

CAPÍTULO 3. RECIMENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA

3.1 Descripción de la recimentación.

La cimentación es la base de las estructuras y tiene por objetivo proporcionar el soporte mediante el cual las cargas de la estructura se transmiten al terreno, produciendo en este un sistema de esfuerzos que puedan ser resistidos con seguridad sin provocar asentamientos¹⁴.

Para cumplir con este objetivo, en el proyecto de rehabilitación del puente la Isla se determinó la construcción de una nueva cimentación, ya que, por falta de información no se le puede asignar un porcentaje de colaboración a la cimentación actual, y además, la verificación de las características actuales tendría un costo elevado. Como resultado, la recimentación del puente debe garantizar la transferencia del 100% de las cargas de la superestructura a la nueva cimentación.

La etapa de Recimentación de la estructura, como se ha mencionado anteriormente, es a base de pilotes de concreto reforzado que transmiten las cargas de la estructura a estratos más resistentes que los superficiales. Cada pilote fue prefabricado en la superficie y posteriormente hincado de acuerdo a los planos estructurales en grupos de 12 a los costados de cada apoyo. Además, para ligar los pilotes se construyó una zapata que además de servir como unión entre ellos, se utiliza como apoyo para la llegada de trabes de transferencia. Estas trabes son elaboradas con concreto presforzado y se utilizan como

¹⁴Crespo (2000). *Mecánica de suelos y Cimentaciones*. Editorial Limusa. México, DF.

mecanismo de unión entre la estructura y la nueva cimentación, garantizando la transmisión del 100% de las cargas y conformando la nueva cimentación profunda de la estructura.

En este capítulo, se presenta el análisis y la descripción del procedimiento constructivo que se siguió para la elaboración en obra de la Recimentación del puente la Isla, incluyendo las actividades siguientes:

- Construcción de pilotes de concreto reforzado.
- Hincado de pilotes de concreto reforzado.
- Construcción *in situ* de zapatas y cabezales.
- Construcción *in situ* de traveses de transferencia de concreto presforzado.

3.2 Construcción de pilotes de concreto reforzado.

En este apartado se describe el proceso constructivo que se siguió para la construcción de los pilotes de concreto reforzado utilizados para la recimentación de la estructura, actividad principal en la Rehabilitación del puente La Isla.

La construcción de pilotes prefabricados comenzó el 15 de Mayo de 2006 en una bodega ubicada a 20 Km. al oriente del puente la Isla, propiedad de la Constructora Puentes y Construcciones S.A. (PYCSA), empresa encargada de la ejecución de las actividades para este proyecto. De esta forma, se iniciaron oficialmente los trabajos para la Rehabilitación del puente la Isla.

La actividad implicó la construcción de un total 96 pilotes, 72 pilotes con una longitud de 29 m. y 24 pilotes de 33.6 m. de longitud, todos con una sección transversal cuadrada de 0.50 m. por lado. Además, por sus dimensiones y para un mejor manejo, cada pilote estaba constituido por tramos de la mitad de su longitud total, es decir, tramos de 14.5 m. y de 16.8 m. respectivamente. Estos tramos se denominaban según su posición en tramo cabeza, que conformaba la parte superior del pilote; y tramo punta, correspondiendo a la parte inferior del pilote. Estos tramos contaban en sus extremos con placas de acero de 1/2" de espesor para unir, en su momento, dichos tramos. Por otra parte, el tramo punta contenía en su cima una viga I de 14" x 79 kg/m. que se utilizó como mecanismo de ayuda para lograr los desplantes especificados en el proyecto.

Los pilotes fueron prefabricados con concreto reforzado, lo cual resulta al combinar el concreto hidráulico con acero de refuerzo. En consecuencia, esta actividad consta de tres tareas principales: habilitado del acero de refuerzo, colocación de acero de refuerzo y el colado de los pilotes. Para ello, el sitio donde se llevaron a cabo estos trabajos fue acondicionado en tres áreas: el área de armado de pilotes, el área de colado y el patio de maniobras.

La elaboración de los tramos de pilotes comienza con el habilitado del acero de refuerzo longitudinal y transversal, el cual tiene un límite de fluencia $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$. Para llevar a cabo esta actividad, primero se examina que el acero esté exento de óxido, aceite, grasa, pintura u otro tipo de sustancias que puedan impedir una buena adherencia de este material con el concreto, y además, se verifica que el acero no tenga quiebres o deformaciones que puedan poner en tela de juicio el buen funcionamiento de este material.

El acero de refuerzo longitudinal está conformado, para cada pilote, por 12 varillas de No.6¹⁵, las cuales constituyen el refuerzo principal. Por otra parte, el acero de refuerzo transversal es a base de estribos hechos con varillas del No.3, los cuales impiden el pandeo del refuerzo longitudinal y absorben los esfuerzos por cortante.

El habilitado del acero de refuerzo se ejecuta con una cuadrilla de trabajadores, formada por 2 herreros y 6 ayudantes, tomando en cuenta los requerimientos específicos del proyecto, respetando los diámetros, dobleces, ganchos, empalmes y traslapes de este material (Ver Figura 3.1).



Figura 3.1 Habilidadado de acero de refuerzo.

Fuente: Elaboración propia.

Al concluir el habilitado del acero de refuerzo, se procede a su colocación en la posición correcta de acuerdo a las especificaciones del proyecto. La ejecución de esta tarea

¹⁵ El número de designación de las varillas es de acuerdo a los diferentes diámetros, los cuales están dados en 1/8" (Ver tabla 3.2 Diámetros, pesos y áreas de varillas).

inicia al situar las varillas longitudinales extremos en soportes, para así poder marcar en ellas la separación a la que se colocan los estribos. Posteriormente, se habilitan los estribos perimetrales que rodean las varillas longitudinales y se sujetan a ellas mediante alambres (Ver Figura 3.2).



Figura 3.2 Colocación de estribos.

Fuente: Elaboración propia.

En seguida, son colocadas de igual manera las varillas longitudinales restantes y los estribos interiores, cuidando que el espaciamiento de las varillas paralelas no sea menor que el diámetro nominal de la varilla y tampoco menor a 1.5 veces el tamaño del agregado máximo. Además, el armado de cada elemento no debe de diferir del diseño en ± 1.0 cm. De este modo, se termina la colocación de acero de refuerzo para los tramos de cada pilote (Ver Figura 3.3).



Figura 3.3 Colocación de acero de refuerzo.

Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar, que el armado de estos pilotes se realiza con dos cuadrillas de trabajadores, conformadas por 4 herreros y 12 ayudantes, repartidos equitativamente. Una cuadrilla elabora el tramo cabeza y la restante arma el tramo punta.

Posteriormente y como parte de esta actividad, a los tramos cabeza ya armados se le adhieren las placas de acero en los extremos. Estas placas tienen un espesor de 1/2" y poseen estribos soldados a ellas hechos de varillas del No.6, para poder unirlos al armado principal de los pilotes. Además, a los tramos punta en uno de sus extremos se les coloca una placa con las mismas características, y en el extremo sobrante se les suministra una punta de acero a base de viga I de 14" x 79 kg/m. (Ver Figura 3.4).



Figura 3.4 Colocación de placas de acero y punta de viga I.

Fuente: Elaboración propia.

El habilitado y la colocación del acero de refuerzo, así como la colocación de las placas y la punta de acero, se realiza de acuerdo a las especificaciones marcadas en el proyecto, las cuales se encuentran para su estudio en el apéndice B, en el plano No.4 denominado Plano estructural Pilas y zapatas (plano 1 de 3).

Por otro lado, al concluir el armado de los tramos y la colocación de las placas de acero y de la punta, los tramos de pilotes son almacenados para posteriormente ser transportados por grúas hasta el área de colado, donde se suministra el concreto hidráulico.

Los trabajos previos al colado de los tramos de pilote consisten en la construcción de una plataforma en el área de colado, la cual sirve de apoyo para la ejecución de esta actividad. Esta plantilla es de un espesor de 8 cm., ancho variable y longitudes de acuerdo al claro de los pilotes por construir, además, se fabrica con concreto hidráulico con una resistencia a la compresión $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$.

Al contar con una superficie para el colado de los pilotes, y antes de realizar esta actividad, se monta parte de la cimbra metálica que sirve como molde para la edificación del pilote completo. Esta cimbra esta diseñada para soportar las presiones del concreto durante el colado y el vibrado de éste, además, debe ser lo suficientemente rígida para mantener la geometría de los elementos, de acuerdo a los planos estructurales, sin sufrir alteraciones. Además, antes del vaciado del concreto se aplica un recubrimiento de diesel y se coloca una hoja de plástico a la superficie de la cimbra para facilitar la posterior remoción de la misma (Ver Figura 3.5).



Figura 3.5 Colocación de cimbra para el colado de pilotes.

Fuente: Elaboración propia.

Después, los tramos de pilotes son acarreados hasta el área de colado y situados en su cimbra para llevar a cabo el suministro de concreto hidráulico. Para el acarreo de los tramos se utiliza una grúa Link Belt con capacidad de 50 Ton. a la que se le adapta un balancín, el cual sujeta a los tramos en puntos de izamiento constituidos por orejas de varilla, previamente fijados al acero de refuerzo (Ver Figura 3.6).



Figura 3.6 Izamiento de tramos.

Fuente: Elaboración propia.

Este procedimiento se sigue primero para trasladar el tramo punta hasta la cimbra, y una vez ubicado en el lugar correcto, se procede de la misma forma, al traslado del tramo cabeza ubicando cada tramo de acuerdo a las especificaciones del proyecto. Cabe señalar, que para garantizar el recubrimiento de 5 cm. del acero de refuerzo y para avalar el buen posicionamiento del armado de los tramos, el proyecto marca la colocación de silletas de varillas entre la cimbra y el acero de refuerzo, lo cual se cumplió cabalmente.

Habiendo ejecutado la instalación de los tramos en la cimbra, estos son unidos provisionalmente, para así, conformar el pilote en su totalidad y poder ejecutar el colado absoluto del elemento (Ver Figura 3.7). La unión provisional de entre placas se realiza formando unas pequeñas soldaduras con electrodo E- 7018.

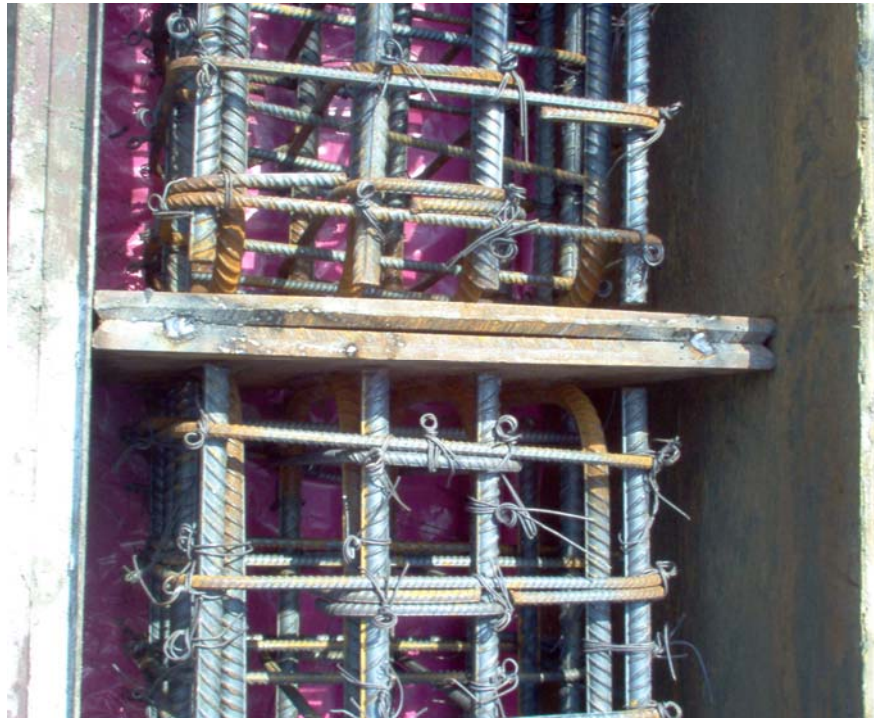


Figura 3.7 Detalle de unión provisional entre placas.

Fuente: Elaboración propia.

Al concluir estas tareas, se procede a la colocación de la segunda parte de la cimbra longitudinal, la elaboración de la cimbra para la punta del pilote y el apuntalamiento de estos elementos, para garantizar su buen desempeño. También, se pone el recubrimiento de diesel en las partes faltantes, dejando preparados los pilotes para el suministro del concreto hidráulico (Ver Figura 3.8).

Es importante señalar, que este proyecto sugiere que el ciclo a seguir para la fabricación de los pilotes sea de tal manera que los pilotes colados en una fase primaria pudieran ser utilizados como cimbra en una siguiente etapa. Por tal motivo, se tiene especial cuidado en la colocación de los primeros pilotes que sirven de base para la siguiente etapa de construcción de pilotes, ya que, un error en la separación entre ellos modificaría las dimensiones marcadas en el proyecto.



Figura 3.8 Cimbrado de pilotes de concreto reforzado.

Fuente: Elaboración propia.

Por ultimo, para terminar la construcción de pilotes se realizó el colado de estos elementos mediante el suministro de concreto hidráulico con una resistencia a la compresión de 250 kg/cm^2 . Para elaborar esta mezcla, se usa cemento Pórtland puzolánico tipo II clasificación CPO 30 RS con resistencia a los sulfatos, además, como solicitud del contratista se le suministra aditivos acelerantes para obtener la resistencia a la compresión en menor tiempo. Por tal motivo, la elaboración del concreto fue subcontratada por el contratista, a la planta de Cemex, Villahermosa. A pesar del costo que esto implica garantiza la dosificación señalada en el proyecto y certifica el alcance de la resistencia de los elementos.

Antes del colado del concreto hidráulico se verifica que la superficie esté debidamente preparada, exenta de sustancias extrañas, polvo o grasa. Además, se comprueba que la separación, entre el acero de refuerzo y la cimbra, sea la descrita en el proyecto. También se comprueba que las dimensiones de fabricación no varíen del proyectado por ± 5 cm. y que la cimbra esté correctamente apuntalada para evitar desplazamientos (Ver Figura 3.9).



Figura 3.9 Verificación de cimbra.

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, para la ejecución del colado de los pilotes el concreto es transportado de la planta al sitio de colado mediante ollas revolvedoras con una capacidad de 7.5 m^3 . En consecuencia, para cada pilote de 29 m. de longitud se necesita una olla con esta capacidad, ya que el volumen de concreto necesario para estos elementos es de 7.25 m^3 .

A la llegada de la olla revolvedora al sitio de colado, se toman muestras del concreto para tres cilindros de pruebas, y así, poder verificar la calidad del concreto y el alcance de la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días (Ver Figura 3.10). Para llevar un control de los cilindros, estos son marcados con el número de cilindro, la fecha de elaboración del concreto y el número de pilote al que corresponde; posteriormente son almacenados para su ensayo. La ejecución de las pruebas de compresión simple de los cilindros de concreto fueron subcontratadas a la compañía EICCSA, ubicada en la ciudad de Cárdenas, Tabasco.



Figura 3.10 Cilindros de concreto.

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, el proyecto indica que el concreto a utilizar para el colado de los pilotes debe contar con un revenimiento de 10 a 14 cm. Para verificar esta especificación se toma una muestra del concreto y se realiza la prueba de revenimiento, que debe cumplir con lo especificado si no se rechaza (Ver figura 3.11). Este procedimiento se realiza para cada olla de concreto utilizada en el suministro del mismo. Con la realización de estas actividades se procede al colado de los elementos.



Figura 3.11 Prueba de revenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

El colado de los pilotes se realiza de manera horizontal, monolítica y continuamente. Para ello, el concreto es suministrado por medio de un bote de fondo móvil, el cual tiene forma de embudo y una capacidad de 1.5 m³. Este bote es llenado directamente a pie del camión revolvedor, y después, transportado hasta el sitio de colado con ayuda de una grúa (Ver Figura 3.12).



Figura 3.12 Suministro de concreto en bote.

Fuente: Elaboración propia.

La colocación del concreto se ejecuta bajando el bote gradual y cuidadosamente hasta que el embudo penetra en la mezcla previamente depositada; a continuación se abre el fondo y se levanta poco a poco el bote, para no agitar el agua y la mezcla. El posicionamiento del concreto consiste en capas de concreto de 5 a 10 cm. de espesor sobre el material base antes compactado (Ver Figura 3.13).



Figura 3.13 Colocación de concreto.

Fuente: Elaboración propia

El acomodo del concreto es realizado mediante el vibrado de éste, con el objetivo de obtener un concreto compactado con textura uniforme y una superficie tersa en las caras visibles del elemento. Esta actividad se ejecuta con un vibrador de tubo de inmersión, unido a una extendidora, y tiene una frecuencia de vibrado de hasta 5,000 rpm. Para esta tarea se evita un vibrado excesivo, y así, impedir cualquier segregación o clasificación en la mezcla. Además, para no afectar las partes previamente coladas o modificar la posición del acero de refuerzo se evita el contacto directo del vibrador con el acero de refuerzo (Ver Figura 3.14).



Figura 3.14 Vibrado de concreto.

Fuente: Elaboración propia.

En este caso, al tratarse de un colado masivo, al momento de depositar concreto fresco sobre concreto previamente colocado se penetra la cabeza del vibrador hasta establecer contacto con el concreto ya vibrado, para garantizar el buen acomodo de la mezcla. Al realizar este procedimiento se debe cuidar que los vibradores sean operados en forma vertical, ya que, un vibrado inclinado afecta el acomodo de las partículas.

Al terminar el proceso de colado, a la cara del pilote se le da un acabado superficial liso. Esto con el objetivo de que el concreto quede uniforme y libre de ondulaciones y depresiones, obteniendo una superficie lisa, continua y exenta de salientes u oquedades (Ver Figura 3.15).



Figura 3.15 Acabado superficial del pilote.

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, para evitar la pérdida de agua del concreto y que éste pueda alcanzar su resistencia y durabilidad potencial, cada pilote es protegido mediante el curado, el cual se realiza aplicando una capa de impermeabilizante a todo el elemento (Ver Figura 3.16).

Al finalizar estas labores, los pilotes son marcados con el número correspondiente a su elaboración y almacenados en estibas (Ver Figura 3.17). Para un mejor control en la fabricación de pilotes, se elaboran reportes que contengan las características de cada elemento, tales como: número de pilote, fecha de construcción, longitud, ubicación y la resistencia a la compresión alcanzada por el concreto hidráulico a los 7, 14 y 28 días después del colado.



Figura 3.16 Curado del pilote.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.17 Almacenamiento de pilotes.

Fuente: Elaboración propia.

Al alcanzar el 80% de la resistencia a la compresión del concreto, los pilotes son transportados con sumo cuidado hasta la obra, para así, proceder al hincado de los mismos. De esta forma, se concluyen los trabajos para la construcción de pilotes, siguiendo el mismo procedimiento para la elaboración de cada uno de ellos.

Diariamente, son construidos hasta cuatro pilotes de concreto reforzado, finalizando la prefabricación de un total 96 pilotes (72 pilotes de 29 m. de longitud y 24 pilotes con una longitud de 33.60 m.) el día 22 de Junio del 2006, tres días antes de la fecha programada para su culminación, brindando al contratista mayor holgura en las actividades consiguientes.

La mano de obra utilizada para la construcción de los pilotes incluye la colaboración de 41 ayudantes, 6 carpinteros, 6 herreros, 3 cabos, 2 operadores de grúas y 3 soldadores, todos bajo el mando de un residente de obra. La inspección de las actividades estaba a cargo de dos supervisores, el Ing. Vicente Ponce Chirinos por parte de la constructora y el Ing. Marco A. Rodríguez Allerdi por parte de Petróleos Mexicanos.

Cabe mencionar, que durante la construcción de los pilotes se llevó a cabo la designación del terreno donde se realizaron los trabajos para la consolidación de este proyecto. Este sitio cuenta con una superficie de 5000 m² y está ubicado a un costado del puente la Isla. Para su acondicionamiento, se ejecutan tareas como: limpieza del terreno, habilitado de accesos mediante terraplenes y construcción de oficinas de campo. Además, se realizan labores de señalización de la obra de acuerdo a lo estipulado por el reglamento de Petróleos Mexicanos (PEMEX). Asimismo, se realiza la transportación de materiales y equipos al sitio de trabajo.

De esta manera, se da inicio a los trabajos en obra del proyecto de rehabilitación del Puente la Isla, con el hincado de pilotes de concreto reforzado, actividad comprendida dentro de la Recimentación de la estructura.

3.3 Hincado de pilotes de concreto reforzado.

El hincado de pilotes es la operación mediante la cual estos elementos son introducidos al terreno, con el objetivo de alcanzar las elevaciones de desplante especificadas en el proyecto, y así, conformar la cimentación profunda de la estructura. Esta actividad requería el hincado de 12 pilotes aguas arriba y 12 pilotes aguas abajo en cada una de las cuatro pilas intermedias, dando un total de 96 pilotes por hincar.

En este caso, por tratarse del hincado de pilotes sobre el río carrizal, es necesario el contar con plataformas que puedan contener el equipo necesario, por lo cual son armados tres chalanes (Ver Figura 3.18). Uno de chalanes, está conformado por 5 pontones de 1.5 m. x 2.5 m. dando una superficie de 7.5 m. de ancho por 12.5 m. de largo, la cual alojaba el equipo necesario para la perforación. Otro chalán, alberga el equipo para el hincado de pilotes y está conformado por 7 pontones otorgando una superficie de 7.5 m. de ancho por 17.5 m. de longitud. El chalán restante, se utiliza para la colocación de andamios en las tareas de reforzamiento de travesaños con fibras de carbono.

Para el anclado de los chalanes se hincan a 50 m. aguas arriba del puente, tres pilotes tubulares con un diámetro de 0.60 m. que sirven de apoyo para el manejo de estas plataformas (Ver Figura 3.19).



Figura 3.18 Armado de Chalanes.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.19 Hincado de pilotes de apoyo.

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, al haber una alta probabilidad de que en el área del puente exista algún gaseoducto u oleoducto pertenecientes a Petróleos Mexicanos (PEMEX), es necesaria la verificación de ello, encontrando que la línea más cercana al puente se encuentra a 100 m. aguas arriba. Por tal motivo, la zona de trabajo es limitada a un área de 50 m. a la redonda del puente la Isla.

Por las condiciones del río y por el alto riesgo de una mayor socavación provocada por la velocidad y el volumen de agua que transita este afluente, el contratista recomienda y propone que se realicen las siguientes modificaciones al proyecto:

- En la pila No. 2 y 3, se aumente 1.20 m. a la longitud de los pilotes y se respete la elevación de desplante, especificada en el proyecto, de -24.09 m. y -19.59 m. respectivamente.
- En la pila No.4 y 5, se respete la longitud de los pilotes y se disminuya el nivel de desplante 1.20 m. resultando una elevación de -18.39 m.

Tras la evaluación de estas modificaciones por parte de Petróleos Mexicanos (PEMEX), esta propuesta es aceptada, lo cual implica la construcción de 48 tramos de pilotes de 1.20 m. de longitud para las pilas No.2 y 3. La ejecución de esta actividad se realiza siguiendo el procedimiento descrito en el apartado 3.2 Construcción de pilotes de concreto reforzado, con las mismas especificaciones marcadas en el plano No.4 Plano Estructural Pilotes y Zapatas (Plano 1 de 3), cambiando el espaciamiento de los estribos a cada 0.10 m. durante toda la longitud del tramo. Esta medida aumenta el costo de la obra, pero a su vez, garantiza el buen funcionamiento de esta estructura a largo plazo.

De esta forma, el 29 de Junio del 2006, se coloca el chalán que aloja el equipo de perforación en la pila No.5 aguas arriba, en la posición No.1 (Ver Figura 3.20), para realizar la perforación previa al hincado de pilote No.1. Esta operación se realiza tras la localización de los bancos de nivel con ayuda de aparatos topográficos. Además, se marcan cotas de elevación en las pilas del puente para tener un mejor control en el hincado de pilotes.

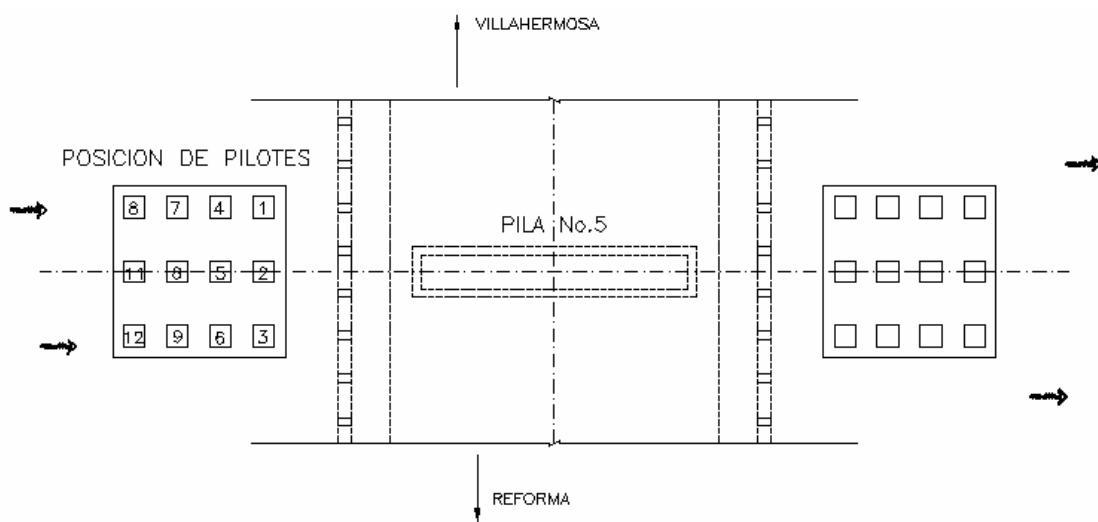


Figura 3.20 Hincado de pilotes de apoyo.

Fuente: Elaboración propia.

Después de la ubicación del chalán y con el propósito de contar con una guía para la perforación y el hincado, se introduce con ayuda de una grúa, una camisa metálica con un diámetro de 0.70 m y una longitud de 9.50 m. Esta camisa es hincada con un martillo fabricado en obra, hasta lograr una distancia de 1.5 m. aproximadamente arriba del nivel del agua, respetando la ubicación del pilote a hincar (Ver Figura 3.21).



Figura 3.21 Colocación de camisa metálica.

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se inicia con la perforación que tiene como objetivo facilitar el hincado para alcanzar los estratos resistentes y evitar movimientos excesivos en la masa de suelo adyacente. Esta operación se efectúa utilizando una perforadora Soilmec tipo RT3-S que tiene una barrena de 0.60 m. de diámetro. Este equipo es adaptado con anterioridad, a una grúa Link Belt tipo LS-108 con capacidad de 50 Ton. Para realizar esta actividad se coloca la barrena de la perforadora en lugar preciso, de acuerdo a la posición marcada por los planos, y se comenzaba con la excavación hasta alcanzar una profundidad de 24 m. aproximadamente (Ver Figura 3.22). La longitud de la perforación es medida colocando una cinta a la punta de la barrena, la cual es medida posteriormente para tomar lectura de la profundidad de la excavación.



Figura 3.22 Perforación previa al hincado.

Fuente: Elaboración propia.

Esta operación se efectúa respetando el grado de inclinación especificado¹⁶, de $1^{\circ} 39' 37''$ para los seis pilotes centrales del grupo y para los pilotes restantes de $4^{\circ} 58' 45''$. Para lograr la inclinación marcada el mástil de la perforadora se desplaza, corrigiendo la posición de la grúa hasta lograr al ángulo establecido en el proyecto.

El 30 de junio de 2006, un día después de la perforación, se posiciona el chalán que aloja el equipo de hincado y se introduce con ayuda de una grúa la primera sección del pilote, el tramo punta (Ver Figura 3.23). Antes de introducir estos elementos se colocan marcas, a lo largo de todo el pilote, a cada metro y en los últimos dos metros las marcas son

¹⁶ Ver plano No.4 Plano estructural Pilotes y Zapatas (Plano 3 de 3).

colocadas a cada 0.10 m. Esto con el objetivo de determinar con mayor facilidad, cuantos golpes son necesarios para hincar el pilote a medida que va penetrando en el subsuelo.



Figura 3.23 Colocación de la 1ra sección de pilote.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez que la cabeza del tramo punta se encuentra al nivel de la camisa, la sección es sujeta a este mecanismo mediante estribos. Después, a cada lado de la cabeza del pilote se sueldan tres pequeñas placas biseladas de acero con corte a 45° , para que llegado el momento de colocar la segunda sección del pilote, el tramo cabeza, obtener una correcta alineación.

Al terminar la instalación de las placas, con ayuda de una grúa se levanta la segunda sección del pilote, el tramo cabeza, el cual es colocado sobre el tramo punta cuidando que la alineación especificada en el proyecto sea la correcta. Por tal motivo es necesario contar con aparatos topográficos, en este caso se utilizó una estación total, que verificó el cumplimiento de estas especificaciones (Ver Figura 3.24).



Figura 3.24 Colocación de la 2da sección de pilote.

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, las dos secciones que conforman cada pilote son unidas mediante la aplicación de una soldadura tipo cordón en todo el perímetro de las placas previamente fijadas a los extremos de cada tramo (Ver Figura 3.25). Esta actividad se lleva a cabo utilizando electrodos E-7018, mientras el tramo superior se sujeta con la grúa. Además, para la protección de la soldadura contra la corrosión, se aplica una capa de impermeabilizante alrededor de ella (Ver Figura 3.26).



Figura 3.25 Unión de los tramos de pilote.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.26 Detalle de soldadura y aplicación de impermeabilizante.

Fuente: Elaboración propia.

Durante la ejecución de los trabajos previos al hincado del primer pilote, al momento de querer quitar los estribos que sujetan la segunda sección del pilote (el tramo punta), surge un desprendimiento entre las placas y los estribos que sujetan a ésta con el

acero de refuerzo de la segunda sección. Lo cual origina una falla en el elemento por peso propio y queda expuesto el acero de refuerzo de este tramo. Por tal motivo, se suspende el hincado de este pilote, el cual es removido posteriormente.

Se considera que la falla del pilote es por un indebido manejo del pilote y un excesivo calentamiento de la estructura al momento de la soldadura. Por consiguiente, un día después de lo ocurrido, se intenta nuevamente el hincado de un nuevo pilote en la segunda posición realizando una exhaustiva supervisión en cada una de las actividades que conllevan al hincado de pilotes: colocación de camisa guía, perforación previa, colocación de la primera sección, maniobras para la ubicación del segundo tramo, unión de las dos secciones mediante soldadura a tope; y una vez más, el pilote falla de la misma manera.

Días después, este procedimiento se realiza por tercera ocasión ante personal administrativo de Petróleos Mexicanos y de la propia compañía constructora, ocurriendo el mismo incidente y observando que este percance se debe a la falla de la unión entre placas. Como resultado, el hincado de pilotes es suspendido demorando los trabajos de recimentación de la estructura y aumentando el costo de la obra.

En consecuencia, Petróleos Mexicanos (PEMEX) realiza una evaluación de las uniones de las placas con el acero de refuerzo que se especifica en el proyecto, la cual estuvo a cargo del Instituto Politécnico Nacional. El resultado de esta evaluación indica, que las anclas que unen las placas con el acero de refuerzo están sometidas a un esfuerzo actuante mayor al permisible en un 33 %, por lo que el diseño no garantiza posicionar en el lugar de hincado, al pilote conformado por dos tramos unidos mediante placas¹⁷.

¹⁷ Carlos Rogel Castellanos. *Evaluación de las uniones de proyecto y de reparación entre los pilotes de concreto para reforzar el puente "La Isla"*. Instituto Politécnico Nacional, México DF, Julio del 2006.

Esta evaluación recomienda que si se pretende seguir con el mismo procedimiento se debe colocar una camisa compuesta por placas de 1/2" de espesor alrededor de los tramos, traslapando este mecanismo en cada sección 1.0 m. Esta proposición es funcional y tiene un bajo costo pero sin embargo, existe una gran incertidumbre al llevarla a cabo puesto que no garantiza la funcionalidad del elemento.

Por otra parte, la compañía encargada de la ejecución del proyecto, Puentes y Construcciones S.A. (PYCSA) realiza una propuesta, la cual propone la unión del acero de refuerzo principal de los pilotes con las placas. Esto se lleva a cabo, soldando el armado principal del pilote con las placas colocadas en los extremos de cada sección, y además, para obtener una mayor resistencia en esta unión se colocan soleras de acero alrededor de ella. Esta propuesta tiene un mayor costo, puesto que, es necesaria la reparación de los 96 pilotes que integran la Recimentación del puente.

Finalmente, a pesar del costo que tiene la reparación de los pilotes y de la poca funcionalidad que implica la realización de esta actividad, esta propuesta posee dos ventajas muy favorables: brinda mayor seguridad y garantiza a largo plazo el buen funcionamiento de los pilotes. Por tal motivo esta propuesta es aceptada y se da inicio a la modificación de cada uno de los 96 pilotes el 14 de Julio de 2006.

Esta reparación abarca la ejecución de las siguientes actividades: demolición de concreto en los extremos de las secciones, unión del armado principal del tramo con las placas de acero, y la colocación de concreto hidráulico.

La demolición del concreto se realiza 0.30 m. a partir de la placa contenida en los extremos de la sección. Para ello, primero se limita esta área cortando el concreto con un

disco abrasivo y posteriormente se ejecuta la fractura del concreto hasta exponer el acero de refuerzo de la sección, lo cual se hace con ayuda de un martillo neumático con sumo cuidado para no dañar el armado existente del pilote (Ver Figura 3.27).



Figura 3.27 Demolición de concreto en pilotes.

Fuente: Elaboración propia.

Al concluir la demolición de concreto, se suelda el armado principal del tramo de pilote a las placas utilizando electrodos E-7018. Además, para aumentar la resistencia de la unión, se sueldan en las cuatro caras del elemento soleras de acero, las cuales tienen las siguientes dimensiones: 0.10 m. de ancho, 0.35 m. de longitud y 3/8" de espesor (Ver Figura 3.28). Con estas tareas se mejora la unión entre las placas y el acero de refuerzo proporcionando una distribución continua en todo el elemento.



Figura 3.28 Colocación de soleras de acero.

Fuente: Elaboración propia.

Después de haber realizado estas labores, se lleva a cabo el suministro de concreto hidráulico con una resistencia a la compresión $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$. Esta mezcla se elabora en planta con cemento Pórtland puzolánico tipo II clasificación CPO 30 RS con resistencia a los sulfatos y con aditivos acelerantes que permiten alcanzar la resistencia a la compresión en menor tiempo.

Antes del suministro del concreto hidráulico, se coloca una cimbra de madera y posteriormente es colocado el concreto en capas de 0.15 m. sin olvidar el vibrado de éste para brindar un mejor acomodo de la mezcla. Al término del suministro del concreto y de su vibrado, se da un acabado liso a la superficie del pilote. Finalmente los tramos son curados aplicando una capa de arena mojada (Ver Figura 3.29).



Figura 3.29 Suministro de concreto hidráulico.

Fuente: Elaboración propia.

Diariamente, se reparan cuatro tramos de pilotes, concluyendo la modificación de los 96 pilotes el 27 de Septiembre de 2006, 74 días después de su inicio. Esta actividad se ejecuta siguiendo las mismas especificaciones para la construcción de pilotes de concreto reforzado (Ver apartado 3.2 Construcción de pilotes de concreto reforzado).

Tras la reparación de los primeros 3 pilotes y con incertidumbre, el 18 de Julio de 2006, se reanudan los trabajos para el hincado de pilotes, para lo cual, se coloca el chalán en la pila No.5 aguas arriba en la posición No.4 de hincado para efectuar la colocación de una nueva camisa guía de 0.9 m. de diámetro y con una longitud 9.5 m. Posteriormente, se inicia con la perforación hasta 24 m., aproximadamente, utilizando una barrena de 0.60 m. de diámetro durante los primeros 15 m. y una barrena de 0.40 m. durante los metros restantes. Al término de esta actividad, se procede a la colocación de los tramos de pilotes y su unión.

Antes de la colocación de los tramos de pilotes, como se ha mencionado, estas estructuras son marcadas a cada metro en toda su longitud y en los dos últimos metros las marcas son colocadas a cada 10 cm. esto con el objetivo de determinar con mayor facilidad los golpes necesarios para el hincado de los mismos a medida que van penetrando en el subsuelo.

Posteriormente, se posiciona el chalán que aloja el equipo de hincado y se introduce la primera sección del pilote (tramo punta) sujetando este elemento a la camisa guía mediante estrobos. En seguida, se instalan las placas de acero biseladas con corte a 45° para obtener una correcta alineación al colocar la segunda sección. Al término de esta labor, se coloca el tramo cabeza, uniendo las dos secciones mediante una soldadura a tope de las placas ubicadas a los extremos de los tramos, obteniendo el primer pilote completo y sin originarse algún tipo de falla quedando preparado para su hincado. Las tareas de perforación, colocación e unión de tramos de pilotes se realiza respetando las características anteriormente descritas y siguiendo las especificaciones de los planos correspondientes.

De esta manera, el 19 de Julio de 2006, se posiciona el chalán que aloja el equipo de hincado y se introduce el primer pilote hasta una elevación de desplante de -18.40 m. Para ello, se utiliza un martinete Delmag D36 que proporciona una fuerza de impacto hasta de 1695 KN el cual es seleccionado de acuerdo a las condiciones del subsuelo y la masa del pilote. Este mecanismo es instalado, con anterioridad, a una grúa Link Belt LS -108 con una capacidad de carga de 50 Ton. Además, para mantener al pilote y al martinete en su posición correcta y alineados axialmente se utiliza una resbaladera fija, la cual se instala a la grúa (Ver Figura 3.30).



Figura 3.30 Hincado de pilotes de concreto reforzado.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, para la protección de la cabeza del pilote durante su hincado se coloca un gorro de protección conformado por una estructura de acero en forma de caja que contiene una sufridera de madera, la cual amortiguaba el impacto y evitaba posibles daños al elemento durante este proceso (Ver Figura 3.31).

Es importante señalar, que antes de realizar el hincado de pilotes se verifica que estos elementos estén completamente limpios, libres de cualquier sustancia y que no presenten algún tipo de fracturas o fisuras, ya que, de no ser así no se permite su hincado.



Figura 3.31 Sistema de amortiguamiento.

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se comprueba que la perforación previa al hincado se ubique en el sitio preciso, de acuerdo a la posición del pilote a hincar, siguiendo las especificaciones marcadas en el proyecto. También, con el fin de granizar una distribución uniforme de las fuerzas de impacto durante el hincado de los pilotes, se verifica que la fecha del pilote colocado no exceda $1/100$ de la longitud de cada tramo en su posición vertical.

Durante el hincado de los pilotes se pone especial cuidado en asegurar que los pilotes no se pandeen, pierdan el ángulo o la posición correcta establecidos en el proyecto, puesto que no se permite que las cabezas de los pilotes ya colocados, tengan una desviación horizontal mayor a 5 cm. y que su posición vertical final no difiera respecto a lo proyectado en más de 20 cm. ni de la cuarta parte del ancho del elemento estructural que se apoye en ella.

Respecto a su inclinación, una vez realizado el hincado de los pilotes no debe diferir de lo proyectado en un ángulo superior de 6' (6 minutos) por lo cual se corrige la

posición de la grúa hasta lograr el ángulo establecido en el proyecto. Estas labores son verificadas con ayuda de aparatos topográficos, en este caso, utilizando una estación total.

Además, al tratarse de una cimentación basada en grupo de 12 pilotes, se verifica que durante esta operación no existan movimientos horizontales en la cabeza de los pilotes previamente hincados y que el espaciamiento entre los centros de estos elementos sea el especificado en el proyecto. Para realizar un análisis de las todas las especificaciones antes descritas, consultar plano No.3 Plano general del proyecto de Rehabilitación del puente La Isla ubicado en el apéndice B.

También, durante el hincado de pilotes, se verifica el número de golpes por minuto por cada metro de penetración en toda la longitud de hincado y por cada 10 cm. de penetración en el último metro de hincado. El hincado de los pilotes se realiza de manera continua para cada elemento, puesto que no se permiten interrupciones mayores a 2 hrs.

Para obtener un mejor control durante el hincado de los pilotes se lleva un registro que incluye la siguiente información:

- Identificación del pilote y la posición de hincado.
- Fecha, hora de inicio y terminación del hincado.
- Localización del pilote y su número.
- Resistencia, tipo y longitud de pilote.
- Profundidad de la perforación previa al hincado.
- Desplazamientos permanentes y número de golpes por minuto por cada metro de penetración en toda la longitud de hincado y cada 10 cm. en el metro de hincado final.

- Elevación del terreno natural, de la punta del pilote, de la camisa, del tirante de agua y nivel de desplante de cada pilote.
- Características del equipo utilizado para esta operación.

Al concluir el hincado de los pilotes, se realiza una revisión de estos elementos, retirando los pilotes dañados durante esta operación y se sustituyen por otros que estén en perfectas condiciones. En el caso de que algún pilote haya emergido se realiza nuevamente el hincado del mismo hasta obtener la elevación de desplante marcada para este elemento en el proyecto.

De esta manera, se ejecuta el hincado de cada uno de estos elementos hasta conformar grupos de 12 pilotes a los costados de cada pila (Ver Figura 3.32). Esta actividad se realiza inicialmente en la pila No.5 aguas arriba, continuando esta labor para el grupo de pilotes pertenecientes a las pilas No.4 y 3 aguas arriba.



Figura 3.32 Grupo de pilotes.

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se traslada el equipo aguas abajo del puente y se inicia la colocación del grupo de pilotes para la pila No.3, 4 y 5, hincando hasta una elevación de desplante de -18.39 m. 48 pilotes de 29 m. de longitud en las pilas No.4 y 5. En el apoyo No.3 se hincan 24 pilotes con una longitud total de 30.20 m. hasta un nivel de desplante de -19.59. Por último, se desplaza el equipo a la pila No.2 y se lleva a cabo el hincado de 24 elementos, 12 pilotes aguas arriba y 12 aguas abajo, con una longitud total de 34.8 m. los cuales son desplantados hasta una elevación de -24.09 m.

Cabe mencionar, que en las pilas No.2 y 3 se realizan las modificaciones en la longitud de los 48 pilotes mediante la adaptación de un tercer tramo de 1.20 m. de longitud en estos elementos. Esta pequeña sección se coloca en la cabeza del tramo punta uniendo las dos secciones mediante una soldadura a tope (Ver Figura 3.33).



Figura 3.33 Colocación de tramo de 1.20 m. de longitud.

Fuente: Elaboración propia.

En seguida, se coloca la segunda sección (tramo cabeza), en parte superior del pequeño tramo y nuevamente se realiza una soldadura a tope para unir las secciones (Ver Figura 3.34). De esta forma, en la pila No.2 se conforman pilotes con una longitud total de 34.8 m. y en la pila No.3 pilotes con una longitud de 30.20 m. Estos trabajos se ejecutan siguiendo las condiciones indicadas anteriormente en la colocación e unión de tramos de pilotes. Después, estos pilotes son hincados hasta su correspondiente nivel de desplante, marcado para la pila No.2 de -24.09 m. y para la pila No.3 de -19.59 m.



Figura 3.34 Colocación de tramo cabeza.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, para determinar la respuesta de los pilotes ante una carga axial estática, se realiza una prueba de carga en un pilote. Este ensayo determina que cada pilote puede soportar una carga 50% mayor a la especificada en el proyecto de 72 toneladas¹⁸.

¹⁸ Nephtalli Riley Barrios. *Memoria de Cálculo y Dictamen de prueba de carga de pilotes*. IEA, Villahermosa, Tabasco, 2006.

Con ello, se garantiza la resistencia de los pilotes y su buen funcionamiento estructural. Esta evaluación fue realizada por la compañía de Ingeniería Estructural Aplicada (IEA).

Como resultado de la problemática obtenida con la falla de los pilotes esta actividad tiene una duración de más de 4 meses. Concluyendo el hincado de los 96 pilotes de concreto reforzado que conforman la nueva cimentación del puente La Isla, el 27 de Octubre de 2006, un mes después de lo programado afectando directamente la ejecución de tareas dependientes de esta actividad. Por tal motivo, la duración del proyecto se extiende un mes, aumentando aun más el costo de la obra.

Es importante señalar, que la recimentación del puente está conformada por tareas aisladas, puesto que, al terminar en este caso el hincado de los 12 elementos que integran los grupos de pilotes en cada pila, es posible continuar con actividades subsecuentes a esta labor como lo es la construcción de zapatas y cabezales.

3.4 Construcción *in situ* de Zapatas y Cabezales.

Las zapatas tienen como objetivo unir los 12 pilotes en un solo grupo, y así, poder distribuir de manera uniforme los esfuerzos provenientes de la estructura a los pilotes. Para ello, se construyen 8 zapatas de concreto reforzado, 2 en cada pila del puente. Estos elementos tienen una base cuadrada de 4.0 m. por lado, una altura de 1.20 m. y son construidas a base de concreto reforzado con una resistencia a la compresión simple de 250 kg/cm². Además, con el propósito de contar con un apoyo para la llegada de las traveses de transferencia, cada zapata cuenta con un cabezal, el cual posee una sección transversal rectangular de 4.0 m. x 1.0 m. y una altura de 0.8 m. y que su vez está provisto de topes antisísmicos para absorber las acciones generadas en caso de un sismo.

La construcción de las zapatas incluye la ejecución de las siguientes actividades: descabece de pilotes de concreto reforzado, construcción de cimbra, habilitado de acero de refuerzo y colocación de concreto reforzado. Estas actividades inician el 7 de agosto del 2006, en la pila No.5 aguas arriba, tras efectuar el hincado de los 12 pilotes perteneciente a este apoyo.

El descabece de los pilotes se realiza mediante la demolición de 70 cm. de la cabeza de cada uno de los 12 pilotes. Esta actividad se ejecuta con ayuda de un martillo neumático y consiste en la fractura del concreto hasta exponer el acero de refuerzo y obtener una superficie uniforme que sirve de liga entre los pilotes y las zapata (Ver Figura 3.35). Antes de iniciar esta labor, se construye una obra falsa que sirve de plataforma para los trabajadores y la cual se usa también como base de cimbra para el colado de estos elementos.



Figura 3.35 Descabece de pilotes de concreto reforzado.

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se procede al habilitado y colocación del acero de refuerzo para las zapatas y cabezales (Ver Figura 3.36). Para lo cual, se utiliza acero de refuerzo con un límite fluencia igual a $4,200 \text{ kg/cm}^2$ con las dimensiones y características señaladas en el proyecto, habilitando y colocando este material conforme a lo especificado en los planos No.4, 5 y 6 Planos estructurales de Pilotes y Zapatas, ubicados en el Apéndice B de este trabajo.



Figura 3.36 Habilitado y colocación de acero de refuerzo en zapatas-cabezal.

Fuente: Elaboración propia.

Al concluir el armado de las zapatas y cabezales, se monta una cimbra metálica que únicamente sirve como molde para la edificación de la zapata. Esta cimbra, está diseñada para soportar las presiones del concreto y el vibrado de éste, además, debe ser lo suficientemente rígida para mantener la geometría de este elemento, de acuerdo a los

planos estructurales, sin sufrir alteraciones. Para cumplir con esta especificación, la cimbra es estrictamente armada colocando cables atirantados a los largo de ella. Además, para efectuar el recubrimiento marcado de 5 cm. se colocan silletas de varillas entre el acero y la cimbra (Ver Figura 3.37).

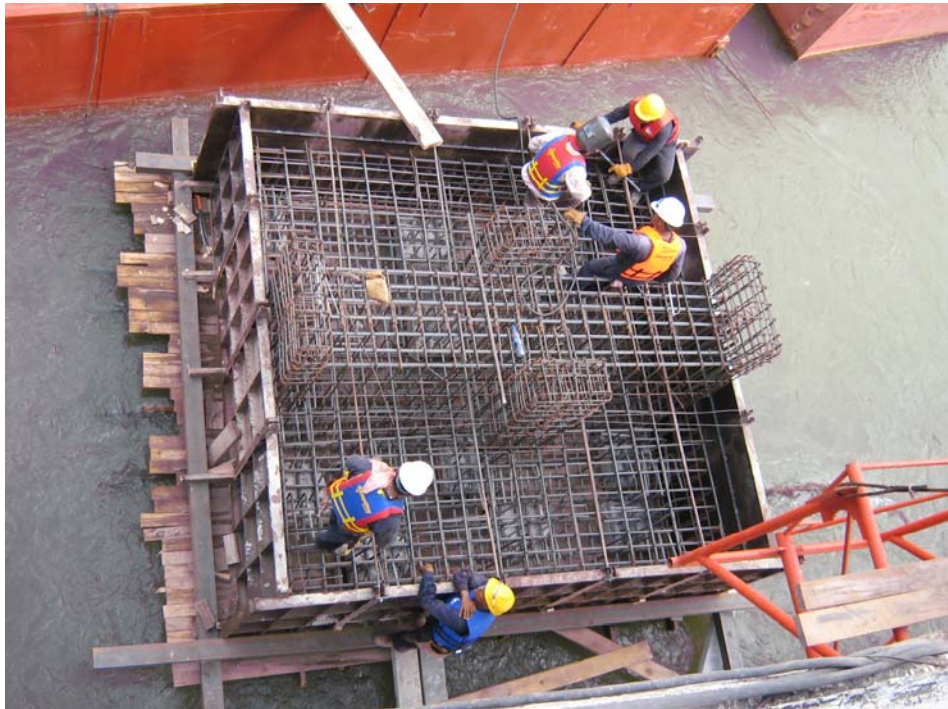


Figura 3.37 Armado de cimbra de la zapata.

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, antes de llevar a cabo el vaciado del concreto hidráulico, se verifica que la superficie de la cimbra esté exenta de cualquier sustancia y que las dimensiones finales tanto del armado de acero y la cimbra no varíen de lo especificado en ± 5 cm. Igualmente, se prepara la cimbra aplicándole un recubrimiento a base de diesel para facilitar la posterior remoción de la misma.

En seguida, se realiza el colado de la zapata mediante el suministro de concreto hidráulico con una resistencia a la compresión de 250 kg/cm^2 . Esta mezcla es elaborada en planta y esta compuesta por cemento Pórtland puzolánico tipo II clasificación CPO 30 RS con resistencia a los sulfatos, que además, por solicitud del contratista se le suministran aditivos acelerantes para obtener la resistencia a la compresión en menor tiempo.

La construcción de las zapatas requiere el suministro de 19.20 m^3 de concreto hidráulico. Por tal motivo, y al tratarse de un colado masivo de este elemento se necesita la utilización de casi tres ollas revolventoras con una capacidad de 7 m^3 cada una.

Cabe mencionar, que para verificar la calidad del concreto hidráulico y determinar si la mezcla alcanza la resistencia a la compresión marcada en el proyecto se realizan ensayos de resistencia a la compresión simple del concreto. Para ello, en la llegada de cada olla de revolventora con el concreto hidráulico, se toman tres muestras de la mezcla conformando tres cilindros de prueba, que posteriormente son ensayados a los 7, 14 y 28 días, determinando la resistencia a la compresión del concreto a estas edades.

De la misma manera, para cada olla, se realiza una prueba de revenimiento a la mezcla, puesto que, el concreto a utilizar para la construcción de las zapatas debe de contar con un revenimiento de 10 a 15 cm. (Ver Figura 3.38).

El vaciado del concreto inicia situando las ollas revolventoras en la superficie de rodamiento del puente sobre el elemento a colar. Para conducir el concreto desde las ollas hasta las zapatas, se usa un embudo acoplado a un tubo tremi de 25 cm. de diámetro con la longitud necesaria para poder alcanzar la elevación de los elementos (Ver Figura 3.39).



Figura 3.38 Prueba de revenimiento.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.39 Colocación de concreto en zapatas.

Fuente: Elaboración propia.

El colado de las zapatas se realiza de manera continua, formando capas de 15 cm. de espesor hasta alcanzar una altura de 1.40 m. Cada capa de concreto es vibrada para obtener una mezcla compactada con textura uniforme y una superficie tersa en las caras visibles del elemento. Este acomodo se efectúa con un vibrador de tubo de inmersión con una frecuencia de vibrado de hasta 5,000 rpm.

Por tratarse de un colado masivo y para garantizar el buen acomodo de la mezcla, cuando se deposita el concreto fresco sobre concreto previamente colocado se penetra la cabeza del vibrador hasta establecer contacto con el concreto ya vibrado. Al realizar este procedimiento se debe cuidar que los vibradores sean operados en forma vertical, puesto que, un vibrado vertical afecta el acomodo de las partículas. Además, para impedir cualquier segregación o clasificación en la mezcla se evitaba un vibrado excesivo. Además, para no afectar las partes previamente coladas o modificar la posición del acero de refuerzo se evita el contacto directo del vibrador con el acero de refuerzo.

Con el objetivo de que el concreto quede uniforme y libre de ondulaciones y depresiones, al término de la colocación del concreto, se proporciona un acabado liso a la superficie obteniendo una área continua y exenta de salientes u oquedades. Posteriormente, cuando el concreto endurece, cada elemento es curado mediante la aplicación de un impermeabilizante, el cual evita que el concreto pierda el contenido de agua y pueda alcanzar su resistencia (Ver Figura 3.40).

Cuando el concreto de las zapatas alcanza el 80% de su resistencia a la compresión, se retiró la cimbra metálica que se utiliza para el colado de este elemento. Además, se inicia la colocación de la cimbra de madera con las dimensiones correspondientes para ejecutar el colado del cabezal y los topes antisísmicos previamente armados (Ver Figura 3.41).



Figura 3.40 Colocación de concreto en zapatas.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.41 Colocación de cimbra en cabezales.

Fuente: Elaboración propia.

Al completar la colocación de la cimbra, se suministra concreto hidráulico con características similares al utilizado para la construcción de las zapatas y de igual manera esta mezcla es elaborada en planta. La construcción de los cabezales y topes antisísmicos demandan un volumen de concreto de 3.66 m^3 por tal motivo, estos elementos son colados en grupos de dos. La colocación del concreto en estas estructuras, así como el vibrado de la mezcla, se realiza siguiendo las mismas especificaciones descritas anteriormente para las zapatas (Ver Figura 3.42).



Figura 3.42 Colocación de concreto en cabezales y topes antisísmicos.

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se le da un acabado liso a las superficies expuestas de los cabezales y de los topes antisísmicos para obtener un área continua libre de oquedades y salientes (Ver Figura 3.43). Además, se cura la estructura aplicando una capa de impermeabilizante que evita la pérdida del contenido de agua en el elemento.



Figura 3.43 Acabado de cabezales y topes antisísmicos.

Fuente: Elaboración propia.

Con la ejecución de estas tareas, se construye una a una las zapatas con sus cabezales, uniendo en cada pila los 12 pilotes en grupo y dando una estructura capaz de distribuir de manera uniforme los esfuerzos provenientes de la estructura a la nueva cimentación (Ver Figura 3.44).

Este procedimiento se realiza conforme avanza el hincado de pilotes en cada pila, erigiendo inicialmente la zapata en la pila No.5 aguas arriba. Continuando esta actividad aguas arriba en las pilas No.4 y 3 (Ver Figura 3.45). Posteriormente, se construyen las zapatas ubicadas aguas abajo del puente de las pilas No.3, 4 y 5, y por ultimo, las dos zapatas pertenecientes a la pila No.2.



Figura 3.44 Zapatas-cabezal de concreto reforzado.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.45 Construcción de Zapatas-cabezales de concreto reforzado.

Fuente: Elaboración propia.

La construcción de cada zapata y su cabezal tiene una duración de 12 días en el programa de obra, pero al depender esta actividad del hincado de los pilotes, en conjunto esta actividad resulta una duración de más de 3 meses concluyendo la construcción de las 8 zapatas y cabezales de concreto reforzado el 16 de Noviembre del 2006.

Es importante señalar, que la construcción de zapatas se realiza en etapas secuenciales, que al concluir la edificación de las dos zapatas que conforma la cimentación en cada pila permite la ejecución de la actividad siguiente: la construcción de trabes de transferencia para ligar cada pila a la nueva cimentación.

3.5 Construcción in situ de trabes de transferencia de concreto presforzado.

Las trabes de transferencia tienen como objetivo ligar a la superestructura con la subestructura, transmitiendo el 100% de las cargas de la estructura a la nueva cimentación. Para ello, Estos elementos son apoyados sobre los cabezales de las zapatas y ligados a la estructura mediante la colocación de barras de presfuerzo tipo Mackalloy.

Las trabes de transferencia se construyen en el sitio, erigiendo dos trabes en cada una de las cuatro pilas intermedias del puente. Cada trabe, tiene una base de 1.30 m, un peralte de 2.20 m. y una longitud de 18.00 m. Además, estas trabes están unidas entre sí mediante cuatro trabes secundarias de 0.80 m. de base, 2.20 m. de altura y 0.75 m. de longitud.

Estas trabes se construyen con concreto presforzado, lo cual se realiza mediante el postensado de estos elementos, es decir, son tensadas después que el concreto endurece y

que éste alcanza suficiente resistencia. Ésta medida aumenta la capacidad de carga del elemento y permite contar con mayores claros y tener una estructura más esbelta.

La construcción de las traveses de transferencia inicia el 8 de Septiembre de 2006, en la pila No.3 del puente. Su edificación implica la ejecución de las siguientes actividades: perforación y escarificado de pilas intermedias, armado de acero de refuerzo, colocación de acero de presfuerzo, colocación de concreto hidráulico, postensado de traveses de transferencia y barras Mackalloy.

La perforación consiste en la barrenación del fuste del cuerpo de la pila en todo su espesor, siguiendo la geometría indicada en el proyecto¹⁹. Esta actividad se realiza perforando 52 agujeros de 7.5 cm. de diámetro, que en su momento, albergan las barras de presfuerzo tipo Mackalloy (Ver Figura 3.46).



Figura 3.46 Perforación y escarificado de concreto en pilas.

Fuente: Elaboración propia.

¹⁹ Ver plano No.9 Plano Estructural de Traveses de transferencia (plano 3 de 4).

Al término de esta actividad, se ejecuta el escarificado de las dos caras de la pila, desprendiendo el acabado del concreto hasta exponer el agregado grueso y obtener una superficie uniforme que sirve de liga entre la pila y la trabe de transferencia por construir (Ver Figura 3.46). Para llevar a cabo el escarificado y la perforación del cuerpo de la pila, se coloca una plataforma sobre el pie de la pila, que después sirve como base para la cimbra de las trabes.

Posteriormente, se procede al habilitado y la colocación del acero de refuerzo con límite de fluencia igual a $4,200 \text{ kg/cm}^2$, el cual conforma el armado de las trabes de transferencia. (Ver Figura 3.47). Esta actividad se realiza colocando primero los estribos centrales, uniendo a ellos las varillas longitudinales principales y consecutivamente se coloca el acero secundario.



Figura 3.47 Colocación de acero de refuerzo en trabes.

Fuente: Elaboración propia.

El armado de este elemento se inicia del centro hacia los costados, cuidando que la colocación del acero no debe de diferir del diseño en ± 1.0 cm. El habilitado y la colocación del acero de refuerzo se ejecutan, con las dimensiones y características marcadas en los Planos Estructurales de Trabes de transferencia, localizados en el apéndice B (Planos No.7, No. 8, No. 9 y No. 10).

Además, se colocaron 5 poliductos de 2" de diámetro, que contienen en su momento a los cables de presfuerzo. Para sujetar estos conductos a los extremos del elemento se colocan tres cajas de anclaje, dos de ellas sujetan 2 conductos y la restante uno. Estas cajas, como su nombre lo indica, sirven para el anclado del acero de presfuerzo (Ver Figura 3.48). También, a cada conducto se le instala un zuncho, armado con varilla del No.4, que sirve para mejorar el efecto de adherencia entre el concreto y el acero de presfuerzo.



Figura 3.48 Cajas de anclas y zunchos.

Fuente: Elaboración propia.

De igual manera, se sitúan los 52 conductos engargolados de 7.5 cm. de diámetro, que albergan las barras de presfuerzo Mackalloy. A estos conductos, también se les colocan los correspondientes zunchos. Para prevenir el desplazamiento accidental de todos los conductos, estos son amarrados con alambres y sujetos al acero de refuerzo auxiliar. La colocación de los conductos y zunchos se realiza siguiendo las especificaciones marcadas en el proyecto²⁰.

Al concluir estas actividades, se monta la cimbra de madera que sirve como molde para ejecutar el colado de las trabes. Esta cimbra es diseñada para soportar las presiones del concreto durante el colado y el vibrado de éste, y además, debe ser lo suficientemente rígida para mantener la geometría de las trabes, de acuerdo a los planos estructurales, sin sufrir modificaciones (Ver Figura 3.49).



Figura 3.49 Colocación de cimbra en trabes de transferencia.

Fuente: Elaboración propia.

²⁰ Ver planos No.7, 8, 9 y 10 Planos estructurales de Trabes de transferencia, ubicados en el apéndice B.

Para respetar el recubrimiento del acero de refuerzo, especificado en el proyecto de 5 cm. se colocan silletas de varillas entre la cimbra y el acero de refuerzo, lo cual garantiza una buena colocación de la cimbra de madera. Además, para facilitar la remoción de la cimbra después del endurecimiento del concreto, se aplica a esta una capa de diesel.

Después de haber motado la cimbra, a cada conducto se le coloca el acero de presfuerzo longitudinal conformado por un toron compuesto por 12 cables tipo 12T15 con un diámetro de 1.5 cm. y límite de ruptura de $18,900 \text{ kg/cm}^2$. Estos cables son introducidos uno a uno a los conductos por uno de sus extremos y se sujetan provisionalmente sin ser tensadas utilizando cuñas. De esta manera, se colocan un total de 5 torones compuestos en su conjunto por 60 cables en cada trabe (Ver Figura 4.50).



Figura 3.50 Colocación de cables de presfuerzo longitudinal.

Fuente: Elaboración propia.

De la misma forma, se colocan las 52 barras de presfuerzo tipo Mackalloy con un límite de ruptura de $10,500 \text{ kg/cm}^2$, las cuales sirven para ligar la estructura con la nueva cimentación. Cada uno de estos elementos tiene un diámetro de $1 \frac{1}{4}$ " y una longitud de 3.68 m. Estas barras son introducidas a los conductos engargolados de 0.075 m. de diámetro, antes colocados, y se anclan sin ser tensadas mediante la utilización de tuercas (Ver Figura 3.51). Con la ejecución de esta actividad se obtiene en la cimbra mayor rigidez para la colocación del concreto.



Figura 3.51 Colocación de barras de presfuerzo tipo Mackalloy.

Fuente: Elaboración propia.

Al término de estas actividades se realiza la colocación de concreto hidráulico con una resistencia a la compresión de 350 kg/cm^2 el cual es elaborado en planta por la compañía Cemex, Villahermosa. Para la elaboración de este concreto se utiliza cemento Pórtland puzolánico tipo II clasificación CPO 30 RS con resistencia a los sulfatos y que por recomendación del contratista se le suministran aditivos acelerantes para obtener la resistencia a la compresión a edades tempranas.

La colocación del concreto hidráulico se realiza, en cada pila, colando continuamente sus dos traveses de transferencia, esto demanda un volumen de concreto igual a 108.24 m^3 . Por tal motivo, se requiere la utilización de hasta 16 ollas revolvedoras con una capacidad de 7 m^3 cada una.

El vaciado del concreto demanda la utilización de una bomba, colocada en la olla revolvedora que suministra el concreto hasta el área de trabajo con ayuda de un tubo tremi de 0.25 de diámetro. De esta manera, se colocan capas de concreto de 10 a 15 cm . de espesor hasta alcanzar la altura marcada en el proyecto de 2.20 m ., lo cual se realiza bajando el tubo tremi gradual y cuidadosamente hasta la zona de colado (Ver Figura 3.52).



Figura 3.52 Colocación de concreto hidráulico en traveses de transferencia.

Fuente: Elaboración propia.

Con el objetivo de obtener un concreto compactado con textura uniforme y una superficie tersa en las caras visibles, se ejecuta el vibrado de la mezcla utilizando un vibrador de tubo de inmersión con una frecuencia de vibrado de hasta 5,000 rpm. Asimismo, para garantizar el buen acomodo de la mezcla, cuando se coloca el concreto fresco sobre el concreto previamente depositado se introduce la cabeza del vibrador hasta establecer contacto con la mezcla ya vibrada.

Al realizar este procedimiento, se evita que los vibradores fueran operados de manera inclinada, puesto que, esto afecta el acomodo de las partículas. Además, para impedir cualquier segregación o clasificación de la mezcla se impide un vibrado excesivo y el contacto directo del vibrador con el acero de refuerzo para no modificar la posición de este material.

Al concluir la colocación del concreto, se efectúa un acabado liso a la superficie expuesta de las trabes, para obtener una mezcla uniforme, continua y exenta de salientes u oquedades. Cuando el concreto endurece, se ejecuta el curado del mismo colocando una capa de impermeabilizante en la superficie expuesta de las trabes de transferencia.

Antes de realizar la colocación del concreto hidráulico, se toma una muestra de la mezcla contenida en cada una de las ollas revolvedoras y se realiza una prueba de revenimiento, la cual debe ser de 10 cm. de espesor (Ver Figura 3.53). Asimismo, se elaboran tres cilindros de prueba para poder verificar la calidad del concreto y su alcance de resistencia a la compresión simple. Para llevar un mejor control de los cilindros, estos son marcados con la fecha de elaboración, se les asigna el número del cilindro y el número de la trabe a la que pertenecía el concreto.



Figura 3.53 prueba de revenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, los cilindros son ensayados realizando pruebas de resistencia a la compresión simple a los 7, 14 y 28 días después de su elaboración, para así, poder comprobar el alcance de su resistencia. Al realizar la primera prueba, cuando el concreto tenía una edad de 7 días, se demuestra que la resistencia del concreto en ese día era mayor a 350 kg/cm^2 . De esta manera se efectúa el postensado de las barras de presfuerzo y consecutivamente el postensado de los cables de presfuerzo longitudinal.

El postensado de las 52 barras de presfuerzo tipo Mackalloy se realiza hasta alcanzar el 65% de límite de ruptura ($6,825 \text{ kg/cm}^2$). Para ejecutar esta actividad en cada barra, se coloca un gato hidráulico en uno de sus extremos aplicando una carga hasta alcanzar el 30% del f_y de la barra. En seguida, se retira el gato hidráulico de ese extremo y se colocaba nuevamente en el extremo restante, aplicando un esfuerzo hasta que la barra alcanzara el 65% de su límite de ruptura. Para sujetar las barras postensadas, se coloca un

ancla de tuerca en cada extremo del elemento y se cortan los sobrantes de las barras (Ver Figura 3.54). Con esta actividad, se garantiza la unión de la estructura con la nueva cimentación, así como, la transmisión del 100% de las cargas.



Figura 3.54 Postensado de barras Mackalloy.

Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, el postensado de los cables de presfuerzo longitudinal se realiza tensando cada uno de los 5 torones hasta alcanzar el 75% de su límite de ruptura ($14,175 \text{ kg/cm}^2$). Esta actividad se ejecuta con ayuda de gatos hidráulicos que permiten una carga de hasta de media tonelada a cada uno de los cables que conformaban cada toron.

El postensado se realiza colocando, inicialmente, el gato hidráulico en uno de los extremos de los torones hasta alcanzar un 35% de su límite de ruptura. Después, se retira el gato hidráulico y se coloca en el extremo restante en donde se aplica una carga hasta

lograr un límite de ruptura de $14,175 \text{ kg/cm}^2$ (Ver Figura 3.55). Al término del tensado de los cables de presfuerzo, cada una de ellas se sujeta a las cajas de anclaje mediante cuñas de acero.



Figura 3.55 Postensado longitudinal de traves de transferencia.

Fuente: Elaboración propia.

Para llevar un mejor control de la aplicación de la fuerza en los tornes, se mide la carga aplicada por los gatos hidráulicos mediante la utilización de un barómetro. Además, para obtener un mejor control durante el postensado de estos elementos se mide el alargamiento de los cables, de acuerdo al especificado en los planos estructurales. Con el postensado longitudinal de las traves de transferencia, se reducen los esfuerzos de tensión que de otra forma ocurrirían en el elemento y se brinda una estructura con mayor capacidad de carga.

Cabe mencionar, que el postensado longitudinal, así como, el postensado de transversal de las traves de transferencia fue subcontratado por el contratista a la compañía Freyssinet, empresa francesa con amplia experiencia en este campo.

Para concluir el postensado longitudinal y transversal de las traves de transferencia, se inyecta mortero agua-cemento, elaborado en obra, a cada uno de los conductos que contenían los torones y barras postensadas (Ver Figura 3.56). Con esta actividad se garantiza la adherencia del acero de presfuerzo con los conductos y se provee a este material una protección contra la corrosión.



Figura 3.56 Inyección de mortero a conductos.

Fuente: Elaboración propia.

Al término de la inyección de mortero en los conductos longitudinales se cortan, con ayuda de un disco abrasivo, los sobrantes de los cables de presfuerzo (Ver Figura 3.57). Para concluir la construcción de traveses de transferencia, se coloca concreto hidráulico en las cajas de anclaje y en las anclas de las barras, esto con el objetivo de mantener el tensado del acero de refuerzo y proteger contra la corrosión estos elementos (Ver Figura 3.58).



Figura 3.57 Corte de excesos en torones.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.58 Colocación de concreto en anclas.

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera se construye cada una de las 8 traveses de transferencia que conforman la nueva cimentación del puente La Isla (Ver Figura 3.59), edificando inicialmente las dos traveses en la pila No.3 y posteriormente las traveses en las pilas No.4, 5 y 2, siguiendo el proceso de hincado de pilotes y la construcción de zapatas de concreto reforzado.



Figura 3.59 Traveses de Transferencia.

Fuente: Elaboración propia.

La construcción de dos traveses de transferencia en cada pila del puente, tiene una duración de 40 días aproximadamente, concluyendo la edificación de las ocho traveses el 9 de diciembre de 2006. De esta forma, se completa el proyecto de Recimentación del Puente La Isla (Ver Figura 3.60), el cual garantiza la transferencia del 100% de las cargas de la superestructura a la nueva cimentación.



Figura 3.60 Recimentación del puente La Isla.

Fuente: Elaboración propia.