

HINCADO DE PILOTES EN EL PUENTE CHACAO

FONDO MARINO

— El que será el puente colgante más largo de Sudamérica se construye en la zona austral de Chile. El puente Chacao, que unirá la Isla de Chiloé con el continente, se encuentra en plena faena de hincado de pilotes en la pila norte.

PAULA CHAPPLE C.
PERIODISTA REVISTA BIT





UNA MEGAOBRA se levanta sobre el Canal de Chacao. Con una longitud total de 2.750 m, el puente Chacao unirá los sectores de Punta Coronel en el Continente y Punta Gallan en la Isla de Chiloé. Será

del tipo colgante continuo en dos tramos de 1.155 y 1.055 m en los lados norte y sur, respectivamente, con cuatro pistas de circulación de 3,5 m cada una con berma exterior de 1,5 m, para una velocidad de circulación de 80 km/h. Se apoyará en tres pilas con alturas de 157 m (Pila Sur), 175 m (Pila Central) y con 199 m (Pila Norte).

“Desde octubre de 2019, la plataforma Jack-Up, finalizados los trabajos en roca remolino (sector denominado Pila Central), se reposicionó en el lado norte en apoyo a la construcción de los pilotes de la Pila Norte, correspondiente a las etapas 3A y 3B del contrato”, señalan a Revista BiT desde la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas

(MOP). Es por ello que nos internamos en las profundidades del Canal de Chacao, para conocer las faenas constructivas en el fondo marino.

AVANCES CONSTRUCTIVOS

Actualmente se encuentra finalizado el hincado de las 18 camisas de acero definitivas proyectadas para los pilotes de fundación de la Pila Norte (sub-etapas 3A y 3B). En tanto, las actividades se concentran en dos frentes de trabajo: Sector Norte (Pila Norte) y Pila Central (Roca Remolinos).

SECTOR NORTE

En este lugar se ubican la yarda de trabajo, maestranza, el patio acopio de camisas definitivas, embarcadero, plataforma trabajo pila norte y la plataforma Jack-Up.

En esta área continúa la confección de armadura de refuerzo, tramos de L=12,00 para los pilotes de la pila norte, “existe una cantidad importante de material acopiado para la construcción de pilotes y, por tanto,



De acuerdo a sus dimensiones, los pilotes se clasifican en tres tipos: el tipo 1, que tiene una longitud de camisa definitiva de L=24,00 m y una longitud total de L=56,00 m (en total 9 pilotes), el tipo 2, que tiene una longitud de camisa definitiva de L=24,00 m y una longitud total de L=59,00 m (en total 8 pilotes), y el tipo 3, que tiene una longitud de camisa de L=28,20 m y una longitud total de L=59,00 m (en total 19 pilotes).

se seguirá trabajando en esta actividad hasta completar los 18 pilotes proyectados”, adelantan desde la Dirección de Vialidad.

Tal como se señaló, en las últimas semanas antes del cierre de esta edición, se terminaron de hincar las 18 camisas de acero definitivas de L=55,00 m y L=59,00 para el grupo de pilotes tipo 1 y 2, compuestos por 9 elementos cada uno de L=86,00 m y L=90,00 m respectivamente. También se iniciaron las actividades de excavación mediante sistema de perforación RCD (Reverse Circulation Drilling) o Equipo de Perforación de Circulación Inversa en consideración a las longitudes de los pilotes. Es decir, dependiendo del tipo de pilote y lecho marino, los metros lineales a perforar con este método varían, en tanto el diámetro teórico de la excavación se mantiene en 2.500 mm de diámetro. Respecto a la verticalidad de excavación, ésta se verificará con el ensayo Koden que determinará el diámetro definitivo de la misma, la profundidad se irá calculando a medida que se ejecute la excavación con la cantidad de barras de perforación utilizadas por el equipo RCD, y con respaldo topográfico.

En cuanto al proceso de excavación, éste se divide en dos partes, la primera corresponde a la excavación al interior de la camisa de acero del pilote, la que no necesita de polímero para la estabilidad de la excavación y alcanzará una longitud entre 23 y 26 m, dependiendo del tipo de pilote. La segunda parte será desde el término de la camisa hasta la cota del sello de fundación definida en el diseño, la cual sí requiere de polímeros

para estabilizar el suelo y tendrá una longitud de 31 m lineales.

SECTOR PILA CENTRAL

Continúan las actividades de descabezado de pilotes, y la instalación de armadura de refuerzo para la estructura que conforma el encepado proyectado compuesto por los cuadrantes Noroeste, Noreste, Suroeste y Sureste.

Junto con los trabajos de descabezado de los últimos pilotes de la Pila Central, se da término a la instalación de la estructura de soporte del encofrado horizontal (o moldaje de piso) en el cuadrante Sureste del encepado. También se prepara la junta de construcción entre las capas 1 y 2 de hormigón, de un total de 7 del cuadrante Noroeste, y se avanza en la colocación de armadura de refuerzo en este mismo cuadrante.

PILAS EN EL MAR

De acuerdo a sus dimensiones, los pilotes se clasifican en tres tipos: el tipo 1, que tiene una longitud de camisa definitiva de L=24,00 m y una longitud total de L=56,00 m (en total 9 pilotes), el tipo 2, que tiene una longitud de camisa definitiva de

L=24,00 m y una longitud total de L=59,00 m (en total 8 pilotes), y el tipo 3, que tiene una longitud de camisa de L=28,20 m y una longitud total de L=59,00 m (en total 19 pilotes).

Las camisas de 24 m de largo pesan aproximadamente 88 toneladas, mientras que las camisas de 28 m de largo pesan 102 toneladas. El espesor de las camisas de los pilotes de la pila central es variable, y va desde los 79 mm a los 28,6 mm. Los pilotes comienzan su empotramiento en el suelo a un nivel de -8 NMM a los 11,7 NMM según el nivel del lecho marino. El diámetro interior de camisa definitiva para los tres tipos de pilotes es de $\phi=2.650$ mm en toda la longitud que corresponda, para posteriormente quedar en un diámetro $\phi=2.500$ mm de pilote de hormigón en la longitud restante, al igual que para los pilotes de la Pila Norte (Off-Shore), es decir en el Canal de Chacao) y los de la Pila Sur (On-Shore), proyectados sobre terreno en la Isla Grande de Chiloé. No obstante, para este último no se considera camisa definitiva perdida contra terreno, sino que sólo un pilote de hormigón armado en toda su longitud.

“En total son aproximadamente 2.063 m lineales de pilote para la pila central, con 2.256 toneladas de armadura de refuerzo aproximadamente y 3.450 toneladas de camisas aproximadamente”, detallan desde la Dirección de Vialidad.

Respecto de los trabajos en la pila norte, se destacan las actividades asociadas al hincado de las 18 camisas de acero definitivas, las cuales tienen una longitud que van desde los 55,00 m a los 59,00 m, y que fueron hincadas en su totalidad según



En total son aproximadamente 2.063 m lineales de pilote para la pila central, con 2.256 toneladas de armadura de refuerzo aproximadamente y 3.450 toneladas de camisas.



HORMIGONADO

Respecto al proceso de hormigonado de los pilotes de la pila central, desde la Dirección de Vialidad indican que “no hubo mayores problemas, debido a que la Planta de Hormigón que entregaba de forma continua el hormigón necesario para cada elemento, se ubicaba en la Plataforma Central, aproximadamente a unos 50 m de distancia del sector de trabajo”. Además, esta consideraba dos sub-plantas en el caso que pudiera haber una falla en alguna de ellas, por lo que siempre hubo un respaldo en caso que surgiera un problema durante el proceso de producción de hormigón. Para cada pilote de la pila central se vaciaron 318 m³ de hormigón aproximadamente, con un total de 1.272 m³.

Otra ventaja importante tiene que ver con las temperaturas de operación de la planta, bajo las cuales se realizó el proceso de hormigonado, y que impidieron que el hormigón presentara problemas de consistencia (5°C < 20 °C). Además, el diseño de mezcla aprobado por las autoridades del MOP, se especificó bajo un parámetro denominado “escurrimiento”, lo que permitió un adecuado proceso de bombeo y fluidez de la mezcla.

El acero estructural y de refuerzo considerado para los pilotes de pila norte, pila central y sur, corresponde a un acero estructural para las camisas de acero definitivas del tipo ASTM A709 gr. 345/345S (fy=345 MPa) y un acero de refuerzo del tipo ASTM A706 gr. 80 (fy=550 MPa)



ARTÍCULO
RELACIONADO
BIT N°126

diseño definitivo. En cuanto a los pilotes, éstos se clasifican en dos tipos. El tipo 1, que tiene una longitud de camisa de $L=55,00$ m (cota -47 NMM), y una longitud total de $L=85,95$ m (cota -78 NMM) y el tipo 2, que tiene una longitud de camisa de $L=59,00$ m (cota - 50,5 NMM), y una longitud total de $L=89,45$ m (cota - 81,5 NMM). Por su parte, el lecho marino está a una profundidad entre los -21,5 NMM a -27,5 NMM.

“Cabe destacar que estos pilotes tienen un diámetro interior de camisa definitiva para los dos tipos de pilotes de $\phi=2.650$ mm en toda la longitud que corresponda, para posteriormente quedar en un diámetro $\phi=2.500$ mm de pilote de hormigón en la longitud restante, en contacto directo contra terreno. El espesor de las camisas de los pilotes de la pila norte es variable y va desde los 65 mm a los 28 mm. El tramo inferior tiene una longitud de 42 m (120 ton aprox.) para el tipo 2 y 38 m para el tipo 1, mientras que el tramo superior tiene una longitud de 17 m para ambos tipos de pilotes”, complementan desde el MOP.

La armadura de refuerzo son 8 jaulas de 2,30 m de diámetro, de un largo de 12 m, donde el refuerzo longitudinal son barras de diámetro 40 mm que se unen entre tramos de jaula con conectores mecánicos. En total son aproximadamente 1.600 m lineales de pilote para la pila norte, con 8.400 m³ teóricos de hormigón (456/475 m³ por pilote), 1.590 toneladas de armadura de refuerzo aproximadamente y 3.200 toneladas de camisas aproximadamente.

En tanto, y como lo detallan desde la Dirección de Vialidad, “el acero estructural y de refuerzo considerado para los pilotes

de pila norte, pila central y sur, corresponde a un acero estructural para las camisas de acero definitivas del tipo ASTM A709 gr. 345/345S (fy=345 MPa) y un acero de refuerzo del tipo ASTM A706 gr. 80 (fy=550 MPa). En los pilotes de pila central, el hincado de las camisas definitivas se realizó hasta los 6,00 m de profundidad desde cota de lecho marino (cota - 16,00 NMM aprox.) en los pilotes tipo 1, y hasta 10,00 m (cota -20,00 NMM) en los pilotes tipo 2 y 3”.

METODOLOGÍA CONSTRUCTIVA

El procedimiento de hincado de los pilotes se detalla a continuación para la pila central y norte, respectivamente:

PILA CENTRAL

Las camisas permanentes de diámetro interior ϕ 2.650 mm se utilizaron en la totalidad de los pilotes ejecutados. La longitud de las mismas fue definida en el diseño, en función de las investigaciones geotécnicas y sísmicas realizadas, y fueron detalladas anteriormente.

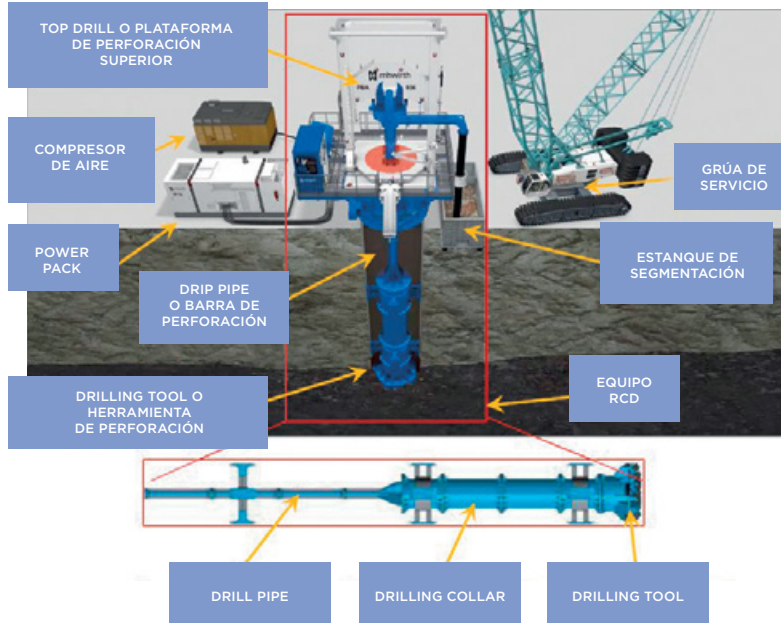
“Las camisas fueron previamente soldadas en el área Jetty, sector norte (continente) hasta conformar su longitud total para su

VIENTO Y SISMO

Las cargas o solicitaciones producidas por el viento se han tomado en consideración para las actividades ejecutadas a la fecha, correspondiente al uso de grúas torre y maniobras de izaje, las cuales son críticas para las actividades de construcción propiamente tal y se desarrollan directamente en las inmediaciones del Canal de Chacao.

Respecto de los estudios sísmicos, se han tomado los resguardos correspondientes al cálculo estructural de todos aquellos elementos y plataformas, utilizada para la ejecución de los pilotes, ya sea en la Pila Central como en la Norte. Considerando además que la variable sísmica en nuestro país es crítica, estos elementos se han diseñado y proyectado tomando en consideración espectros de diseño que apliquen según normativa chilena y extranjera vigente (según corresponda), al tipo de estructura construida y/o instalada, y que en estos casos se clasifican como Obras Temporales, las cuales serán retiradas una vez se haya terminado la obra definitiva.

EQUIPO DE PILOTAJE



transporte hasta el Jack-Up mediante barcaza e izaje con grúa hasta la posición vertical”, indican desde el MOP.

Previamente a la instalación de la camisa, se hincó una camisa temporal de diámetro de 3 m, la cual tenía la función de proteger el sector de excavación de las fuertes mareas. Luego, se realizó una pre-perforación que dependía del tipo del pilote lo cual fue definido por el proyectista.

Posteriormente, una vez efectuada la pre-perforación requerida, “se procedió al transporte de la camisa correspondiente, desde el embarcadero Jetty al JUB (Jack up Barge), la cual se verticalizó mediante el uso de la estructura “catapulta” y fue izada con yugo y eslingas de acero a través de los agujeros de izaje dispuestos para ello en el extremo superior. La camisa se levantaba con la grúa para posicionarla dentro de la camisa temporal y centrarla con ella a través de centradores y rodillos del marco guía, respetando en todo momento lo estipulado en el procedimiento de izaje”, relatan desde la Dirección de Vialidad.

Las camisas se instalaron con la asistencia de un vibrador suspendido de la grúa de servicio. La posición exacta de instalación fue determinada por el topógrafo de obra mediante el uso del sistema GPS o estación total.

La máxima desviación respecto a la vertical será de 1,5/100 (1,5%) de la longitud de la camisa. También se verificó la cota de punta de ambos tipos de camisas con asistencia topográfica controlando la cota superior y teniendo en cuenta la longitud total de cada una.

Finalmente, una vez hincada la camisa correspondiente, se

procedió a realizar la excavación, instalación de armadura de refuerzo y hormigonado, para así continuar con el pilote siguiente.

Al respecto, la secuencia utilizada para la construcción de los Pilotes de la Pila Central, consideró la construcción por cuadrante para los grupos correspondientes a las Etapas 4A, 4C, 4B y 4D. Es decir, una vez terminado un cuadrante de 9 pilotes se pasaba al siguiente hasta completar los 36 elementos proyectados. Los cuadrantes de 9 pilotes están formados por 3 filas de 3 pilotes cada una, para lo cual la Jack-Up debía posicionarse con control topográfico para cada fila y por cada posición, el marco guía tenía 3 posiciones en la Jack-Up para los 3 pilotes de la respectiva fila.

PILA NORTE

A diferencia de lo ejecutado en pila central, la metodología constructiva de los pilotes de la pila norte considera, en una primera etapa, ya ejecutada, el hincado de 18 camisas de acero definitivas, previo a las actividades de excavación, instalación de armadura y hormigonado correspondiente. Al

TIPOS DE SUELO

Respecto a las estratigrafías, en los tres sectores en los cuales se han ejecutado y se ejecutarán los pilotes de fundación, se presentan distintos tipos de suelo, los cuales varían en profundidad.

La Pila Norte presenta características geotécnicas, básicamente de un solo tipo de suelo, clasificado como "Arena Cementada" con dos estratos: horizonte n°1: Unidad 2b1 & 2b2 (1) en los primeros 10 metros (-21,7 NMM a 31,7 NMM) y bajo este estrato el horizonte n° 2: Unidad 2b1 & 2b2 (2) (< -31,7 NMM).

La Pila Central presenta características geotécnicas para un suelo tipo "Tufita" (Roca de Cobertura), clasificada como Arena de grano medio a fino, altamente cementada, correspondiente al primer estrato, horizonte n° 1: Unidad 3a (-4,00 NMM a -33,00 NMM).

Posteriormente, en el segundo estrato, horizonte n° 2: Unidad 3b (-33,00 NMM a -69,00 NMM), clasificada como Arena de media a fina, poco cementada, un suelo tipo "Arena Gravosa" o Arenas Pleistocenas (interglaciar temprano).

Finalmente se presenta el horizonte n° 3: Unidad 2c (-69,00 NMM a -98,00 NMM), clasificada como Arena Rígida - Cementada, un suelo tipo "Arena" o Limos Pleistocenos (pre-glacial).

La Pila Sur presenta características geotécnicas para un suelo tipo "Limo", clasificado como un Limo de Baja Plasticidad (ML), correspondiente al primer estrato, horizonte n° 1: Unidad 2a - Cancagua (2 primeros metros). Posteriormente para los estratos restantes predomina un suelo tipo "Arena Cementada", horizonte Unidad 2b - Arenas limosas.

igual que en la pila central las camisas permanentes tienen un diámetro interior de $\phi=2.650$ mm. A diferencia de los pilotes de la pila central, la camisa se subdividió en dos tramos (tramo inferior y superior), debido a la longitud del elemento (entre los 55,00 m y 59,00 m) y el peso total no pudo ser levantado por la maquinaria considerada para estos trabajos, en este caso la grúa Burger de 600 ton y una pluma de 60 m, "por esto, una vez terminada la fabricación de cada tramo de camisa, se procedió a su transporte en barcaza desde el embarcadero a la Jack-Up, para la ejecución del hincado de cada tramo (inferior y superior)", prosiguen desde Vialidad del MOP.

A la Jack-Up y al marco guía que se le instaló, se le hizo un control topográfico, para cumplir con la ubicación en la que debía quedar el pilote. Cada camisa se verticalizó mediante el uso de la estructura "catapulta" e izó con yugo y eslingas de acero por medio de orejas o agujeros de izaje dispuestos para ello en su extremo superior. La camisa fue levantada con la grúa para posicionarla en el marco guía y centrarla por medio de los rodillos, respetando en todo momento lo estipulado en el procedimiento de izaje.

Una vez ejecutado el hincado del tramo inferior, hasta una cota adecuada para el empalme con tramo superior, se procedió a izar este último y posicionar sobre el tramo inferior para la ejecución de soldadura in-situ.

Posteriormente, una vez realizado los ensayos no destructivos (Non Destructive Test, NDT) de soldadura (Phase Array UT

FAENAS TÁCTICAS

A la fecha no se han efectuado trabajos en los cuales se haya requerido la presencia de buzos industriales. Todas las actividades que tienen que ver con soldadura de camisas definitivas de acero, confección de tramos de armaduras de refuerzo, excavaciones y hormigonado, se han realizado en maestraza ubicada en el sector de trabajo norte, es decir en el continente, para luego ser transportados (en barcazas en el caso de la pila central) e instalados por la maquinaria correspondiente.



y tintas penetrantes) y verificado la calidad de soldadura, se procedió a ejecutar el hincado del tramo final o total de la camisa considerando la longitud del tramo superior e inferior en cuestión, hasta la cota de proyecto especificada. El tramo inferior comenzó en el hincado con un vibromartillo de 40 toneladas para luego pasar a un martillo hidráulico o martinete de 3 m de diámetro y 120 toneladas, que se utilizó también para el hincado del tramo superior.

Al igual que en los pilotes de la pila central la máxima desviación respecto a la vertical es de 1,5/100 (1,5%) de la longitud de la camisa, lo cual se verificó una vez terminada la hinca de ésta.

El Chacao, en la actualidad el puente colgante más largo de Sudamérica en construcción, se levanta en el mar, en el extremo austral de Chile. ■