas de mayor altura sea complicado por la longitud del chicote del vibrador; se debe estar atento en todo momento de que se realice este vibrado.

La altura de colado de la columna la determina el proyecto, esta altura será a la cual el cabezal comenzará a construirse, y depende de la posición de cada elemento en el puente; pues, en las columnas cercanas a las rampas de acceso la altura es menor que en el cruce con Av. Las Torres



Colado de columna con bomba telescópica

III.4.2 CABEZALES

Esta parte es también muy importante, debido a que además de estar perfectamente unido a la columna el cabezal deberá estar perfectamente alineado pues esta estructura será la encargada de recibir las traveses y así transmitir las cargas a las columnas y cimentación.

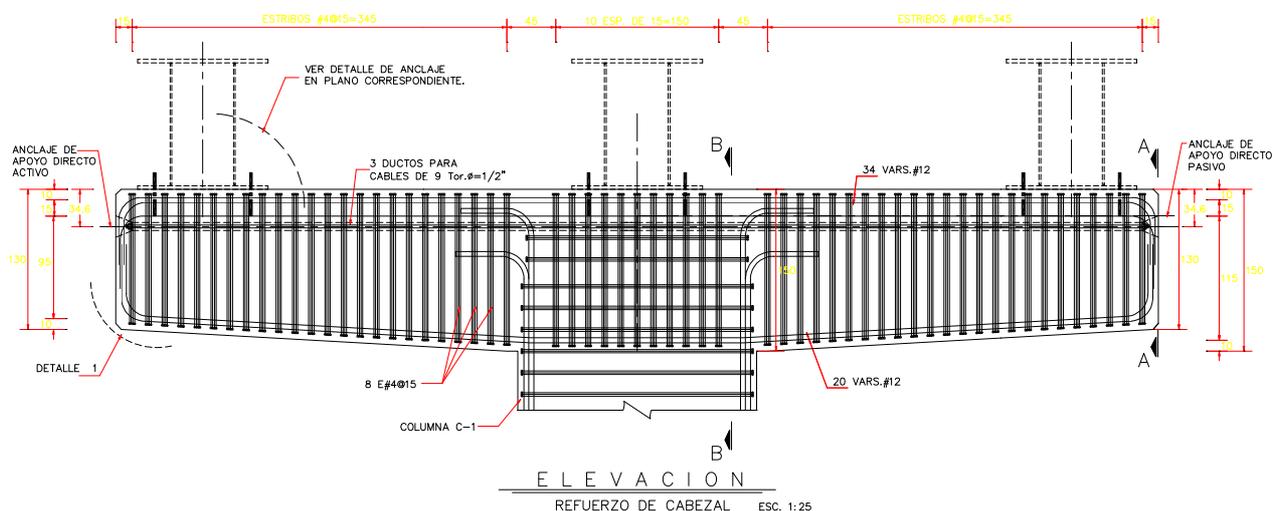
ARMADO ESTRUCTURAL

El proceso constructivo de dicho elemento es como sigue: teniendo colada la columna se comienza a colocar el acero de refuerzo para este elemento, que consta como sigue: El refuerzo longitudinal será con 34 varillas del número 12 en el lecho superior acomodadas en paquetes de 2, en el lecho inferior tenemos 20 varillas del número 12 igualmente en paquetes de 2, aunado a esto se colocarán 20 varillas del número 4 en cada uno de los costados del cabezal agrupadas de 2 en 2.

Para el refuerzo vertical se colocó estribos rectangulares del número 4@15cm a partir del extremo del cabezal hacia la columna en una distancia de 3.45m en paquetes de 4 varillas cada uno, esto es en ambos lados de la columna, para la parte central donde está también el acero de la columna el refuerzo es por medio de estribos del número 4 distribuidos en 11 paquetes de 4 varillas cada uno en la parte central de la columna, en la siguientes figuras se ilustra lo mencionado.

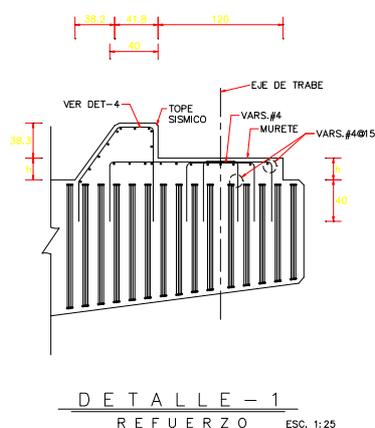
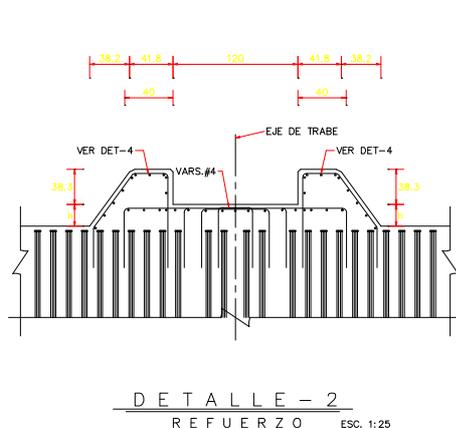
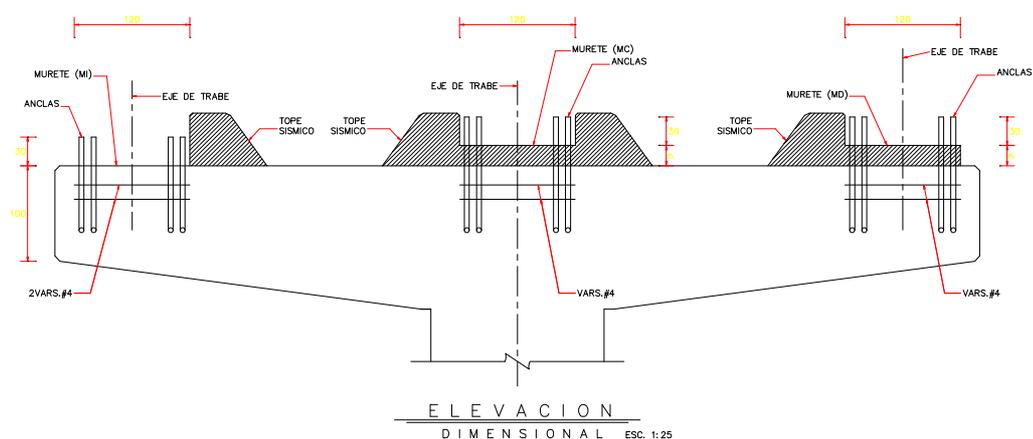


Fotografía del armado estructural del cabezal



Estando en el proceso de armado estructural del cabezal, se deberá también colocar el acero estructural para los topes sísmicos, cuya función principal es la de evitar que las vigas se desplacen de manera horizontal sobre el cabezal especialmente en un evento sísmico; además estos topes nos sirven como interconexión entre las vigas y el cabezal.

Para la unión de las vigas con el cabezal se colocarán unas anclas de acero de 1 ¼" y serán 8 para cada una de las traveses colocadas en grupos de 2, estas anclas deberán estar roscadas en el extremo que quedará expuesto.



Además del refuerzo estructural del cabezal deberán colocarse tres ductos de por lo menos 2" de diámetro a todo lo larga del cabezal, estos ductos servirán para colocar dentro de ellos torones de 9 hilos, estos torones son de 1/2" de diámetro y la función de los mismos es la de realizar un tensado de la estructura posterior al colado de la misma.

CIMBRADO DE CABEZAL

Teniendo todo el acero estructural colocado del cabezal y topes sísmicos el paso siguiente es el de colocar la cimbra, previa impregnación de desmoldante a la misma, esta colocación se realizará con el apoyo de grúa para las columnas de mayor altura, debe tenerse especial cuidado en dejar las distancias correspondientes entre la cimbra y el acero de refuerzo como lo indican los planos estructurales en especial para el recubrimiento.

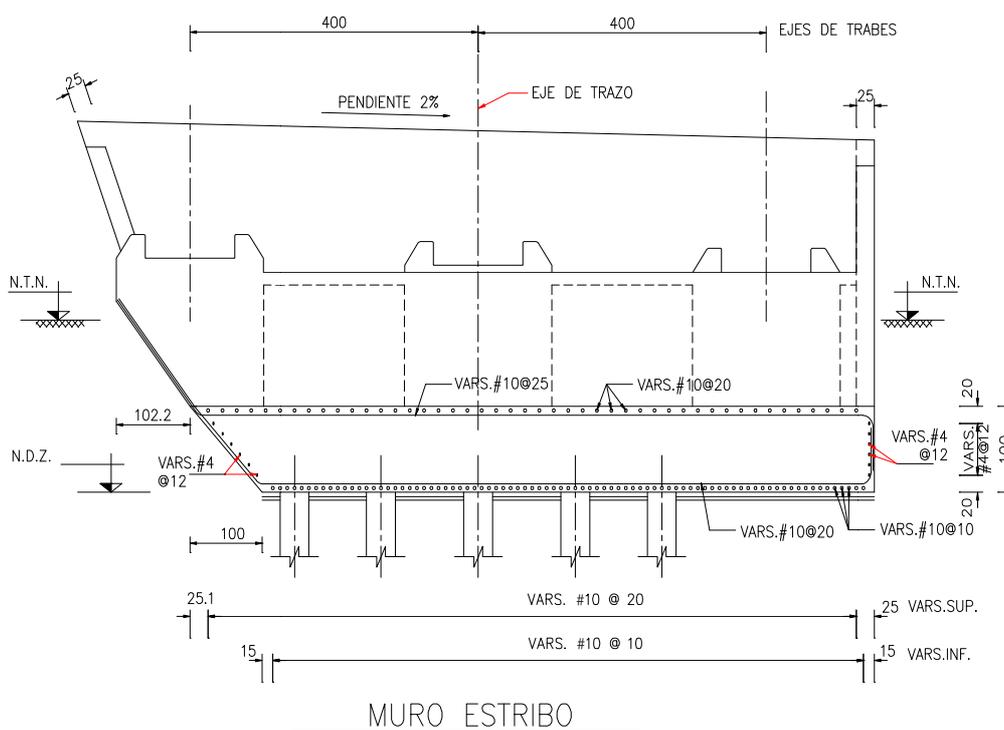


Colocación de cimbra con apoyo de grúa

Lista la cimbra se colará el cabezal con concreto premezclado de $f'c=400\text{kg/cm}^2$ utilizando para esto bomba telescópica, recordemos que también es importante la correcta utilización de los equipos de vibración.

III.4.3 MURO ESTRIBO

Este muro tiene la función principal de recibir las traveses principales y superficie de rodamiento para poder ligarlas con la rampa de acceso o descenso del puente. La cimentación profunda para el muro estribo es sobre doce pilotes de $0.40 \times 0.4\text{m}$ desplantados a una profundidad de 21.50m , sobre ellos estará una zapata de $8.50 \times 3.20\text{m}$ x 1.0m de altura, ligadas a la zapata estarán dos columnas de sección $2.05 \times 1.35\text{m}$ y una altura de 1.56m ; así como una ménsula con refuerzo especial para recibir las traveses, lo anterior se muestra en la figura siguiente.



Como se ha descrito anteriormente el proceso para la construcción de este muro estribo, es de manera similar a los procesos descritos. Primeramente se realizan los trazos de ejes de zapatas y pilotes, barrenación e incado de pilotes; así como excavación, descabece de pilotes, armado, cimbrado y colado de zapata de cimentación y columnas.

La parte importante durante este proceso constructivo del muro estribo es la de colocar el correcto acero de refuerzo en todas las áreas, la colocación de los topes sísmicos y la colocación de los apoyos de neopreno, pero en especial los niveles de proyecto; esto debido a que este muro es la división entre el puente propiamente y la rampa de acceso, así que cualquier falla en los niveles ocasionaría unos desajustes que derivarían en problemas a la hora de circular por la vía.

Aunado a la construcción del muro estribo se colocó acero de refuerzo ligado a esta estructura para elaborar la rampa de acceso, este acero de refuerzo es principalmente para los muros de contención de la rampa.

III.4.3 RAMPAS DE ACCESO Y DESCENSO

Estos elementos son los que propiamente nos permiten acceder al puente vehicular o descender del mismo, para formar estas rampas será necesario realizar los siguientes procedimientos:

- Trazo y Excavación de Terreno
- Muros de contención
- Rellenos y compactaciones
- Tensores de interconexión de Muros
- Losa de Aproximación
- Losa de rampa de ascenso y descenso

TRAZO Y EXCAVACIÓN DE TERRENO

De acuerdo con el proyecto original, se debería realizar una excavación del terreno para poder llevar a cabo la construcción de la rampa; pero, al observar detenidamente el material que se encontró en la zona de la rampa se determinó en base a la experiencia tanto de la supervisión como del área de la dependencia que se podría aprovechar gran parte de este material como base de la rampa; motivo por el cual no fue necesario realizar la excavación de toda la zona de proyecto.

En lugar de eso solo se realizó excavación en los costados laterales de la zona de rampa, dejando la parte central intacta, el argumento principal de esta decisión es que el material que se encuentra en el área está en buenas condiciones y cumple con los requerimientos de compactación necesarios, lo anterior se muestra en la siguiente figura.

La excavación en el costado cerca del río Churubusco se realiza dejando un talud con una inclinación de aproximadamente 50° , en tanto que en el otro extremo el talud es vertical prácticamente.



Corte del terreno para muro diagonal



Corte del terreno para muro vertical

MUROS DE CONTENCIÓN

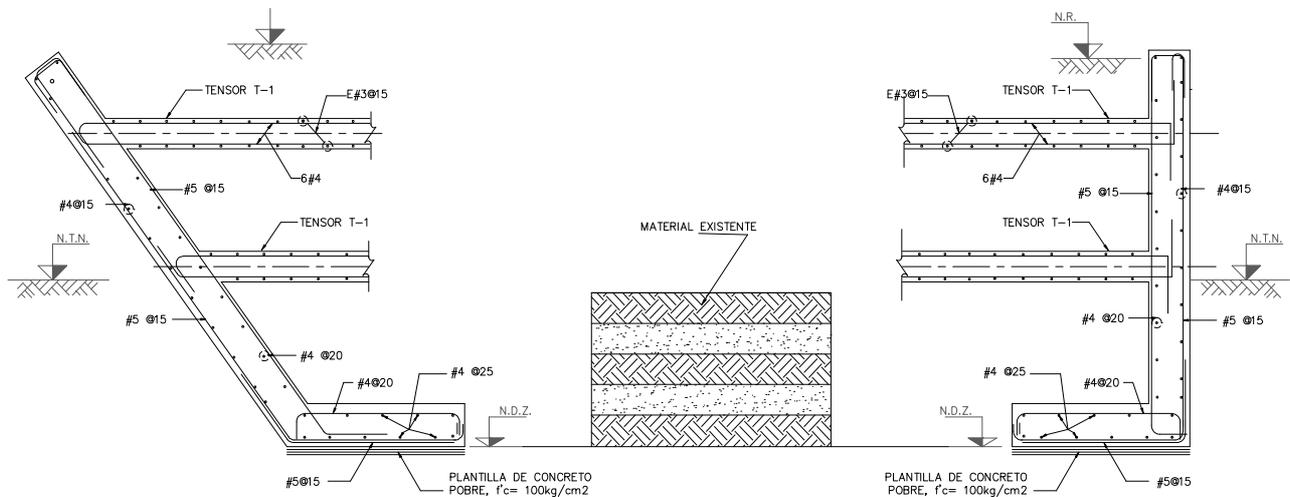
La actividad principal de estos muros es como su nombre lo dice: contener material que se colocará en el centro de la rampa que a su vez es soporte para la superficie de rodamiento.

La rampa cuenta con dos muros de contención laterales ligados a unas zapatas para cada uno, estas zapatas son de forma irregular comenzando con un ancho de 2.30m en la parte cercana al muro estribo y terminando en 0.75m a la altura de la parte más baja del muro. A su vez los muros quedan ligados entre sí mediante unos Tensores colocados @ 1.50m en todo lo largo en dos camas separadas 1.0m cada una.

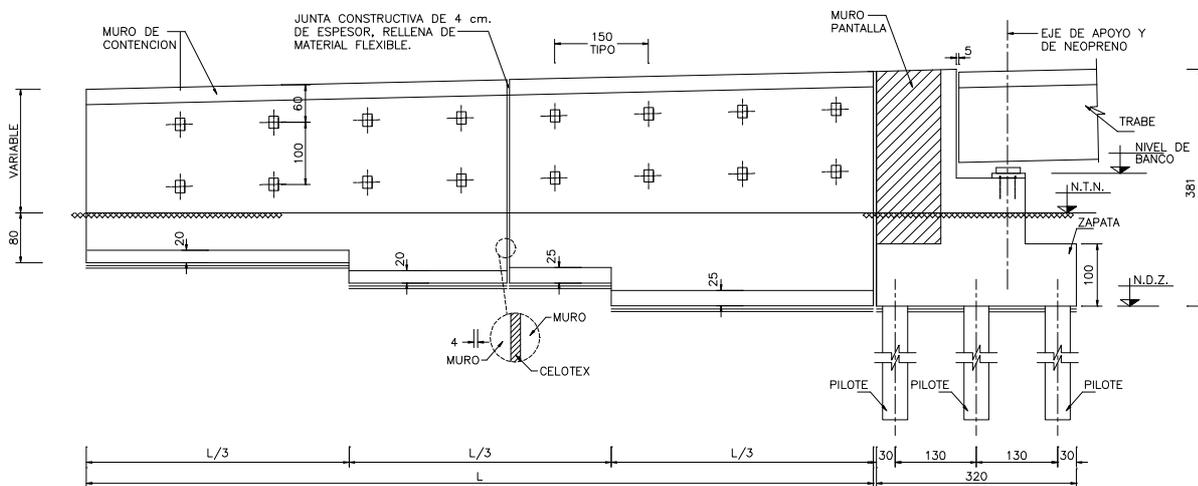
Después de tener lista la excavación se coloca una plantilla de concreto pobre de resistencia $f'c=100\text{kg/cm}^2$, estando la plantilla colada colocamos el armado de la zapata que consta de una cama superior armada con varillas del # 4 @ 25cm en el sentido longitudinal y en el sentido transversal de la zapata van varillas del # 4 @ 20cm, la cama inferior consta de varillas del # 4 @ 25cm longitudinalmente y varillas del # 5 @ 15cm en el sentido transversal.

El armado para los muros es una parilla doble con varillas del # 4 @ 15cm en el sentido longitudinal por la parte externa del muro y varillas del # 4 @ 20cm en la parte interna del muro. En el sentido transversal el acero de refuerzo es con varillas del # 5 @ 15cm. A la par de este armado se colocará también acero de refuerzo para poder ligar los tensores.

Con el acero de refuerzo listo se coloca la cimbra para que posteriormente se coloque el concreto, que para el caso de los muros de contención y zapata es de resistencia $f'c=300\text{kg/cm}^2$



Esquema de los muros de contención



CORTE A - A
GEOMETRIA



Armado estructural del muro de contención

RELLENOS Y COMPACTACIONES

Completos los trabajos de construcción de los muros de contención, el paso siguiente es el de rellenar la zona para completar niveles, recordemos que tenemos una sección central de material existente y dos secciones laterales donde se realizó excavación, es en estas dos últimas zonas donde se realizarán los rellenos. Los primeros rellenos serán con tezontle acomodados con un “bandeo” de material para lograr que ocupe el material todos los espacios vacíos, el tezontle se coloca hasta llegar al nivel del terreno natural que se dejó en la parte central de la rampa.

A partir del nivel del terreno natural que existía y al cual llego el tezontle, comenzarán los rellenos con material limo-arenoso (tepetate) compactado en capas no mayores de 20cm al 90%, hasta llegar a la primera cama de tensores. Se arman y cuelan los tensores y se continúa con los rellenos nuevamente hasta llegar a la segunda cama de tensores, los cuales nuevamente se cuelan para así finalmente realizar los rellenos y compactaciones restantes hasta el nivel de proyecto.



Rellenos y Tensores para liga de muros



Relleno con material de banco

TENSORES

Estas estructuras tendrán la función especial de ligar los dos muros laterales de la rampa, como anteriormente recordamos al momento de armar estructuralmente los muros de contención se dejaron preparaciones para poder armar estos tensores, sus dimensiones son de 0.13 x 0.18m armados con varillas del # 4 en el sentido longitudinal y estribos del # 3@ 15cm.

Cuando se iniciaron los rellenos de material se llegó al nivel donde se encuentra la primera cama de tensores, esta nos sirve como cimbra en la parte inferior, se coloca el armado de los tensores ligándolo perfectamente a las varillas que quedaron ancladas en los muros de contención, posteriormente se coloca la cimbra en los costados y se cuelean con concreto premezclado de resistencia $f'c = 250\text{kg/cm}^2$.

Estando colados completamente los tensores, el paso siguiente es completar los rellenos con tepetate y las compactaciones hasta llegar al nivel indicado de proyecto.



Cimbra para Tensores



Acero de refuerzo de Tensores

LOSA DE APROXIMACIÓN

Se le denomina losa de aproximación a la superficie de rodamiento que está sobre la rampa de acceso o descenso, y tiene la finalidad de crear una “articulación flexible” de la superficie de rodamiento entre el puente propiamente y la rampa.

Esta es una parte de la estructura de la rampa, la cual tiene la característica principal de tener el mismo armado estructural que tiene la superficie de rodamiento que se encuentra sobre el puente, inicialmente la losa de aproximación que requería el proyecto era de una longitud de 5.0m, pero de acuerdo a la experiencia de la supervisión se prolongó esta losa hasta los 10.0m de longitud, justamente en este punto se genera una junta de construcción.

El armado estructural de la losa de aproximación es con una parilla doble armada con varillas del # 5 @ 20cm en ambas direcciones, además de colocar bastones del # 6 @ 20cm en los dos extremos de la losa, el peralte de la losa de aproximación es de 27cm con concreto premezclado de resistencia $f'c = 300\text{kg/cm}^2$.

Como la longitud total de la rampa es de 86.5m aproximadamente y solo 10.0m, de esta se considera como losa de aproximación, la parte restante es nombrada losa de rampa de acceso o descenso.

LOSA DE RAMPA DE ASCENSO

La característica principal de esta losa es que no cuenta con armado estructural como la anterior, esto debido a que se cuenta en su base con material perfectamente compactado y confinado y con estas características el diseñador puede proponer como superficie de rodamiento en esta sección una losa sin armado estructural.

Esta losa tiene solamente canastillas @ 4.0m en toda su longitud, estas canastillas sirven para formar de alguna manera una junta constructiva en donde posteriormente se realizará un corte en la superficie para forzar la falla en estos puntos; el concreto que se utiliza para este caso es Concreto MR45 (Módulo de Ruptura a 45 días) y el espesor de la losa también es de 27cm. Estando colada la losa se comienza a dar el acabado de la misma que consiste en realizar un rallado de la superficie para permitir la correcta tracción de los vehículos, como último paso en la construcción de esta losa se realizan cortes con equipo especial para formar secciones de 4.0 x 3.0m.

III.5 SUPERESTRUCTURA.

La superestructura se compone de la siguiente forma:

- TRABES DE ACERO
- SUPERFICIE DE RODAMIENTO
- INSTALACIONES

A continuación se describirá el proceso constructivo de los puntos anteriormente mencionados, enfocándonos en los dos primeros, no así en el tercer punto del cual solo mencionaremos los tipos de instalaciones, su utilidad y funcionalidad.

TRABES DE ACERO

La estructura principal de soporte se compone por traveses de acero fabricadas en cajón, la disposición de estas traveses es de la siguiente manera: en cada uno de los ejes y a todo lo largo se colocarán tres traveses paralelas separadas entre ejes cuatro metros, el eje A constará de 42 traveses mientras que en el eje B serán 39, estas traveses se denominan en dos tipos, TCA y TC.

Las TCA son Traveses Centrales de Apoyo, las TC son Traveses Centrales, las TCA son con las cuales se inicia la colocación y deben llevar una logística de instalación, las TC por su parte son con las cuales cerramos la conexión del puente, las TCA están apoyadas en los cabezales y en otras traveses contiguas, las TC solo se apoyan entre dos TCA.

Cada traveses se fabrica en sección cajón y para lograr esto se componen de dos patines de 120cm de ancho y las almas son de peralte variable de 120 a 200cm.

Además las traveses se deben rigidizar por medio de diafragmas que forman una diagonal en "cruz", soldadas a soleras que están unidas a las traveses en sus caras laterales y este conjunto forma un apoyo adicional a la resistencia individual de cada traveses, estos diafragmas se colocarán a cada 8 metros. A las traveses también se les colocarán atiesadores en todo su peralte a cada 160cm a lo largo de estas y en donde el peralte es mayor se colocarán a cada 200cm.

FABRICACIÓN DE TRABES TCA y TC

Para esta fabricación es indispensable contar con:

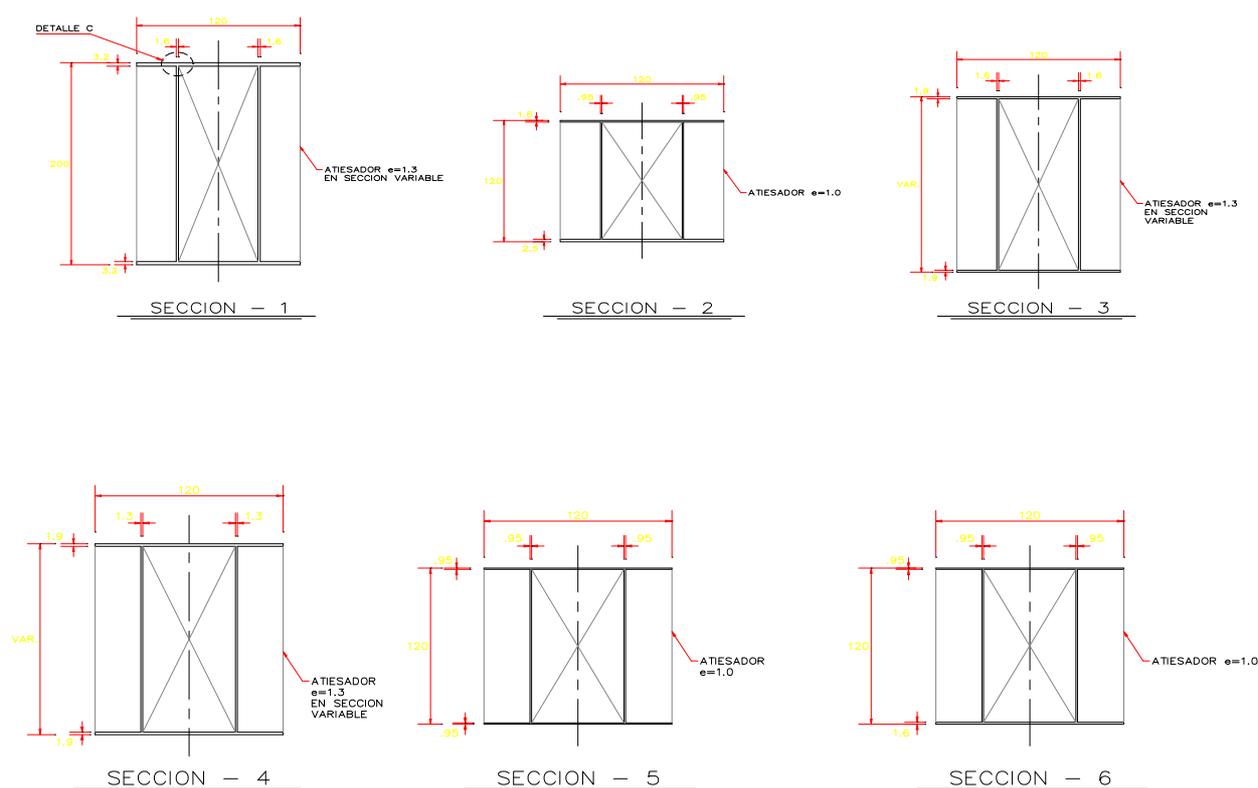
- PLANOS ESTRUCTURALES
- SUPERVISORES DE FABRICACIÓN
- CONTROL DE CALIDAD

Los planos de proyecto estructural son primordiales y deben estar debidamente autorizados por cada una de las personas responsables del proyecto, en estos planos se describen las secciones, medidas, tolerancias, tipos de materiales, resistencias, ubicación de cada una de las traveses dentro del plano general.

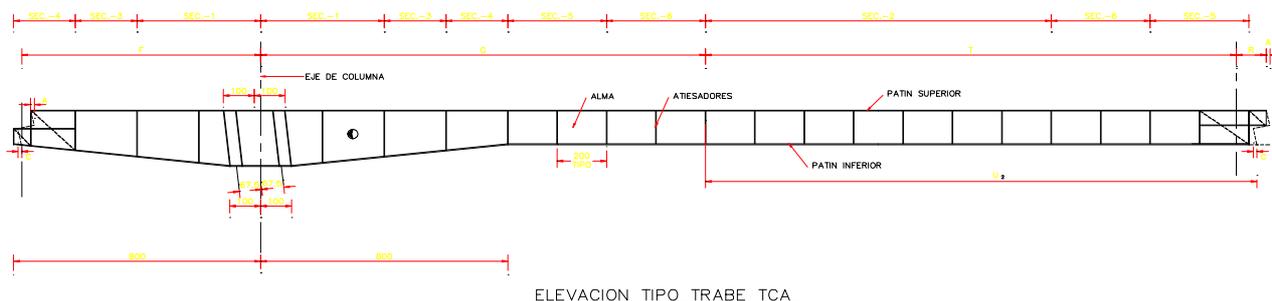
Como primer lugar apoyándose en los planos estructurales, se fabrica una plantilla o “molde” de las piezas que deberán cortarse, esto con la finalidad de que se cumpla con las medidas y no se tenga variación de las mismas.

Cada una de las vigas consta esencialmente de: patín superior e inferior, alma, una sección regular de 1.20m de altura y su longitud varía desde los 12.0m hasta los 25.0m, consta de otra sección irregular de altura variable de y de largo 16.0m, en promedio la longitud total de las vigas varia en total desde los 28.0m hasta los 41.0m, dependiendo de la ubicación donde se encuentre el elemento en cuestión.

Para la correcta fabricación de las traveses se debe seguir los planos que indican cómo se dividen las traveses conforme al resultado del estudio estructural realizado. El número total de secciones en las cuales se divide la traveses son 6, dependiendo de qué sección se trate el calibre que se ocupará para los patines es diferente; en la siguiente figura se muestra lo mencionado.

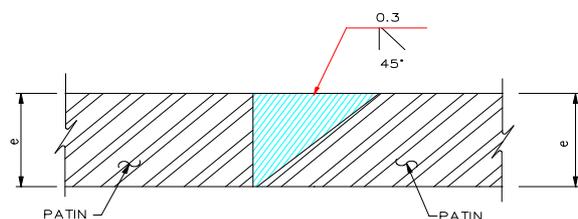


Diferentes secciones de la viga.



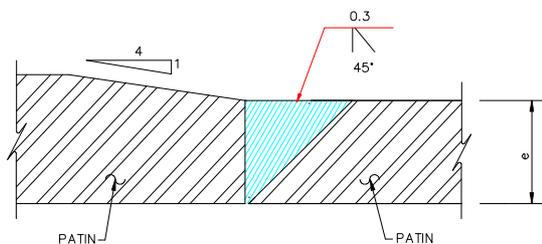
Primeramente se armará los patines de la viga, siguiendo las indicaciones de cada una de las secciones de la trabe, se cortan las placas que servirán como patín, tanto superior como inferior, estas placas se unen entre sí mediante soldadura de la serie E-70, como a lo largo de toda la viga el calibre de la placa es diferente se debe realizar la unión con las siguientes especificaciones:

En placas con espesores iguales la unión será con soldadura de bisel en 45° como se muestra en la figura.



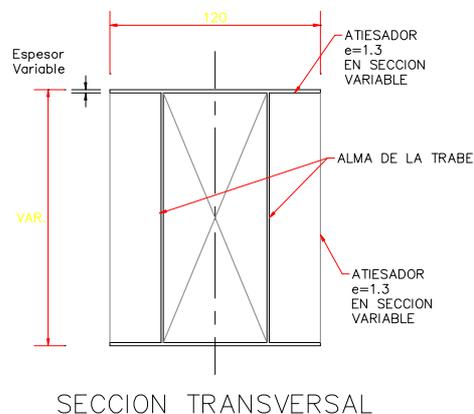
SOLDADURA EN PATINES DEL MISMO ESPESOR

En placas con diferentes espesores la unión deberá realizarse elaborando un “descalibre” de alguna de las placas a unir; esto se logra desvaneciendo la orilla de la placa con una pendiente de 4:1 y aplicando soldadura de bisel como en el punto anterior, lo anterior se muestra en la siguiente figura:



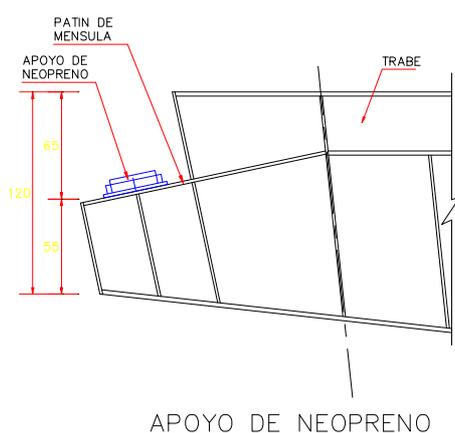
SOLDADURA EN PATINES DE DIFERENTE ESPESOR

Teniendo listos los patines el paso siguiente es habilitar y colocar el alma, es importante recordar que la viga se fabricará en cajón, lo cual implica que en una vista transversal de la sección tenemos dos placas verticales que formarán el alma de la trabe como se muestra en la figura.



La unión entre el alma y el patín superior e inferior se realiza con soldadura de filete de la serie E-70.

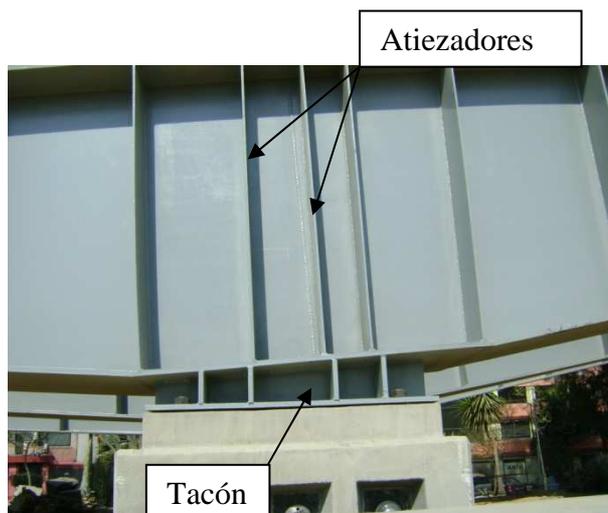
Un punto importante también en la fabricación de dichas traves son las ménsulas en cada uno de sus extremos, uno de ellos tienen la función de recibir otra trabe y el otro extremo servirá como apoyo para otra trabe, en la parte del patín que recibirá otra trabe sobre ella es donde se colocará un accesorio especial para el contacto entre traves, este accesorio es un apoyo de neopreno y su finalidad principal es la de proporcionar una superficie flexible entre traves y así evitar la fricción y contacto directo entre metales, este apoyo se colocará en todas las ménsulas que recibirán otra trabe; así como en los muros estribos de ambos ejes.





Otra sección importante de la trabe es un accesorio denominado “tacón” este accesorio nos va a servir para lograr unir el cabezal con las traves, mediante pernos especiales.

Para que las traves estén totalmente cumpliendo con las especificaciones generadas por el estudio estructural del puente, se les colocarán atiezadores en todo lo largo en ambos costados tanto en el sentido horizontal o en el sentido vertical, el espesor, altura y cantidad de atiezadores depende de la sección que se trate.



Traves, atiezadores y tacón

SUPERFICIE DE RODAMIENTO

La parte superior del puente es la superficie de rodamiento, esta superficie será de concreto premezclado bombeable de 27cm de espesor, armado con varillas del # 5 @ 15cm en ambas direcciones y en dos camas, reforzada con bastones del #6 @ 20cm en ambos costados del eje, el concreto tiene una resistencia de $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$.

Para lograr la unión entre la losa y la estructura se colocaron accesorios en todo lo largo de las trabes, estos accesorios son secciones de canal de 3" soldados en dos hileras a las trabes @ 30cm de distancia, estos accesorios tienen la función de ligar la estructura con la losa para que trabaje de manera monolítica.

A todo lo largo de esta superficie de rodamiento se tendrán que dejar juntas de calzada que no son más que espacios entre losas, estos espacios tienen la finalidad de permitir los desplazamientos naturales del puente; a estos espacios se les denomina juntas constructivas.

CIMBRA PARA LOSA

En este caso en particular la cimbra utilizada fue cimbra metálica con superficie de contacto de madera, la madera fue de triplay de pino de 19mm. Un punto importante para considerar en el proceso constructivo de esta losa fue el de tomar la decisión acerca de la manera correcta de apuntalar la cimbra; esto debido a que en las intersecciones del puente en construcción y la Av. Ermita, así como la Av. Las torres seguían operando; además de que debajo del puente obviamente se sigue con los procesos constructivos.

Por este motivo se decidió cimbrar la losa colocando el soporte de la misma apoyándose en las trabes del puente, y el resultado del proceso es el que se describe a continuación.

Se colocaron perfiles estructurales llamadas vigas tipo I de 4" x 2" entre dos trabes, estos perfiles quedaron apoyados sobre los patines inferiores de las trabes de forma perpendicular a ellas y separados uno de otro @ 1.0m, teniendo esta base se colocan otros perfiles de iguales características pero estos se colocaran por debajo de los patines superiores de las trabes.

Para lograr esto se colocaron puntales de acero apoyados en las vigas inferiores estos puntales cuentan con una placa tanto en su parte inferior como en la superior además estas placas están soldadas a un tornillo sinfín con el cual se proporciona la atura deseada en cada uno de los soportes.

A su vez debe asegurarse que esta estructura no colapse, logramos mantenerla en su sitio ligando de alguna manera los apoyos hacia las trabes principales, esta liga la realizamos con estructuras especiales para interconectar tuberías o también se puede realizar con secciones de varillas o sobrante de perfiles soldándolas entre sí y contra las trabes. Este proceso se realiza entre dos trabes (que son los dos claros que están entre las tres trabes del puente).

Para la cimbra en los costados del puente solo se tiene el apoyo de una trabe pues la cimbra y la superficie de rodamiento quedará en voladizo en ambos costados del puente, en este caso el procedimiento de cimbrado fue distinto al anterior.

Se colocaron soportes metálicos @60cm apoyados sobre el patín inferior de la trabe y fijos con pijas hacia el alma de la misma como se muestra en las siguientes fotografías.



Cimbra en voladizo



Cimbra entre trabes

Estando completa la estructura se coloca la cimbra de contacto que es de madera, a esta cimbra se le debe colocar desmoldante perfectamente en toda la superficie para lograr que cuando se descimbre no se tengan problemas.

Estando lista la cimbra se colocará el acero de refuerzo en dos camas como se menciona al principio de este apartado, es importante verificar en todo momento la separación entre varillas, así como la altura entre parrillas de acuerdo a proyecto; además de este acero de refuerzo se colocaran pasa juntas en todas las juntas de calzada, estos son de redondo del número 6 @ 20cm.

También durante este proceso se colocará el acero de refuerzo para la guarnición que es de 6 varillas del número 4 colocadas longitudinalmente y para el acero transversa se colocarán estribos del número 4 @ 20cm, el proyecto marca que dentro de la sección de la guarnición se colocarán sonotubo de 8" y 6" esto con la finalidad de aligerar la guarnición, también se colocara la tubería principal para las instalaciones eléctricas.

En los casos donde el proyecto marque un apoyo móvil se deba colocar una banda de material flexible (celotex o similar) si es en el muro estribo y banda de neopreno en todo lo ancho de la trabe cuando se trate de trabes.

Ahora está todo listo para poder vaciar el concreto premezclado, se comenzará con el vaciado y se podrá especial atención en los niveles de proyecto en cuanto al espesor de la losa principalmente pero también en lo relativo a las pendientes de proyecto que son del 2%, las cuales definen el bombeo para poder desalojar el agua de lluvia de manera eficiente, esto es muy importante pues si no se respetan estos niveles de espesor, repercute primero en costo

extra y lo más importante repercute en lo estructural debido a que el diseño es para un espesor determinado de losa (por ende un peso calculado) y si se rebaza ese espesor se modifica la carga muerta de la losa, provocando problemas al puente en general.

Terminada la labor de colado el concreto deberá inmediatamente aplicarse un aditivo para el curado del concreto, aplicándose sobre la superficie con llana o “avión”; después de lo anterior debe darse el acabado de la superficie, este no será liso, por seguridad será pavimento rayado transversalmente al eje principal del puente, esto lo logramos con herramientas especiales para este fin. Estando rallado el pavimento se realizarán cortes al mismo @ 3.0m, esto con la finalidad de provocar “fallas” controladas y así evitar que conforme pase el tiempo el concreto “trueque” de manera irregular.

Tenemos ahora lista la superficie principal de rodamiento pero falta colar la guarnición, antes de colar este elemento se debe revisar que se hayan dejado colocadas dentro del armado estructural placas de acero de 19 x 30cm 1.9e ancladas con 4 varillas y 3 estribos, las cuales nos servirán posteriormente para soldar el parapeto metálico de protección y colocar también las luminarias y señalamientos finales.

INSTALACIONES FINALES

Como instalaciones finales entenderemos:

- PARAPETO METÁLICO
- REGISTROS PLUVIALES
- LUMINARIAS
- SEÑALAMIENTOS

PARAPETO METÁLICO

El parapeto está constituido por perfiles de 5 ½” x 5 ½” y 5” x 2 ½”, se habilita primeramente todo el perfil en el área asignada para la fabricación dentro de la obra, se comienza cortando conforme lo indican los planos de proyecto habilitando los postes verticales con la inclinación indicada en planos, teniendo habilitadas estas piezas, se colocan sobre las placas que se dejaron anteriormente ahogadas en la guarnición, enseguida se marca en estos postes las secciones donde se empotraran los perfiles horizontales para posteriormente cortar la sección indicada y colocar así el perfil horizontal, la unión de este parapeto con las placas de la guarnición será con soldadura de filete en todo el perímetro, como se muestra en las siguientes fotografías.



Habilitado del parapeto



corte para colocar perfil horizontal



Perfiles colocados



Parapeto terminado