

Título: REFUERZO DE FUNDACIONES

Autor:

Juan Manuel Fernandez Vincent, Pilotes Terratest S.A.

Ingeniero Civil, Gerente Técnico Regional
Alonso de Córdova 5151, Santiago, Chile
E-mail: jmfernandez @terratest.cl
Tel + 56 2 2437 2900

Línea Temática: Influencia del Diseño y Construcción en el Mantenimiento Vial

Categoría: Trabajos Prácticos

12° Congreso Internacional PROVIAL

08 al 12 de Agosto de 2016, Valparaíso

RESUMEN

El refuerzo de fundaciones tiene por finalidad restablecer las condiciones de seguridad y servicio de una estructura. Se presentan en este artículo ejemplos de refuerzos de fundaciones mediante las tecnologías de micropilotes inyectados, jet grouting y pilotes perforados de gran diámetro en casos singulares. De esta forma se pretende llamar la atención de los profesionales sobre este tipo de aplicaciones que pueden ayudar a analizar el refuerzo de una fundación.

INTRODUCCIÓN

El refuerzo de fundaciones tiene por finalidad restablecer las condiciones de seguridad y serviciabilidad de una estructura (estados límites últimos y de servicio) para que pueda cumplir con el fin que se concibió.

Las causas generales que pueden dar lugar al refuerzo de fundaciones pueden clasificarse en cuatro grandes grupos:

- 1) Las que se derivan de un defecto del proyecto.
- 2) Las originadas por un defecto de ejecución.
- 3) Las derivadas de una variación en las condiciones del entorno de la estructura.
- 4) Las motivadas por variaciones en las hipótesis con arreglo a las que se proyectó originalmente la estructura (por ej. cambio de normativa)

Para el planteo del recalce o refuerzo de una cimentación se deben considerar factores como estado de la estructura, dificultades de ejecución o acceso de maquinaria, perfil geotécnico, urgencia de la actuación, mecanismo de transferencia de carga y/o conexión, plazo, precio, etc.

Aquí presentaremos tres técnicas del ámbito de las fundaciones especiales que se pueden emplear para lograr el refuerzo y rehabilitación de fundaciones.

MICROPILOTES INYECTADOS

Los micropilotes son pilotes de pequeño diámetro (menor de 250 mm) perforados e inyectados, que tienen una alta capacidad de carga debido a la alta fricción que pueden desarrollar debido a las técnicas de inyección de lechada de cemento que se emplean.

La mayor ventaja de los micropilotes es su pequeño diámetro de perforación. Lo cual permite su construcción con equipos menores y en todas las condiciones de suelo.

Son ideales para fundaciones con dificultad de accesos, con restricción de altura, pobres condiciones del suelo, o entornos sensitivos a vibraciones o ruidos, construcciones sensitivas a asentamientos o cerca de otras existentes y para refuerzo/rehabilitación de estructuras.

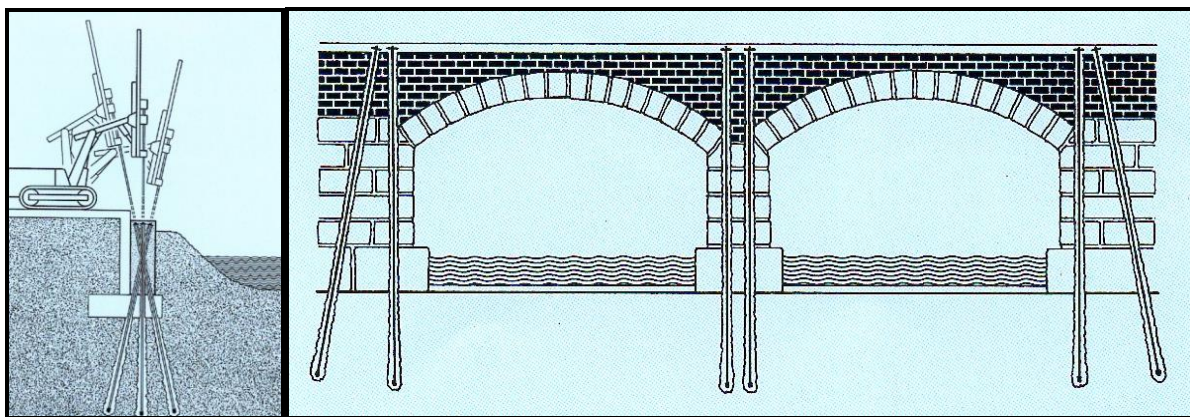


FIGURA 1 Refuerzo de fundaciones con micropilotes (catalogo Ischebeck)

La capacidad de carga interna del micropilote está dada por la falla de los materiales con los cuales el micropilote está constituido. En el caso de los micropilotes Titan esta está dada por

la capacidad de carga de la barra de acero. La capacidad de carga externa del micropilote está dada por la falla del suelo que soporta al micropilote. En este punto lo que se debe diseñar es la longitud del bulbo del micropilote, adecuada para transferir la carga desde el elemento estructural al suelo.

TABLA 1 Características técnicas de los micropilotes

Tipo de barra	TITAN 30/11	TITAN 40/16	TITAN 52/26	TITAN 73/53	TITAN 103/78
Diámetro exterior - interior nominal [mm]	30 - 11	40 - 16	52 - 26	73 - 53	103 - 78
Carga última [kN]	320	660	929	1160	1950
Carga de fluencia [kN]	260	525	730	970	1570
Tensión $T_{0,2}$ de fluencia [N/mm ²]	580	590	550	590	500
Area de la sección [mm ²]	446	879	1337	1631	3146
Momento de Inercia [cm ⁴]	2,24	8,98	25,6	78,5	317
Peso [kg/ml]	3,5	6,9	10,5	12,8	24,7

En el caso de los refuerzos, se debe prestar especial atención a la conexión de los micropilotes con la estructura, ya que habitualmente es la que condiciona el dimensionamiento del micropilote.

Puente Llolleo – Refuerzo estribo

En el caso del puente Llolleo, su fundación se ejecuto mediante pilotes perforados in situ, y luego de su puesta en servicio, se detectaron asentos en su estribo derecho que no eran compatibles con las fundaciones profundas ejecutadas. Luego de realizar una investigación geotécnica complementaria se detecto que el estrato resistente se encontraba a una cota inferior a la punta de los pilotes ejecutados. Se diseñaron micropilotes Ischebeck Titan 103/78 para su refuerzo.

En el proyecto se ejecutaron ensayos a tracción de los micropilotes para verificar la aptitud de su longitud y asimismo se realizaron ensayos de su conexión a la fundación del estribo.

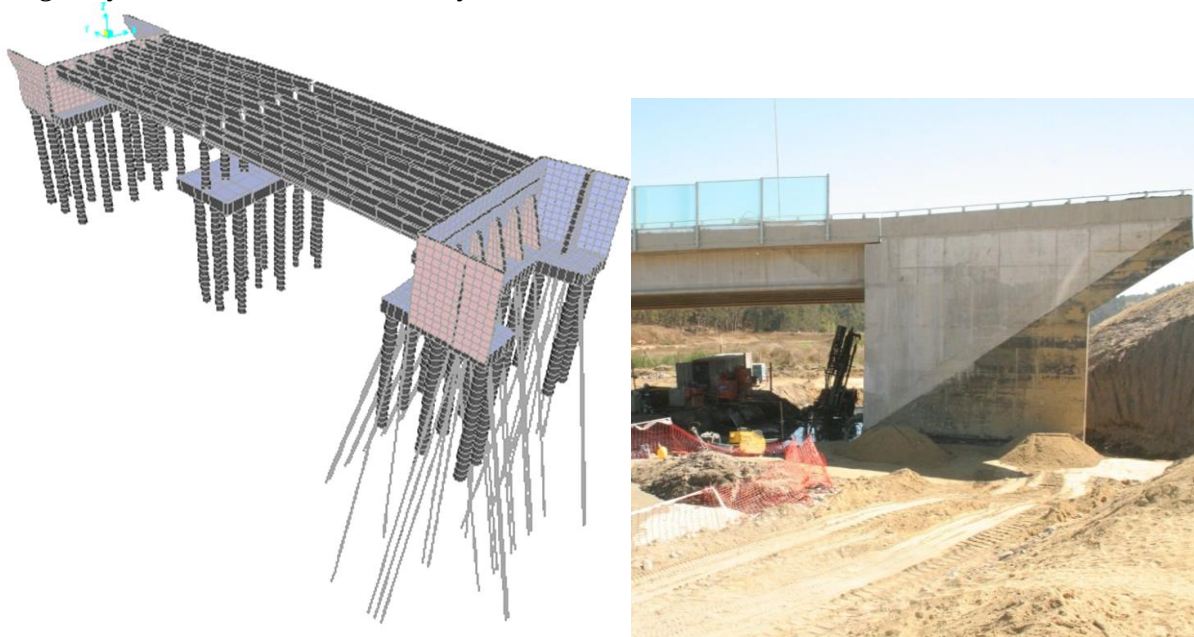


FIGURA 2 Refuerzo del estribo con micropilotes Ischebeck Titan 103/78.

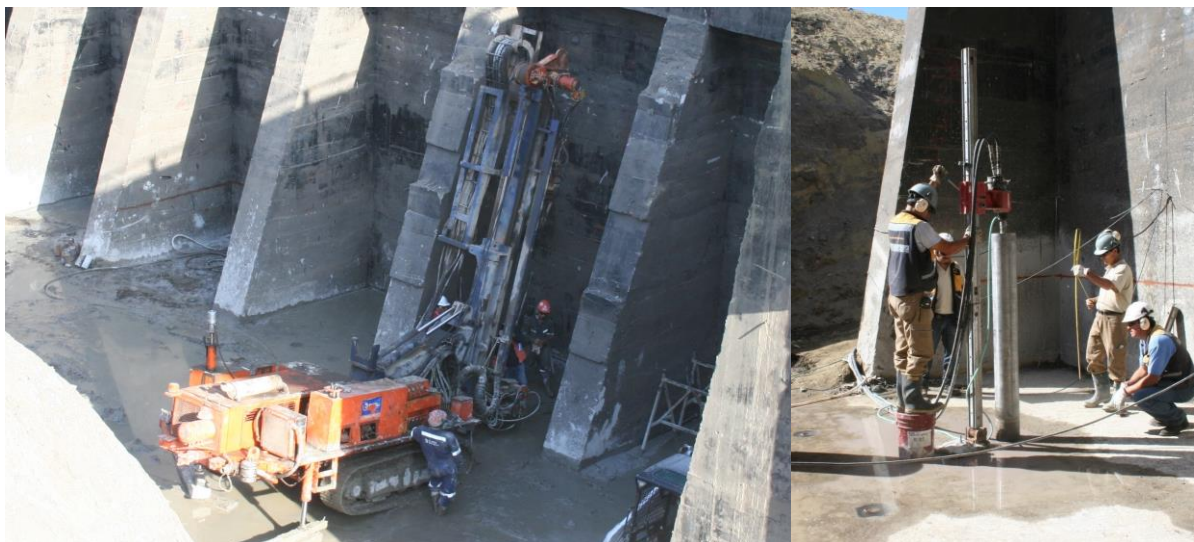


FIGURA 3 Ejecución de perforaciones con diamantina y de micropilotes autoperforantes.



FIGURA 4 Ensayo de carga a tracción de los micropilotes y su conexión.

Puente Maipo - Refuerzo Cepa 8

Una crecida del Rio Maipo produjo la erosión y socavación del terreno de fundación de la cepa 8, lo cual hizo que la estructura girara levemente. Luego de evaluar la situación de la cepa, se decidió reforzarla con micropilotes, de forma de aumentar la seguridad de la misma y prevenir eventuales desplazamientos ulteriores.

Los micropilotes cosieron la estructura de la cepa para luego penetrar y transferir la carga en profundidad en el sustrato coluvial. Para la ejecución de las tareas, se debió perforar el estribo hasta su sello de fundación previamente, para posteriormente ejecutar el micropilote del tipo autoperforante Titan. Dado este desarrollo de longitud de la barra en la cepa, la conexión estaba garantizada por esta gran longitud de transferencia.



FIGURA 5 Ejecución de micropilotes sobre la cepa 8.

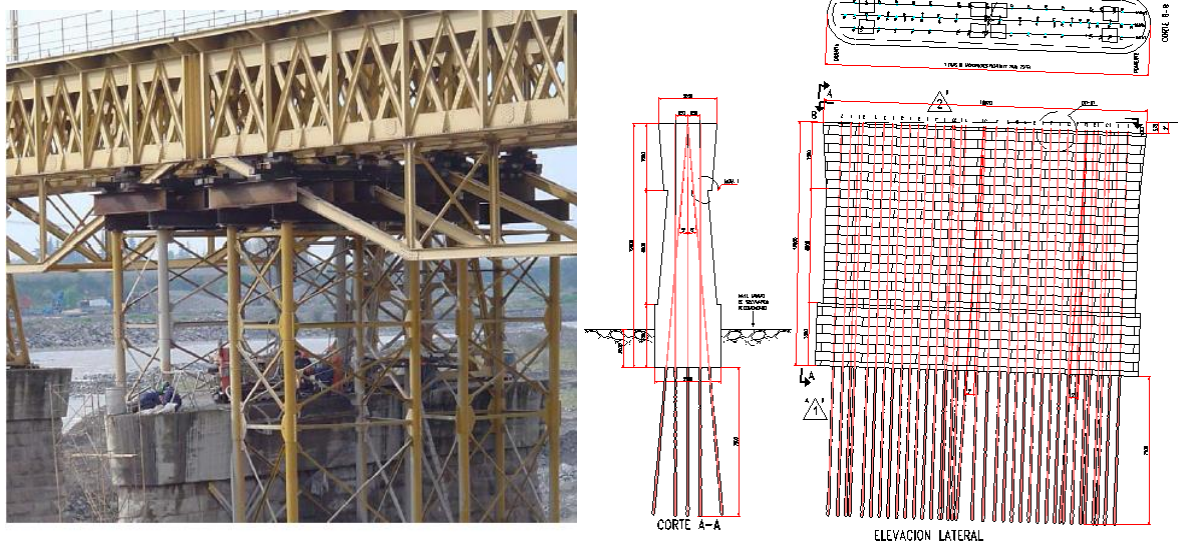


FIGURA 6 Estructura de recalce del tablero y refuerzo de micropilotes ejecutado.

Puente Tinguiririca - Refuerzo Estribo

El refuerzo del estribo del Puente ferroviario Tinguiririca es otro claro ejemplo de una fundación superficial (que originalmente se pensaba que poseía una cota de fundación más profunda), que sufre los efectos de la socavación y giro de la estructura.

Dado que previamente a la ejecución de los micropilotes se debió perforar el estribo a rotopercusión, se pudo determinar el sello de fundación actual aproximadamente, para seguidamente ejecutar los micropilotes autoperforantes Ischebeck Titan 73/53 de 9,0 m de largo en el sustrato gravoso. En este trabajo se debió trabajar en un horario restringido asociado a la operación de las vías férrea.



FIGURA 7 Refuerzo con micropilotes del estribo del Puente Tinguiririca

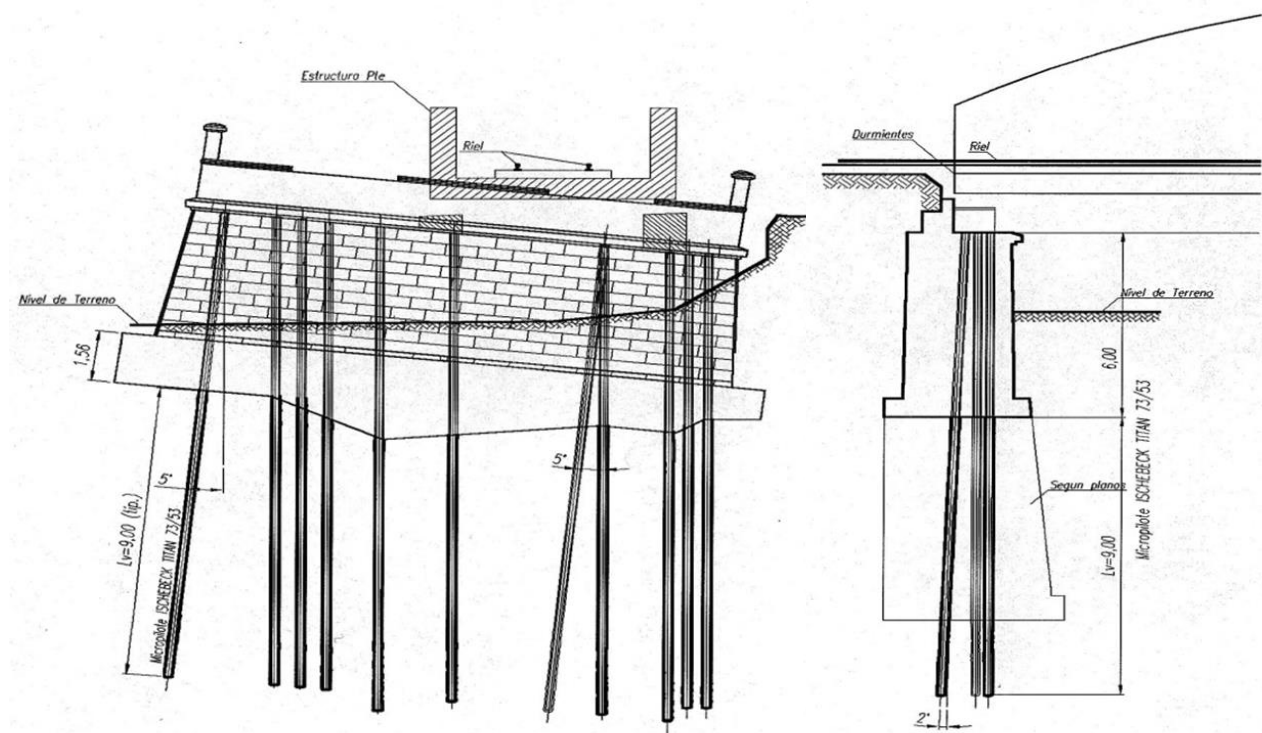


FIGURA 8 Elevación y corte del Estribo perforado y estabilizado con micropilotes.

JET GROUTING

La técnica del Jet Grouting constituye un método de mejora del terreno en el cual se inyecta un fluido mediante el empleo de una alta energía que rompe la estructura del terreno para luego mezclarse con el mismo y formar un suelo mejorado. La adición y mezcla del cemento como lechada o grout, genera un cuerpo de suelo-cemento de mejores propiedades de resistencia mecánica y propiedades hidráulicas que las del suelo original.

Hay tres sistemas tradicionales de jet grouting (I, II y III) y hacen referencia a la cantidad de fluidos que emplea cada técnica. La selección del sistema mas apropiado es una función del suelo a tratar, la aplicación y las propiedades finales deseadas del tratamiento.

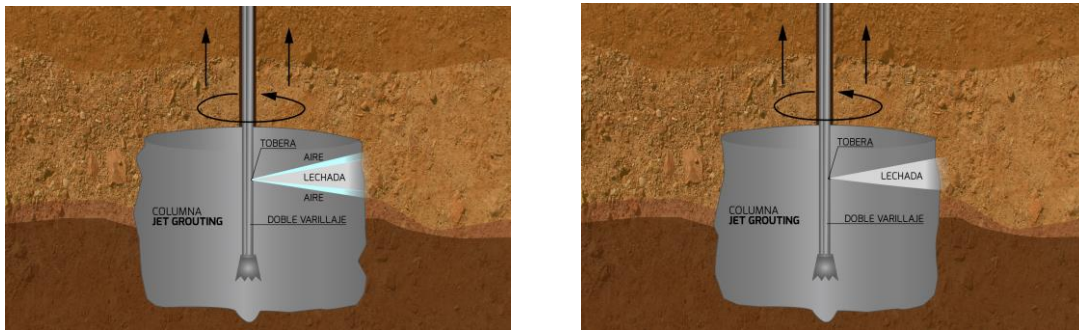


FIGURA 9 Ejemplos de sistemas de Jet I (monofluído) y jet II (doble fluido).

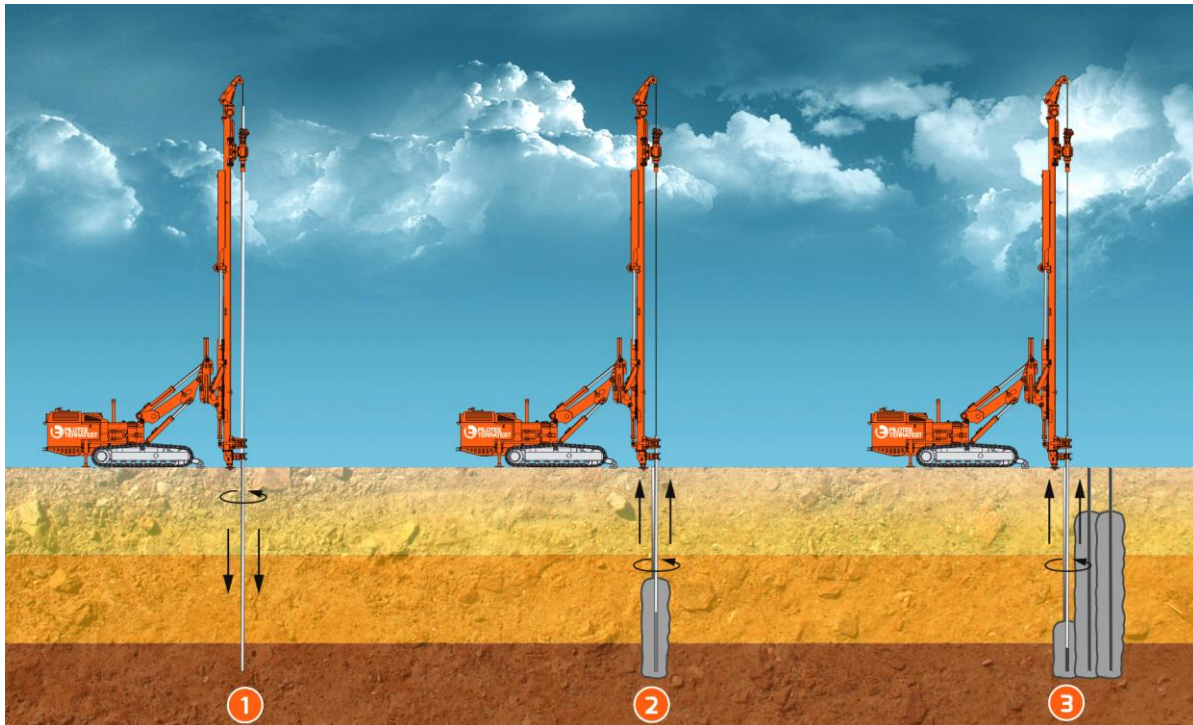


FIGURA 10 Secuencia de ejecución del jet grouting

El procedimiento de ejecución comienza con la realización de una perforación en el terreno hasta la profundidad requerida, que permite que el útil de inyección (monitor) acceda al lugar deseado del

tratamiento. A continuación se inicia la inyección para poder formar el cuerpo de suelo tratado mediante el desplazamiento vertical del monitor y aplicando simultáneamente rotación. El jet rompe el terreno desagregando y erosionando el terreno sustituyendo parcialmente el material erosionado y mezclándose. Se levanta la sarta de perforación hasta completar el tratamiento deseado.

Las instalaciones necesarias habitualmente para ejecutar el jet grouting consisten en: silos de cemento, plantas coloidales (automatizadas), bombas hidráulicas, perforadora hidráulica, varillaje, mangueras de presión y herramientas adecuadas de perforación como de inyección.



FIGURA 11 Equipamiento de trabajos de jet grouting.



FIGURA 12 Campo de pruebas de columnas con ajuste de parámetros, y prueba con agua del monitor

Los procedimientos de control pueden encontrarse en la norma europea UNE 12716, los mismos son de supervisión, ejecución y ensayos del resultado obtenido. Es habitual la ejecución de un campo de pruebas donde se prueban diferentes parámetros de la ejecución del tratamiento y se decide el más adecuado para los trabajos a realizar.

El jet grouting es una opción de tratamiento empleada para el refuerzo y mejora de fundaciones superficiales y profundas existentes. En el caso de las fundaciones superficiales el jet grouting permite realizar un tratamiento profundo en el perímetro de los mismos que evite su socavación y sumando la ejecución de otro tratamiento en su interior, transferir al carga en profundidad. En el caso de fundaciones profundas, existen antecedentes de obras donde se tratado con jet grouting el fuste y/o la punta de los pilotes, de forma de mejorar su capacidad portante.

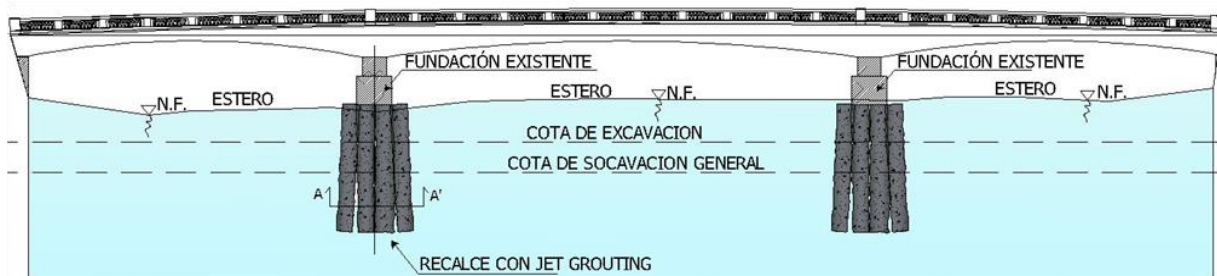


FIGURA 13 Ejemplo de propuesta de refuerzo de fundaciones de Puente



FIGURA 14 Tratamiento de jet en marcha

PILOTES PERFORADOS DE GRAN DIAMETRO EN CONDICIONES ESPECIALES

Aquí presentamos la ejecución de pilotes perforados in situ de gran diámetro en condiciones donde se debe acondicionar el equipamiento para cumplir con las restricciones del entorno.

Puente Juan Pablo II

Producto de sismo severo que afectó las fundaciones del Puente Juan Pablo II sobre el río Bio Bio en Concepción, hubo que reforzar la fundaciones del mismo en varias de sus cepas. Las mismas habían descensos que podían llegar al metro de magnitud e hizo suponer una posible licuación en el entorno de las mismas.

Los pilotes de refuerzo se ejecutaron desde el mismo tablero del puente con equipos rotativos y grúas adecuadamente acondicionados a este fin.

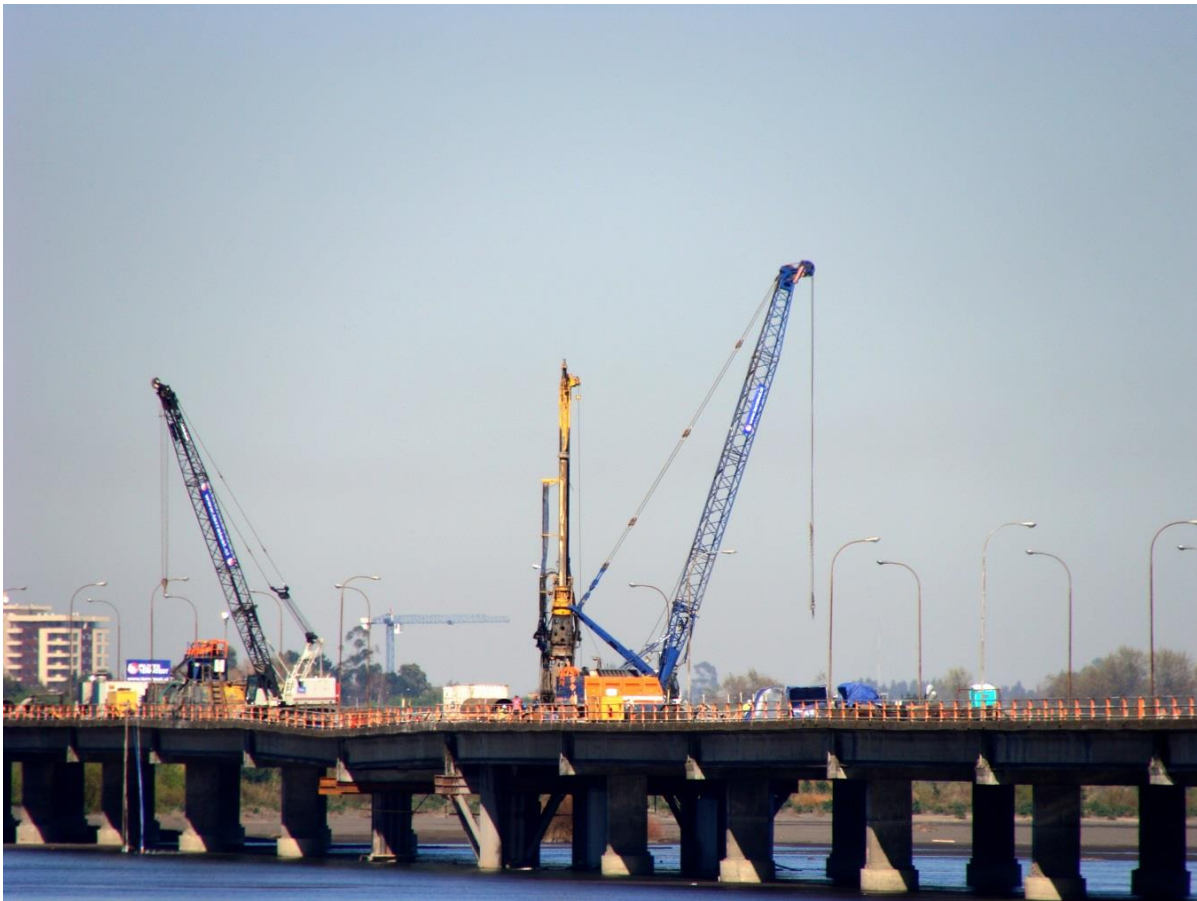


FIGURA 15 Equipos de pilotaje reforzando las fundaciones del Puente Juan Pablo II

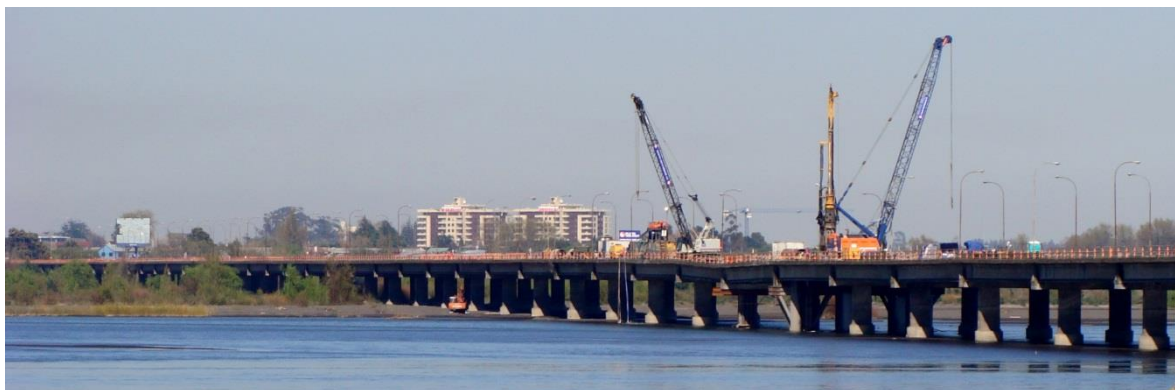


FIGURA 16 Equipos de pilotaje reforzando las fundaciones del Puente Juan Pablo II

Puente Mallín

Por ejemplo podemos mencionar la ejecución de pilotes desde el puente existente en Maullín mediante un equipo rotativo. Los pilotes de $\phi 1500\text{mm}$ de 16 metros ejecutados con camisa recuperable permitieron restituir la capacidad portante requerida de las fundaciones.



FIGURA 17 Puente Maullín (8 pilotes $\phi 1500\text{mm}$ de 16 metros).

Puente Maipo

También mencionamos la ejecución de pilotes encamisados en suelos aluviales en el puente Maipo, donde se empleo una pluma de galibo reducido para permitir la operación la grúa con la cuchara bivalva en el entorno del tablero del puente. En este caso la osciladora hidráulica permitía la instalación y extracción del encamisado metálico temporal.



FIGURA 18 Puente Maipo (Cepas 2 -10 72 Pilotes ϕ 1500mm de 16-18metros).

CONCLUSIONES

En este artículo se han presentado diversos ejemplos de refuerzo de fundaciones con técnicas de las fundaciones especiales como son los micropilotes inyectados, el jet grouting y casos especiales de pilotes de gran diámetro.

Esperamos que este artículo atraiga el interés de los profesionales involucrados en el diseño y mantención de estas estructuras para que contemplen dentro de sus herramientas de trabajo las técnicas aquí presentadas.

REFERENCIAS

1. Fernandez Vincent, J.M. *Micropilotes inyectados para la fundación de puentes*, Provia 2000, La Serena.
2. Ischebeck Titan, *Micropilotes Inyectados*, Catalogo, 2015.
3. Fernandez Vincent, J.M.. *Mejora del terreno mediante Jet y Superjet Grouting*. VIII Congreso chileno de Ingeniería Geotécnica, Santiago, 2014
4. Pilotes Terratest, *Micropilotes, Jet Grouting*, Catalogos, 2015.