

EJECUCIÓN DE LAS CIMENTACIONES DEL VIADUCTO DEL RÍO ULLA EN LA RÍA DE AROSA

Susana LÓPEZ MANZANO

Ingeniero de Caminos
DRAGADOS.
Dirección Técnica
slopezm@dragados.com

Felipe TARQUIS ALFONSO

Dr. Ingeniero de Caminos
DRAGADOS.
Dirección Técnica
ftarquisa@dragados.com

Francisco MILLANES MATO

Prof. Dr. Ingeniero de Caminos
IDEAM S.A.
Presidente
general@ideam.es

Rubén A. ESTÉVEZ SÁNCHEZ

Ingeniero de Caminos
DIRECCIÓN GENERAL DE
INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS
Director de Obra
raestevez@fomento.es

Ignacio MUÑOZ SOTA

Ingeniero de Caminos
DRAGADOS.
Dirección Técnica
imunozs@dragados.com

Germán BURBANO JUANA

Ingeniero de Caminos
DRAGADOS.
Dirección Técnica
gburbanoj@dragados.com

Miguel ORTEGA CORNEJO

Ingeniero de Caminos
IDEAM S.A.
Jefe de Proyectos
miguel.ortega@ideam.es

RESUMEN

La construcción de las cimentaciones de las tres pilas ubicadas dentro de la ría del Viaducto sobre el río Ulla ha exigido un esfuerzo notable. Dos de ellas son pilotadas con 42 y 56 pilotes, respectivamente, de 1,5 m de diámetro que se empotran 1,5 m en un granito de hasta 100 MPa de resistencia a compresión simple. La tercera es una cimentación directa en la que para alcanzar el granito competente ha sido necesario excavar a más de 12 m de profundidad bajo el nivel de la pleamar. Como obras auxiliares se han ejecutado tres islas formadas por recintos provisionales de tablestacas, de hasta 68 m de diámetro, dentro del cauce. Se han construido a partir de un doble anillo de tablestacas para cuyo arriostramiento se ha necesitado de la ejecución de zunchos metálicos, anillos de hormigón, columnas de suelo tratado con superjet-grouting y micropilotes. También se ha construido un pantalán provisional, de más de 400 m, para conectar las islas con las orillas.

PALABRAS CLAVE: Ría, pilote, granito, pantalán, recinto, tablestaca, jet-grouting, micropilote, zuncho, excavación.

1. Introducción

El Viaducto sobre el río Ulla en la ría de Arosa, entre las provincias de A Coruña y Pontevedra, pertenece al Eje Atlántico de Alta Velocidad Ferroviaria. Tiene una longitud total de 1620 m

distribuidos en 12 vanos con la siguiente cadencia de luces: 50+80+3x120+225+240+225+3x120+80 m. Los tres vanos centrales salvan la ría de Arosa.

La geología encontrada en la traza muestra una sucesión de niveles en la que primero se encuentran unos suelos de recubrimiento de escasa compacidad, de origen coluvial en las laderas y aluvial en la ría, bajo los que se encuentra el sustrato rocoso granítico, más o menos alterado en su capa más superficial.

Las cimentaciones situadas en las laderas se resuelven mediante zapatas empotradas en el granito sano que se encuentra bastante somero. De las tres pilas situadas en la ría (pilas 5, 6 y 7) las dos primeras (pilas 5 y 6) se cimentan con pilotes de 1,5 m de diámetro empotrados en el granito sano, mientras que la tercera (pila 7) se apoya en una cimentación superficial sobre el sustrato rocoso.

Este artículo se centra en la ejecución de las cimentaciones de las tres pilas ubicadas en la ría de Arosa tanto por la propia magnitud de las mismas como por la relevancia de las obras auxiliares construidas a tal efecto. Estas obras auxiliares han consistido en la ejecución de tres islas provisionales, una por pila, y un pantalán también provisional (Fig. 1).

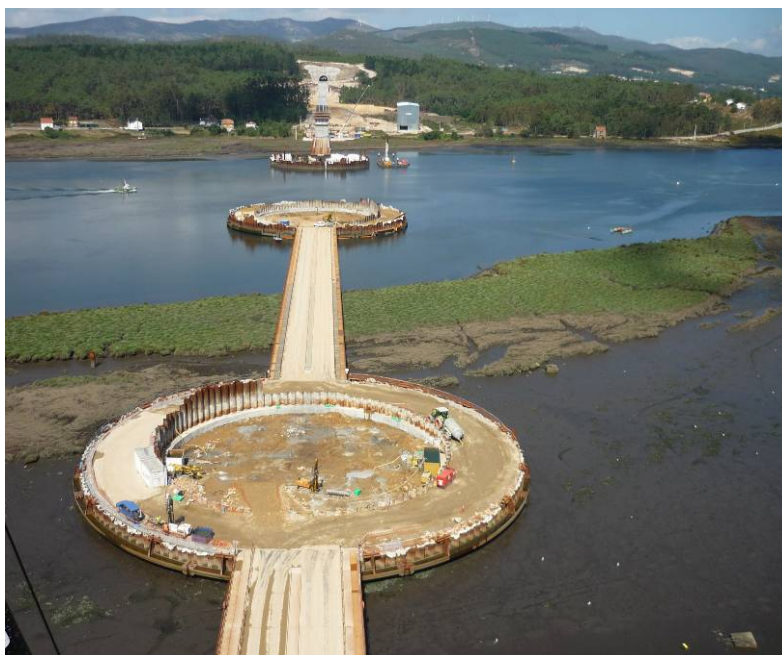


Figura 1. Vista general de las obras en la ría, pila 5 en primer término

2. Obras auxiliares: Pantalán provisional

La primera de las obras ejecutadas ha sido un pantalán provisional que sirve de camino de acceso a las islas provisionales desde las márgenes de la ría. Acabadas las cimentaciones, también sirve para el transporte de dovelas y su posterior izado.

Este pantalán provisional permite realizar la obra casi íntegramente con medios terrestres, mejorando los rendimientos y ampliando las horas efectivas de trabajo en la ría ostensiblemente.

El elevado grado de protección ambiental de la zona marcó el diseño de este pantalán orientando el mismo a la búsqueda de elementos prefabricados de fácil montaje y desmontaje así como a la capacidad de construirse avanzando sobre sí mismo.

2.1. Descripción del pantalán

La longitud total del mismo es de 408 m divididos en tres tramos. El primero, de aproximadamente 65 m, se extiende entre la orilla situada junto a la pila 4 y la pila 5. El siguiente tramo, de 164 m, une la pila 5 con la pila 6 y el tercer tramo, de 179 m, une la otra orilla con la pila 7 (Fig 2).

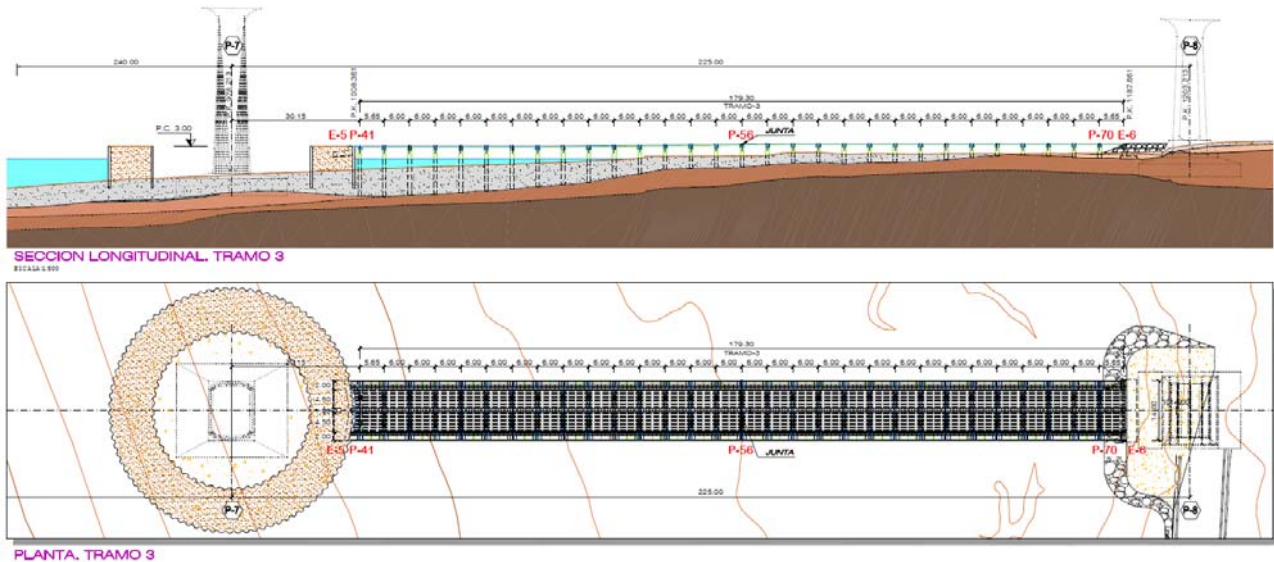


Figura 2. Alzado y planta general del tramo 3 del pantalán

Los vanos son isostáticos y de 6 m de luz, salvo los próximos a los estribos por necesidades geométricas. La anchura total del tablero es de 14 m (Fig. 3). En estos 14 m se ubican dos carriles de 4,5 m de anchura para el tráfico de vehículos, una mediana de 1 m y dos bandas laterales de 2 m de anchura divididas en dos mitades, una franja para la colocación de tuberías de suministro a los recintos y otra para la circulación de peatones. En la mediana y aceras peatonales situadas sobre zonas con vegetación de ribera se ha empleado tramex para permitir el paso de la luz solar y favorecer con ello la conservación del ecosistema.

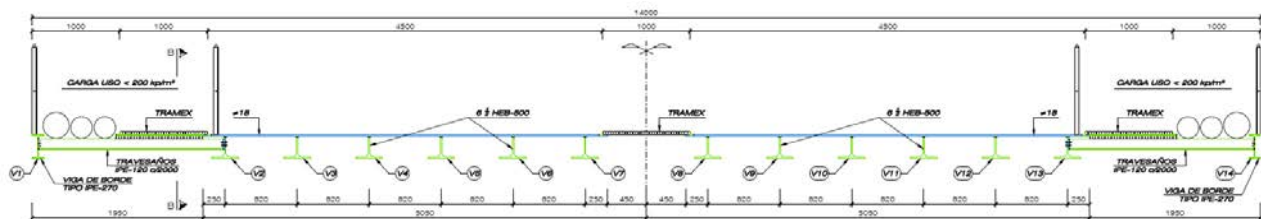


Figura 3. Sección transversal del tablero del pantalán

El tablero es metálico y está compuesto por una chapa de forjado de 18 mm de espesor y acero S-355 que se apoya en 12 semiperfiles HEB 500 de acero S-275 (Fig. 3). Este tablero se coloca a su vez sobre unos dinteles formados por una viga metálica que se asienta en dos pilotes (Fig. 4). Esta viga tiene una sección cajón de 1000 x 500 mm, con espesores de 12 y 15 mm de acero S-355.

Los pilotes también son metálicos, de acero S 275, de sección tubular de 800 mm de diámetro y 12 mm de espesor (Fig. 4). Se hincan mediante martillo de impacto hasta llegar a rechazo.

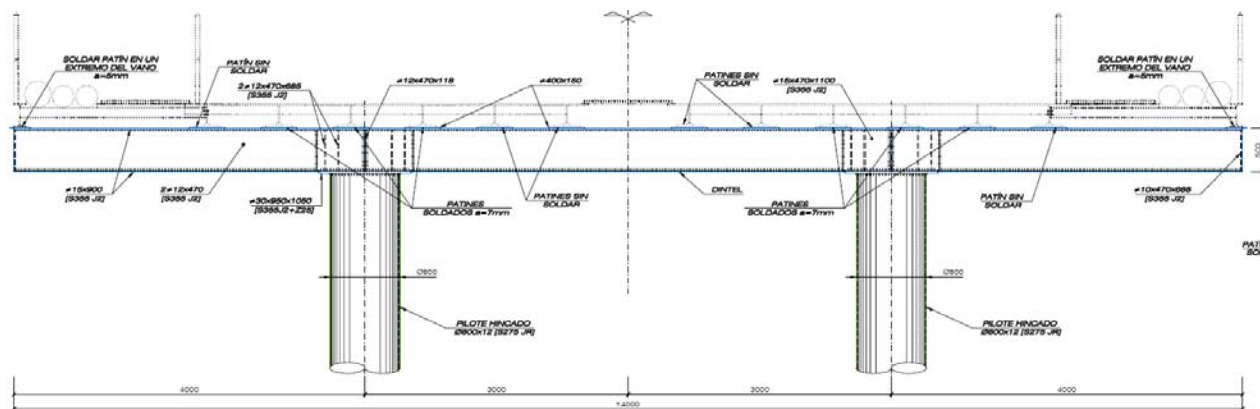


Figura 4. Sección transversal de pila tipo del pantalán

2.2. Construcción del pantalán

La primera fase de la construcción del pantalán comprende la hinca de los pilotes metálicos. En los casos en que existía el calado suficiente dicha hinca se ha realizado desde pontona, en el resto de las ocasiones se han hincado avanzando sobre el propio pantalán.

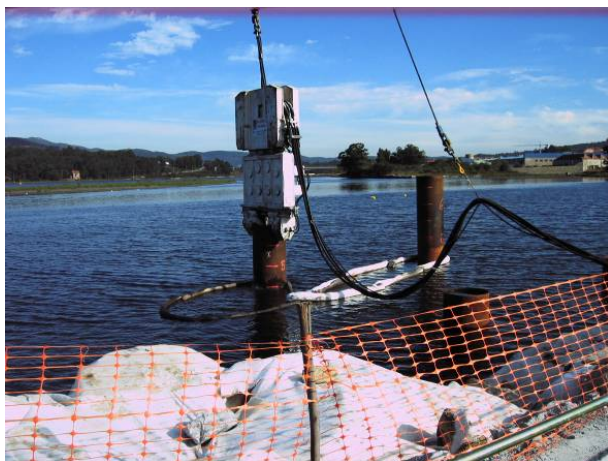


Figura 5 a y b. Hincas de pilotes en avance, con grúa mediante vibrador y martillo

Para hincar los pilotes desde pontona se ha empleado una maza de 2000 kp de peso y una altura de caída de 3,5 m. En los pilotes hincados en avance se ha utilizado primeramente un vibrador para luego terminar con una maza de 3700 kp de peso y 1,5 m de altura de caída. La diferencia en los medios utilizados ha dado lugar al cálculo de dos curvas de hinca distintas aunque al final se ha tomado el criterio más restrictivo de los dos. Con esta exigencia se ha garantizado que la punta de los pilotes está apoyada claramente en roca.

Una vez hincados los 4 pilotes que soportan cada uno de los vanos isostáticos, se colocaron los dinteles y los dos semitableros que se corresponden con los carriles de rodadura. Con la plataforma básica dispuesta, la grúa avanzaba para hincar la pareja de pilotes siguiente. Una vez se proseguía hacia adelante, se completaba la anchura del tablero con la mediana, aceras peatonales y las plataformas de paso para las conducciones (Fig. 6).



Figura 6 a y b. Imágenes del pantalán finalizado

3. Obras auxiliares: Recintos provisionales

En cada una de las pilas se ha construido un recinto provisional con el objetivo inicial de servir de elemento que permita ejecutar las cimentaciones bajo el nivel del agua. Posteriormente se emplean como plataforma de trabajo para ejecutar las pilas e izado de dovelas.

Manteniendo el espíritu de máximo respeto por el entorno de la ría que rige la ejecución de la obra y buscando minimizar al máximo la afección a dicho entorno, se planteó una modificación del proyecto. En este caso, se ha sustituido la escollera que servía como contención exterior por un recinto de tablestacas, facilitando el desmontaje de la isla.

Una vez decidido que las contenciones exterior e interior fuesen de tablestacas, se optó por adaptar la forma de los recintos de rectangular a circular, lo cual permitió que los arriostramientos fuesen circulares dejando diáfana la zona de trabajo durante la excavación. El esquema estructural del sistema de contención está compuesto por: tablestacas trabajando a flexión en un plano perpendicular a ellas mismas y arriostramientos circulares trabajando por forma.

3.1. Descripción de los recintos provisionales

Los tres recintos están formados por un doble anillo, concéntrico, de tablestacas metálicas separadas 10 m entre sí. En la siguiente tabla (Tabla 1) se resumen las magnitudes fundamentales de cada uno de los anillos de tablestacas.

Pila	Anillo exterior			Anillo interior		
	Diámetro (m)	Perfil	Longitud media (m)	Diámetro (m)	Perfil	Longitud media (m)
5	62,0	AZ18	12	42,0	AZ24-700	19
6	68,0	AZ26	17	48,0	AZ37-700	17
7	65,0	AZ36-700	12	45,0	AZ41-700	12

Tabla 1. Resumen de magnitudes de las tablestacas

En las pilas 6 y 7 todas las tablestacas, tanto las exteriores como las interiores, se han hincado hasta la roca. En la pila 5 el sustrato rocoso se encuentra a mayor profundidad y con una capa de suelos densos (gravas y jabre) por encima de él, por lo que en las tablestacas exteriores no se ha buscado alcanzar la roca y en las interiores no se ha conseguido en todos los casos.

Las profundidades de excavación máximas en cada pila son de 8 m en la pila 5, de 10,5 m en la pila 6 y de 13 m en la pila 7. Además, en pleamar máxima la cota del nivel de la ría se sitúa a la +2,54 m, muy próxima a la cota de plataforma de los recintos que es la +3,0 m. Estas magnitudes dan idea de la sollicitación de los recintos interiores, de ahí la importante magnitud de la contención necesaria. A modo de ejemplo se incluye un croquis del recinto de la pila 7 (Fig. 7).

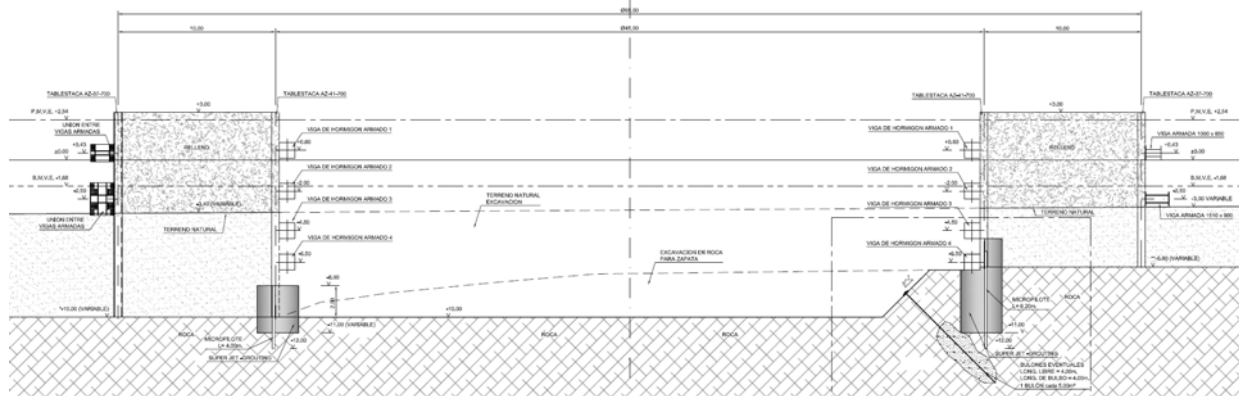


Figura 7. Croquis recinto de tablestacas de la pila 7

Los anillos exteriores se arriostran mediante unos zunchos metálicos que trabajan a tracción. Estos zunchos de geometría circular se componen de vigas armadas, en tramos de 24 m de longitud; la sección está formada por dos perfiles en T de acero S-355. En las pilas 5 y 6 se coloca un zuncho en la parte superior de las tablestacas y en pila 7 han sido necesarios dos zunchos. Las dimensiones máximas de la sección de estos zunchos son de 1,5 x 0,9 m y las mínimas de 0,99 x 0,67 m. Las uniones entre tramos se realizan con barras roscadas, de alta resistencia y acero S 670.

Los arriostramientos de las tablestacas interiores, que trabajan a compresión, son anillos de hormigón armado HA-40 y sección rectangular de 1,0 x 1,0 m. En las pilas 5 y 6 son necesarios tres niveles de arriostramiento mientras que en la pila 7 han hecho falta cuatro.

Adicionalmente, en todos los recintos se ha ejecutado una doble corona de columnas de suelo tratado mediante superjet-grouting que, en todos los casos, se utiliza como barrera hidráulica para disminuir las filtraciones, sellando los contactos entre la roca y las tablestacas. Además, en la pila 6 cumple una misión estructural ya que se aprovecha la capacidad resistente de su forma circular para colaborar a sustentar lateralmente la punta de las tablestacas.

En la pila 7, se necesitaba más resistencia para contener las puntas de las tablestacas ya que se descalzaban durante la excavación, por lo que se ha ejecutado un micropilote en el pie de cada una de las ondas de tablestacas para resistir este esfuerzo cortante. Estos micropilotes se ejecutaron a través de las columnas de suelo tratado con superjet-grouting, que en este caso sirven como elemento de transmisión de cargas entre las tablestacas y los micropilotes además de cómo barrera hidráulica. Los micropilotes se han armado con 3 barras tipo Gewi, de 50 mm de diámetro.

La longitud de las columnas tratadas y de los micropilotes ejecutados es tal que solapan 2 m con las tablestacas, en su zona inferior, y se empotran 1 m en el sustrato granítico competente. Las columnas de supejet han llegado a alcanzar diámetros de aproximadamente 1,80 m en el aluvial.

3.2. Construcción de los recintos provisionales

La primera de las tareas realizadas es la hincada de las tablestacas exteriores desde pontona. Para ello se ha utilizado un vibrador de alta potencia (Fig 8 a). Una vez hincado el recinto de tablestacas exteriores se procedía a colocar el zuncho o los zunchos exteriores (Fig 8 b), salvo en la pila 5 en la que el diseño permitía instalarlo en fases posteriores. Las vigas que conforman los zunchos tienen una longitud de 24 m.

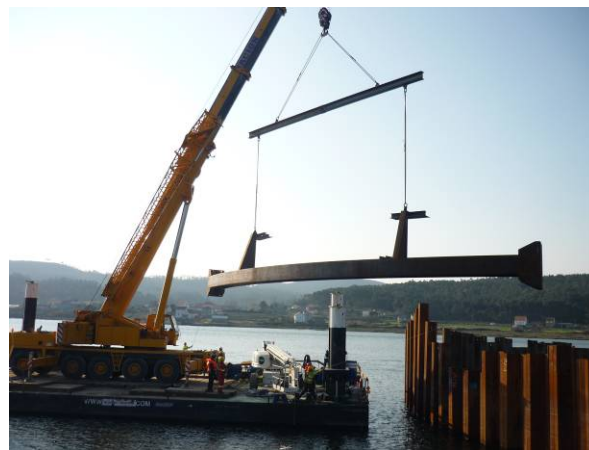


Figura 8 a y b. Hincado de tablestacas y colocación de zunchos

Posteriormente se ha procedido al relleno del recinto vertiendo el material desde camión, que accedía a los recintos por el pantalán. Este procedimiento de puesta en carga no simétrica se había estudiado previamente no resultando válido en pila 7. Para subsanar este inconveniente se añadió un nuevo vano al pantalán de acceso a la pila que penetraba dentro del recinto de tal forma que se comenzaba a verter prácticamente desde el centro pudiendo extender el material hacia los bordes guardando la simetría. Una vez acabada esta fase se retiró el vano adicional. Hay que destacar que antes de rellenar se había forrado con un geotextil las paredes interiores de las tablestacas para minimizar al máximo los posibles escapes de finos hacia la ría (Fig 9 a).

Acabado el relleno de los recintos se continuaron las operaciones desde la nueva plataforma generada. Las tablestacas interiores se hincaron, también con vibrador, desde esta superficie (Fig 9 b). Una vez ejecutado el anillo interior de tablestacas se ha procedido a realizar el tratamiento de superjet-grouting descrito, también desde superficie.



Figura 9 a y b. Relleno del recinto e hincado de tablestacas interiores

Tras la espera necesaria para que endureciese el tratamiento de superjet se ejecutaron los micropilotes (solamente en la pila 7), también desde la plataforma a la cota +3,0.

Antes de comenzar la excavación en los recintos se realizaron unas pruebas de bombeo en cada uno para evaluar el caudal a achicar en cada fase de excavación y los niveles de control piezométrico a establecer. A raíz de estas pruebas se calibraron unos modelos numéricos de los que se extrajo el caudal esperable a achicar en cada fase, los niveles que se debían mantener en los piezómetros de control y los umbrales de alarma previstos para las posibles desviaciones de las mediciones sobre las teóricas. Durante todas las fases de excavación se mantuvo un control continuo de los caudales bombeados y de los niveles piezométricos, con resultados satisfactorios.

Por último, se ejecutó la excavación interior según las fases previstas realizando los arriostramientos interiores correspondientes en cada escalón (Fig 10 a). Una vez ejecutadas las cimentaciones se rellenó el recinto demoliendo los zunchos siguiendo un proceso inverso.



Figura 10 a y b. Fase intermedia de excavación y recinto de pila 5 en máxima excavación

4. Cimentaciones de las pilas de la ría (pilas 5,6 y 7)

La singularidad de las cimentaciones del Viaducto propiamente dichas viene dada por su magnitud acorde con los vanos del tablero a sustentar. La cimentación de las pilas 5 y 6 es pilotada mientras que la de la pila 7 es directa.

4.1. Descripción de las cimentaciones de las pilas de la ría (pilas 5,6 y 7)

4.1.1. Cimentaciones pilotadas (pilas 5 y 6)

La cimentación de la pila 5 consta de un encepado de 42 pilotes y el de la pila 6 de 56. Todos los pilotes son de 1,5 m de diámetro y tienen un empotramiento de 1,5 m en el sustrato granítico de grado de meteorización I (según la escala ISRM). Sirva de ejemplo el perfil geotécnico de pila 6 (Fig. 11a).

El encepado de la pila 5 tiene unas dimensiones de 30x24x4,5 m y el de pila 6 de 34,5x30,5x5 m. La cota inferior del encepado es la -5,0 m para la pila P-5 y de -7,5 m para la pila 6. El hormigón del encepado es HA-35 a nivel general y HA-70 en el entronque con el cáliz de la pila.

Los pilotes son de hormigón HA-35 y están diseñados para resistir un tope estructural de 8 MPa, en las secciones del empotramiento rocoso, en las que el diámetro efectivo es de 1,4 m.

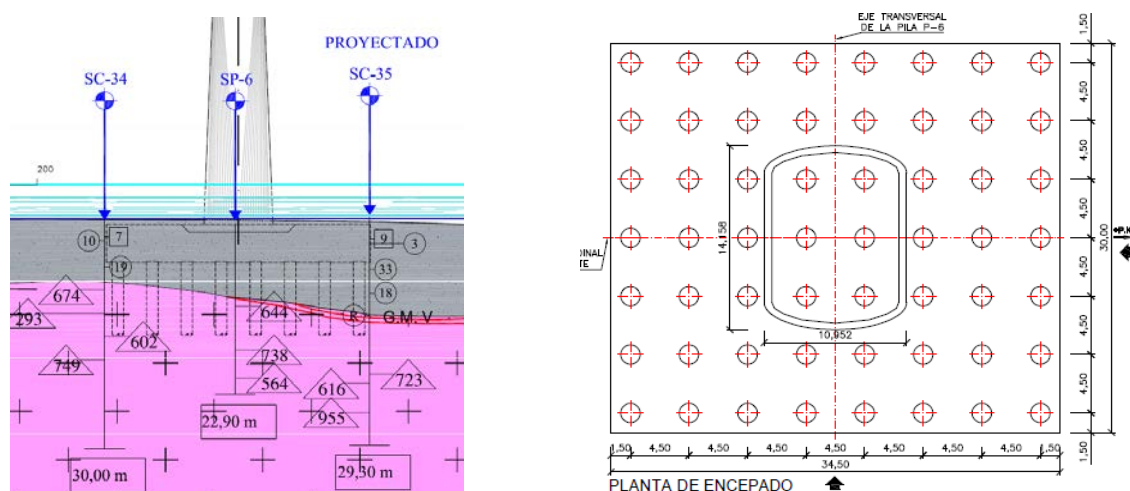


Figura 11 a y b. Perfil geotécnico y planta de pilotes de pila 6

4.1.2. Cimentación directa (pila 7)

La cimentación de la pila 7 es de tipo directo con una zapata de 27x 24x5,25 m. La cota de la cara inferior de la cimentación es la -8,6 m. Se apoya sobre el sustrato granítico de grado de alteración menor o igual a III (ISRM) mediante un relleno de hormigón pobre HM-15 de altura variable entre 0,4 y 1,4 m. Transmite una tensión cobaricéntrica máxima de 7,6 kp/cm², con una tensión de punta máxima de 10,0 kp/cm².

4.2. Construcción de las cimentaciones de las pilas de la ría (pilas 5,6 y 7)

4.2.1. Construcción de las cimentaciones pilotadas (pilas 5 y 6)

En ambos casos los pilotes se ha ejecutado desde la superficie del recinto a cota +3,0 m. Se ha perforado al amparo de una camisa recuperable hasta llegar a la roca y se ha descartado la utilización de lodos para evitar posibles fugas en la ría. La camisa se ha hincado bien hasta el contacto con el sustrato rocoso, más o menos alterado, o hasta el jabre de compacidad muy densa en los casos en que este ha aparecido.

Las perforadoras empleadas tienen un par comprendido entre 250 kNxm y 360 kNxm. Dada la resistencia de la roca en el empotramiento, con resultados en los ensayos de resistencia a compresión simple medios de 60 MPa y máximos de hasta 100 MPa, los rendimientos obtenidos en la perforación han sido muy bajos. En cualquier caso, para garantizar el correcto empotramiento de los pilotes se ha decidido exigir rendimientos del orden de solamente 10 a 15 cm/h. Los útiles de corte empleados en el granito fueron la helice de widia de manera general, el carotieri en los puntos más resistentes y el bucket para la limpieza.

Tras la ejecución de los pilotes y antes de comenzar la excavación de los recintos se ha realizado un control de la integridad estructural de todos los pilotes mediante el método de la transparencia sónica y del estado de la punta con sondeos a través de los propios tubos sónicos. Para poder ejecutar estos controles se habían dejado sujetos a la ferralla de los pilotes 4 tubos metálicos de 100 mm de diámetro (Fig 12 b). En los pocos casos en que se apreciaron anomalías en el fuste se trataron con el procedimiento habitual de lavado e inyección a través de 3 nuevos taladros en el fuste del pilote. En los casos en los que se ha encontrado suciedad en la punta se ha tratado bien lavando e inyectando a través de los 4 tubos sónicos o ejecutando dos columnas de jet-grouting

desde tubos diametralmente opuestos. Este control tan exhaustivo no es habitual, si bien dada la magnitud de la obra y la solicitud a la que están sometidos los pilotes se ha llevado a cabo en el 100% de los pilotes.

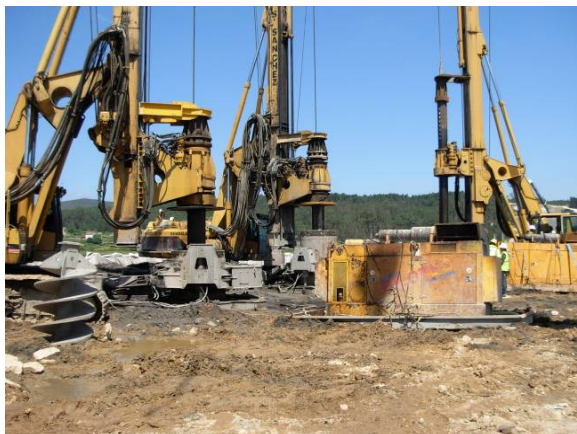


Figura 12 a y b. Tres pilotadoras trabajando en pila 6 y armadura con tubos sónicos.

Una vez acabadas las tareas de control se ha procedido a la excavación de los recintos hasta su cota máxima y al descabezado de los pilotes (Fig. 13 a). Finalizada esta tarea se ha procedido al montaje de la ferralla (Fig 13 b) y hormigonado del encepado.



Figura 13 a y b. Descabezado de pilotes y montaje de la ferralla del encepado.

Dadas las dimensiones de los encepados y a sus singularidades estructurales el hormigonado de los mismos ha sido una tarea de notable relevancia. El hormigonado ha sido continuo durante más de 50 h y se han utilizado varios tipos de hormigones dependiendo de la zona del encepado. En los 0,7 m inferiores se ha empleado HA-35 autocompactable para cambiarse posteriormente a HA-35 hasta alcanzar el último metro del encepado. En este último metro se encuentra el entronque del encepado con el cáliz de la pila (en la zona central), en el que se utiliza HA-70. Por este motivo, delimitando el perfil del cáliz se ha colocado un nervometal y se ha hormigonado con una bomba por cada lado, con un tipo de hormigón distinto cada una (HA-35 y HA-70), de manera simultánea y controlando el desnivel entre ambos lados.

4.2.2. Construcción de la cimentación de pila 7 (directa)

La complejidad en este caso viene marcada por la construcción del recinto provisional ya explicado. Una vez descubierto el techo de la roca sana se ha tenido especial cuidado en la limpieza y en desbastar posibles escalones o resaltos en busca de transiciones suaves.

Una vez hecho esto se ha ejecutado un relleno con hormigón pobre hasta alcanzar la cota inferior de la zapata de proyecto (Fig.14).



Figura 14. Recinto de pila 7 en fase de máxima excavación

5. Principales participantes en el proyecto y obra

Propiedad: Dirección General de Infraestructuras Ferroviarias. Ministerio de Fomento.

Dirección de Obra: Dirección General de Infraestructuras Ferroviarias. Ministerio de Fomento.

Asesoría especializada en estructuras a la Dirección de Obra: IDEAM SA.

Asesoría especializada en geotecnia a la Dirección de Obra: Prof. D.José M^a Rodríguez Ortíz

Asistencia Técnica a la Dirección de Obra: Typsa.

Proyecto de la estructura: IDEAM SA

Constructora: UTE río Ulla. Dragados – Tecsa.

Proyecto del pantalán: Aleph Consultores.

Proyecto de los recintos: Alatec Ingenieros Consultores.

Asistencia Técnica de la Constructora: Fhecor y Servicios Técnicos de Dragados.

Subcontratas de cimentaciones: Cimentalia, Geocisa, Rodio-Kronsa, Pilotes Posada, Amilibia.

Estudios geotécnicos complementarios: GOC SA, Alfa Instant SA e Inge SL.