

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**EJECUCIÓN DE MURO PANTALLA DE MICROPILOTES
PARA LA CONTENCIÓN DE LA VÍA EVITAMIENTO PARA EL
PROYECTO VÍA PARQUE RÍMAC**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

THOMAS IVÁN SÁNCHEZ ALFARO

Lima- Perú

2014

ÍNDICE

RESUMEN	3
LISTA DE CUADROS	4
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	7
INTRODUCCIÓN	8
CAPITULO I: ANTECEDENTES	9
1.1. HISTORIA DE LOS MICROPILOTES	9
1.2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES	10
1.3. TIPOS DE MICROPILOTES	11
1.3.1. Según el tipo de armadura	11
1.3.2. Según el tipo de inyección	12
CAPITULO II: MICROPILOTES COMO MURO DE CONTENCIÓN	14
2.1. APLICACIONES DE LOS MICROPILOTES	14
2.1.1. Como soporte estructural	14
2.1.2. Como reforzamiento "In Situ"	16
2.2. MUROS DE CONTENCIÓN	17
2.2.1. Funcionalidad	17
2.2.2. Verificaciones típicas en el cálculo	17
2.3. MICROPILOTES COMO MURO DE CONTENCIÓN PARA LA VÍA EVITAMIENTO.	19
2.3.1. Proceso constructivo.	20

CAPITULO III: PROCESO DE EJECUCIÓN DE MICROPILOTES	22
3.1. RECURSOS	22
3.1.1. Equipos y Herramientas	22
3.1.2. Materiales	23
3.2. IMPLANTACIÓN Y POSICIONAMIENTO	23
3.3. PERFORACIÓN Y ENCAMISADO DEL MICROPILOTE	24
3.4. MONTAJE DE ARMADURA	25
3.5. INYECCIÓN	25
3.5.1. Preparación de la lechada:	25
3.5.2. Inyección primaria	26
3.6. ENSAYOS RELACIONADOS	26
3.6.1. Ensayos de prueba de carga	26
3.6.2. Ensayo de Integridad de Micropilote	28
CAPITULO IV: PROBLEMÁTICA DE LA EJECUCIÓN DE MICROPILOTES A LADERA DEL RIO RÍMAC	34
4.1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES	34
4.2. PROPUESTA DE EJECUCIÓN DE MURO EVITAMIENTO	37
4.3. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS	40
4.4. RIESGOS ASOCIADOS	41
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
5.1. CONCLUSIONES	42
5.2. RECOMENDACIONES	44
BIBLIOGRAFÍA	45
ANEXOS	46

RESUMEN

El presente informe de suficiencia se basa en dar a conocer la tecnología constructiva y la problemática de ejecución de los micropilotes inyectados. Dichos elementos son utilizados en la fundación de las grandes obras civiles, en las fundaciones de las viviendas y reforzamiento de edificios antiguos, y en todo tipo de anclaje de obras de ingeniería.

La técnica de construcción de los micropilotes inyectados y de los anclajes en la Geotecnia representa indudablemente uno de los grandes desarrollos en la ingeniería del siglo XX. Las primeras aplicaciones fueron realizadas a fines de 1957 y principios de 1958 en Brasil y Alemania, respectivamente.

Los micropilotes, que por lo general tienen un diámetro pequeño, pueden soportar cargas del orden de 100 toneladas. Para el desarrollo de esta resistencia, se utiliza un hecho básico de la Ingeniería Geotécnica que consiste en que, si a un suelo se lo somete a una precarga, mejora notablemente su capacidad friccional. Es decir que si se inyecta una lechada de cemento a presión en el suelo, se produce con ello un incremento de tensiones en su masa, que conduce a un mejoramiento de sus parámetros de corte.

En este caso particular se expondrá las características que se encuentran al realizar los micropilotes como sostenimiento de la vía evitamiento de Lima.

A partir del trabajo previo (revisión de antecedentes bibliográficos y análisis de procesos), fueron seleccionados las fases más características de su ejecución. A su vez se hace referencia de los ensayos característicos y su aplicación.

LISTA DE CUADROS

Cuadro 4.1: Características de anclajes según secciones.	38
Cuadro 4.2: Parámetros característicos geotécnicos de las unidades presentes.	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Proceso de ejecución micropilotes	9
Figura 1.2: Micropilote con acero corrugado.	11
Figura 1.3: Micropilote con tubería de acero.	11
Figura 1.4: Tipos de inyección de micropilotes	13
Figura 2.1: Cimentación para nuevas estructuras	14
Figura 2.2: Reparación de cimentación existente.	15
Figura 2.3: Mejoramiento de terreno.	15
Figura 2.4: Micropilotes como apoyo al sostenimiento.	16
Figura 2.5: Micropilotes para reducción de asentamientos.	17
Figura 2.6: Vista frontal de Micropilotes como muro de contención.	19
Figura 2.7: Vista en planta de Micropilotes tangentes.	20
Figura 3.1: Máquina de Perforación.	22
Figura 3.2: Compresora de aire.	22
Figura 3.3: Broca de Perforación.	22
Figura 3.4: Central de Inyección.	22
Figura 3.5: Tubería Metálica	23
Figura 3.6: Cemento	23
Figura 3.7: Tubería estructural Interior	23
Figura 3.8: Zapata soldada a tubo	23
Figura 3.9: Estructura de ensayo.	27
Figura 3.10: Celda de carga y gata hidráulica.	27
Figura 3.11: Disposición de los deflectómetros.	28
Figura 3.12: Toma de ensayo en Micropilote.	29
Figura 3.13: Pilote con reducción de diámetro.	31
Figura 3.14: Pilote con aumento de diámetro.	31
Figura 3.15: Pilote con estrechamiento a la mitad del pilote.	32
Figura 4.1: Vista general del tramo objeto de análisis.	34
Figura 4.2: Detalle de la excavación con presencia de rellenos.	35
Figura 4.3: Registro del ensayo de tensado de un anclaje pasivo embebido en los rellenos detectados.	37
Figura 4.4: Sección con 2 niveles de anclajes	38

Figura 4.5: Sección con 3 niveles de anclajes	39
Figura 4.6: Sección con 4 niveles de anclajes	39
Figura 4.7: Sección con 5 niveles de anclajes	40
Figura A.1: vista en planta del muro entre las progresivas 17+090 al 17+140	47
Figura A.2: vista en planta del muro entre las progresivas 17+140 al 17+220	47
Figura A.3: vista frontal del muro entre las progresivas 17+090 al 17+140	48
Figura A.4: vista frontal del muro entre las progresivas 17+140 al 17+220	48
Figura A.5: Sección típica del muro entre las progresivas 17+090 al 17+100	49
Figura A.6: Sección típica del muro entre las progresivas 17+100 al 17+160	49
Figura A.7: Sección típica del muro entre las progresivas 17+160 al 17+200	50
Figura A.8: Sección típica del muro entre las progresivas 17+200 al 17+210	50
Figura C.1: Ilustración representativa de la estructura de reacción del ensayo.	55
Figura C.2: Plan de carga	56
Figura C.3: Curvas desplazamiento/tiempo del pilote ensayado para cada nivel de carga (Ciclo 1).	58
Figura C.4: Curvas desplazamiento /tiempo del pilote ensayado para cada nivel de carga (Ciclo 2).	59
Figura C.5: Curvas desplazamiento/tiempo del pilote ensayado para cada nivel de carga (Ciclo 3).	59
Figura C.6: Curvas desplazamiento /tiempo del pilote ensayado para cada nivel de carga (Ciclo 4).	60
Figura C.7: Curvas desplazamiento /tiempo del pilote ensayado para cada nivel de carga (Ciclo 5).	60
Figura C.8: Curva carga/desplazamiento del micropilote ensayado.	63

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

F_R	Componente Horizontal de la fuerza de empuje del terreno al muro.
F_H	Componente Horizontal de la fuerza de retención debida a la fricción entre la cimentación y el suelo.
M_E	Momento de fuerzas que tienden a volcar el muro.
M_V	Momento de fuerzas que tienden a estabilizar el muro.
T_A	Carga transmitida al terreno.
T_P	Capacidad portante del terreno.
A/C	Relación de agua cemento.
c	Velocidad de propagación de onda.
E	Módulo de Elasticidad del material.
g	Aceleración de la gravedad.
γ	Densidad del material del pilote.
Z	Impedancia.
A	Área de sección del pilote.

INTRODUCCIÓN

El presente informe de suficiencia trata sobre el proceso de ejecución de micro pilotes y su problemática al realizarlo en un suelo tan complicado como lo es Lima y en especial a la ladera del río Rímac.

Para elaborar el presente informe se han utilizado datos y mediciones de la obra Vía Parque Rímac.

Esta información va a hacer previsible ciertos problemas o detalles en la fase de ejecución, y reacción del terreno ante la obra construida.

Este fenómeno se debe en parte a las condiciones del sector construcción que, cada vez crece en Perú, por lo cual es de vital importancia su difusión.

El conocimiento de la teoría, la práctica y las técnicas de Geotecnia en cada una de las fases y capítulos de un proyecto son evidentemente importantes para llevar a buen fin la obra, tanto en los aspectos técnico y práctico, como en el económico.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1. Historia de los micropilotes

La tecnología de los micropilotes fue introducida en Italia en 1952 por la empresa especialista en fundaciones Fondedile, bajo la dirección técnica del Dr. Fernando Lizzi. Estos pilotes menores que los permitidos por los códigos de la época fueron llamados "palo radice", concebidos como un método para socalar edificios históricos y monumentos.

Los primeros micropilotes fueron construidos de 100 mm de diámetro, ensayados a cargas de 400 kN sin registros de fallas en la interacción mezcla de cemento con el suelo.

En 1962, Fondedile introdujo los micropilotes en Inglaterra para el soclado de edificios históricos y en la misma década fueron introducidos en Alemania, para alcanzar en la década de los 80' una amplia difusión y aplicación, siendo hoy en día una alternativa valorada y aceptada por los ingenieros proyectistas. Actualmente en Estados Unidos se los utiliza en forma permanente para el reforzamiento sísmico de estructuras.

El término de "micropilote" es utilizado casi universalmente pero refiriéndose a pilotes ejecutados con técnicas diferentes.

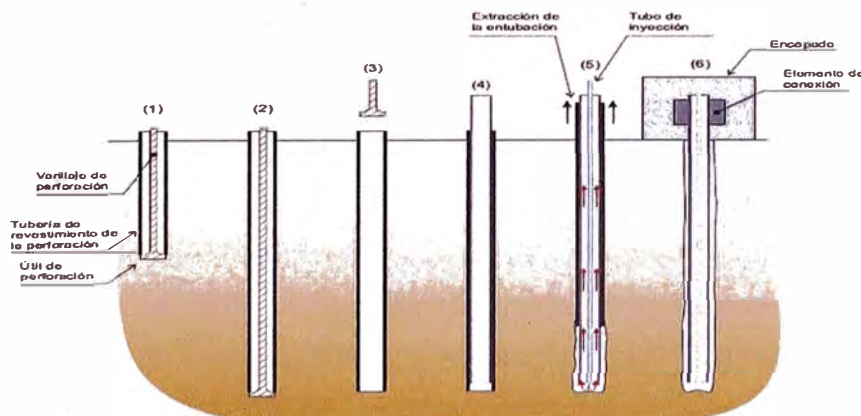


Figura 1.1: Proceso de ejecución micropilotes

Los llamados “pali radice” son pilotes de pequeño diámetro, ejecutados con perforación a rotación y una tubería de entubación de unos 100 mm de diámetro; después se coloca una armadura central (de una o más barras) y se concreta manteniendo la presión del mortero en cabeza con aire comprimido, mientras se extrae la tubería de entubación (casing). Se utiliza una mezcla con una dosificación “elevada” de cemento y aditivos.

1.2. Conceptos fundamentales

Cuando uno habla de pilotes, uno hace la distinción entre pilotes que desplazan la masa del suelo (ej. hincados) y los que remplazan al suelo (ej. perforados y hormigonados in situ). Los micropilotes, en general, están dentro de la categoría de los que remplazan al suelo.

Con los pilotes convencionales perforados y hormigonados in situ, en general, la carga es resistida por el hormigón en contrapartida del acero, y pequeñas secciones de los mismos están asociadas a pequeña capacidad estructural. Los micropilotes, en cambio, se distinguen por usar aceros de alta resistencia que ocupan hasta el 50% del volumen de la perforación y son usados como el principal elemento estructural y en algunos casos como el único. En este último caso, el grout sólo sirve como elemento de transferencia de carga entre el acero y el suelo.

Los métodos de perforación e inyección desarrollados para otras prácticas geotécnicas como los anclajes postensados inyectados, permiten la generación de altos valores de fricción en la interface grout/suelo a lo largo del perímetro del micropilote y su ejecución en todo tipo de suelo, natural y artificial, con mínima vibración, ruido y cualquier ángulo de inclinación.

La capacidad de carga del micropilote por punta no es significativa dado los pequeños diámetros de los mismos y, generalmente, no es tenida en cuenta. Dado que su capacidad de carga es fundamentalmente de fricción, las deformaciones necesarias para desarrollarlas son muy pequeñas.

El rango de diámetros práctico va desde los 100 mm a los 300 mm, con longitudes de 10.0 m a 30.0 metros y sus capacidades de carga habituales van de los 300 KN hasta los 1.000 KN, habiendo registros de cargas de 5.000 KN. Los mi-

cropilotes trabajan fundamentalmente bajo cargas axiales tanto de compresión como de tracción.

Podemos resumir a un micropilote de la siguiente manera: pilote perforado de pequeño diámetro (menor o igual a 300 mm), compuesto por mortero o grout inyectado, y teniendo alguna forma de refuerzo de acero para resistir una alta proporción de la carga de diseño. La carga es principalmente e inicialmente tomada por el refuerzo de acero y transferida vía el grout al suelo/roca circundante, por altos valores de fricción con una componente mínima de capacidad de carga por punta.

1.3. Tipos de micropilotes

1.3.1. Según el tipo de armadura

1.3.1.1. Armados con barras corrugadas.

La estructura interior del micropilote está conformada por varillas corrugadas empalmadas y estribadas según proyecto. (Figura 1.2)

1.3.1.2. Armados con tubos de acero.

La estructura interior del micropilote viene a ser una tubería de características indicadas según proyecto. (Figura 1.3)



Figura 1.2: Micropilote con acero corrugado. Figura 1.3: Micropilote con tubería de acero.

1.3.2. Según el tipo de inyección

“The Federal Highway Administration” (FHWA) del Departamento Norteamericano de Transportes, nos indica que la clasificación basada en el método de inyección consiste en la designación por letras (de la A hasta la D) basado en principio por el método de posicionamiento y la presión bajo la cual la lechada se utiliza durante la construcción (Juran et. al, 1999). La clasificación se muestra esquemáticamente en la Figura 1.4.

Tipo A:

Nos indica que la lechada se coloca por gravedad sólo debajo de la cabeza. Morteros de cemento y arena, así como lechadas de cemento puro, se puede utilizar debido a que la tubería de inyección no está presurizada.

Tipo B:

Indica que la lechada de cemento puro se coloca dentro del micropilote bajo presión a medida que se retira la tubería que reviste al micropilote del terreno temporalmente. La presión de inyección típicamente varía entre un rango de 0,5 a 1 MPa, y está limitado a evitar hidrofracturas en el terreno circundante.

Tipo C:

Pertencen a este grupo los micropilotes que contengan o no tubos manguito, pero para los cuales la inyección de lechada se fuerza a presión en la formación, en el curso de la extracción de la entubación o se efectúa a partir de la cabeza del anclaje, partiendo de un simple obturador o a partir de un simple flexible empalmado directamente a la bomba. Con este procedimiento la inyección se realiza en un solo paso, sin posibilidad de reinyección.

Tipo D:

Pertencen a esta todos los micropilotes sellados en el suelo mediante la introducción de un doble obturador en el tubo manguito que permite forzar la lechada

ya fraguada o endurecida de la primera inyección, en la formación a nivel del maguito elegido (selectividad) y de repetir la operación, en principio varias veces (repetitividad).

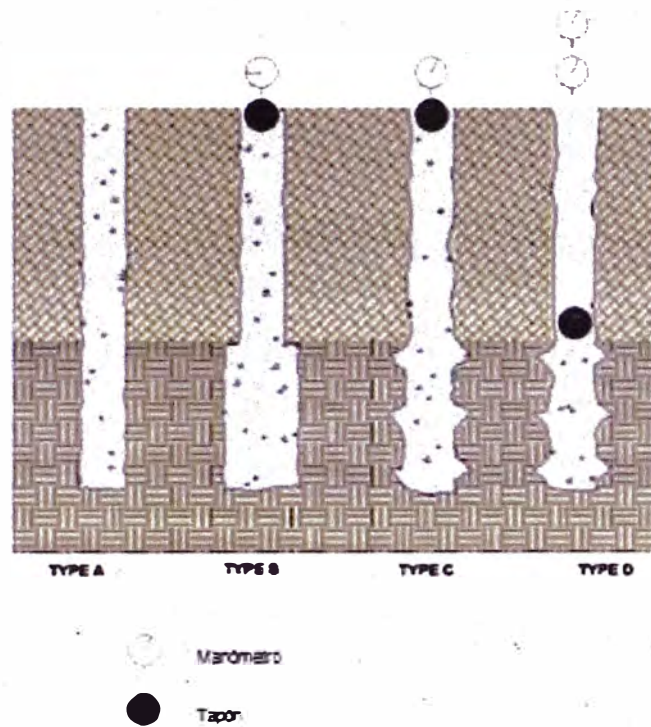


Figura 1.4: Tipos de inyección de micropilotes

CAPÍTULO II

MICROPILOTES COMO MURO DE CONTENCIÓN

2.1. Aplicaciones de los micropilotes

A continuación se presentan algunas de las más importantes aplicaciones de estos elementos, dentro del ámbito de la Ingeniería Civil:

2.1.1. Como soporte estructural

Cimentación para nuevas estructuras.

Los micropilotes pueden ser usados como cimentación de zapatas de pilares de puentes, distribuir la carga a un terreno competente mediante la ejecución de varios micropilotes.

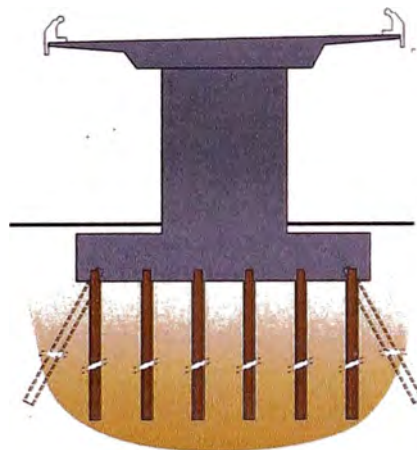


Figura 2.1: Cimentación para nuevas estructuras

Reforzamiento sísmico.

Para reforzar estructuras antiguas ante cualquier movimiento sísmico, los micropilotes son una buena solución.

Reparación de cimentación existente.

En áreas donde las alturas disponibles son mínimas y los reducidos espacios complican la ejecución de pilotes de grande diámetro, los micropilotes inyectados presentan ventajas técnicas y económicas sobre otro tipo de procedimientos que cumplan el mismo propósito.

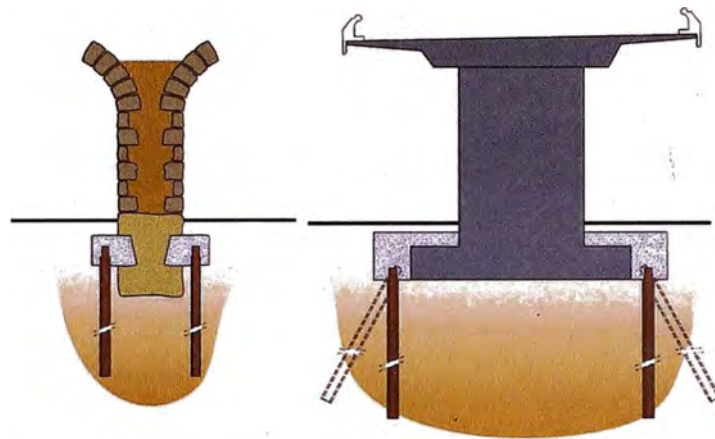


Figura 2.2: Reparación de cimentación existente.

Mejorar la capacidad de cimentación

Al ser insuficiente la cimentación debido al aumento de la carga soportada, se puede ejecutar micropilotes para aumentar la capacidad de soporte de la cimentación inicial.

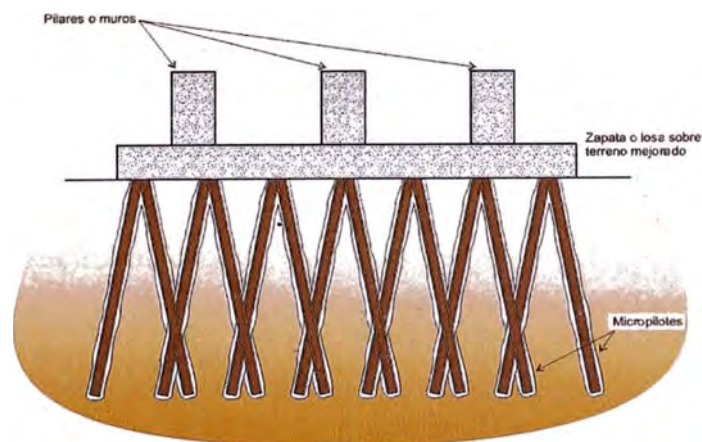


Figura 2.3: Mejoramiento de terreno.

Reemplazar cimentaciones existentes.

Para estructuras dañadas y/o muy antiguas, se les puede reemplazar la cimentación por una distribución eficaz de micropilotes.

2.1.2. Como reforzamiento "In Situ"

Estabilización de terraplenes, de laderas y deslizamientos.

Los pilotes inyectados han sido usados desde siempre para la estabilización de taludes. Para estas situaciones los micropilotes pueden actuar de dos maneras distintas:

- Como anclajes trabajando a tracción
- Como pilotes trabajando al corte.

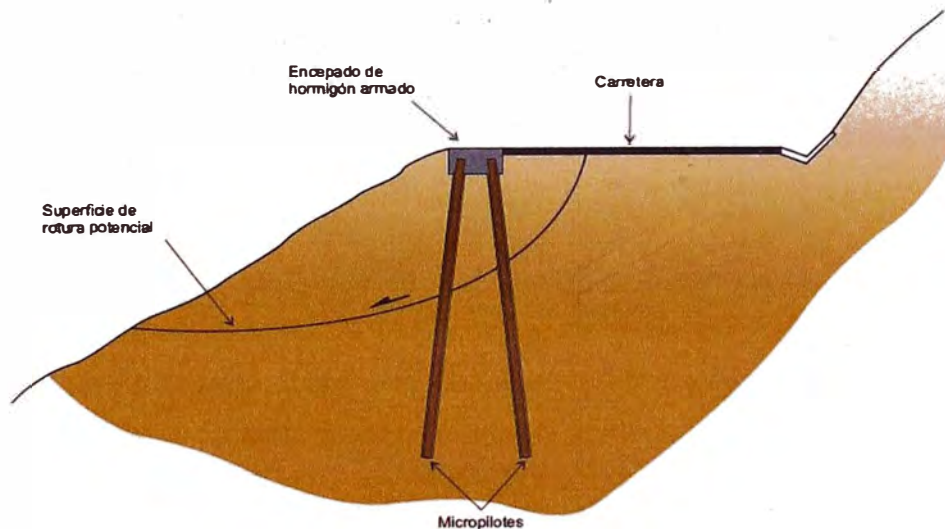


Figura 2.4: Micropilotes como apoyo al sostenimiento.

Reducción de asentamientos.

Se puede usar micropilotes como transmisores de cargas al terreno competente para una platea de cimentación.

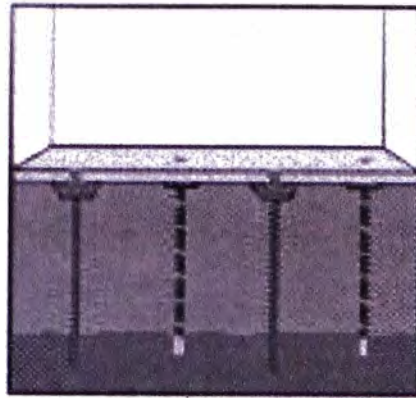


Figura 2.5: Micropilotes para reducción de asentamientos.

2.2. Muros de contención

2.2.1. Funcionalidad

Los muros de contención se utilizan para detener masas de tierra u otros materiales sueltos cuando las condiciones no permiten que estas masas asuman sus pendientes naturales. Estas condiciones se presentan cuando el ancho de una excavación, corte o terraplén está restringido por condiciones de propiedad, utilización de la estructura o economía.

Por ejemplo, en la construcción de vías férreas o de carreteras, el ancho de servidumbre de la vía es fijo y el corte o terraplén debe estar contenido dentro de este ancho. De manera similar, los muros de los sótanos de edificios deben ubicarse dentro de los límites de la propiedad y contener el suelo alrededor del sótano.

2.2.2. Verificaciones típicas en el cálculo

Para el cálculo de un muro de contención de tierras es necesario tener en cuenta las fuerzas que actúan sobre él como son la presión lateral del suelo o la subpresión y aquellas que provienen de éste como son el peso propio.

Con estos datos podemos verificar los siguientes parámetros:

2.2.2.1. Verificación de deslizamiento:

Se verifica que la componente horizontal del empuje de la tierra (F_H) no supere la fuerza de retención (F_R) debida a la fricción entre la cimentación y el suelo, proporcional al peso del muro. En algunos casos, puede incrementarse (F_R) con el empuje pasivo del suelo en la parte baja del muro. Normalmente se acepta como seguro un muro si se da la relación:

$$\frac{F_R}{F_H} > 1.5 \quad (2.1)$$

Esta relación se puede llamar también coeficiente de seguridad al deslizamiento.

2.2.2.2. Verificación de volteo o vuelco:

Se verifica que el momento de las fuerzas que tienden a voltear el muro (M_V) sea menor al momento que tienden a estabilizar el muro (M_E). Normalmente se acepta como seguro un muro si se da la relación:

$$\frac{M_E}{M_V} > 2 \quad (2.2)$$

Esta relación se puede llamar también coeficiente de seguridad al volteo.

2.2.2.3. Verificación de la capacidad de carga:

Se determina la carga total que actúa sobre la cimentación con el respectivo diagrama de las tensiones y se verifica que la carga transmitida al suelo (T_A) sea inferior a la capacidad portante (T_p), o en otras palabras que la máxima tensión producida por el muro sea inferior a la tensión admisible en el terreno.

$$\frac{T_p}{T_A} > 3 \quad (2.3)$$

2.3. Micropilotes como muro de contención para la Vía Evitamiento.

A la altura del puente Santa Rosa (Av. Tacna) perteneciente al distrito del Cercado de Lima, se ejecutara como muro de contención una cortina de micropilotes tangentes a nivel de la calzada de la vía evitamiento y posterior a la ejecución de estos, se procederá a realizar los anclajes al terreno conforme se vaya excavando la plataforma inicial anteriormente perforada. Todo este conjunto trabajará como un muro de contención a la vía evitamiento.



Figura 2.6: Vista frontal de Micropilotes como muro de contención.

Teniendo en cuenta que el corte a realizar es vertical y la presencia de la Vía Evitamiento se encuentra muy cerca de la excavación, se considera cómo la solución más adecuada la ejecución de una pantalla de micropilotes anclada en distintos niveles, con la finalidad de asegurar la estabilidad del corte de excavación y reducir los movimientos en superficie. Además, esta solución permite restablecer el parapeto de Evitamiento en su posición original en fase definitiva.

Dicho muro tendrá una longitud de 130 metros y se ubicara entre las progresivas 17+090 y 17+220 del proyecto Vía Parque Rímac.

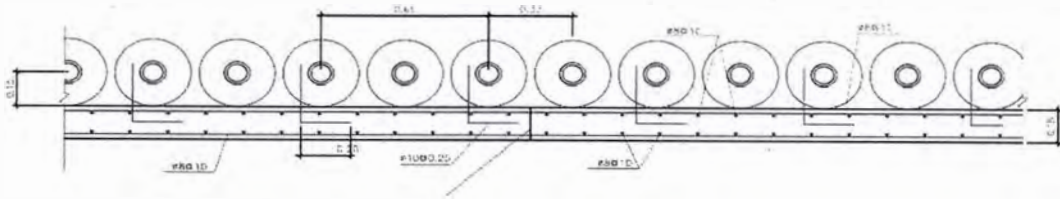


Figura 2.7: Vista en planta de Micropilotes tangentes.

2.3.1. Proceso constructivo.

El procedimiento constructivo para la construcción de la pantalla provisional de micropilotes es la siguiente.

- a) Relleno igualando la cota terreno de la vía Evitamiento (existente).
- b) Demolición de muro existente (parapeto) en los tramos donde coincida la alineación de la viga de atado con la cimentación del muro.
- c) Construcción de murete guía como plantilla de perforación.
- d) Perforación de los micropilotes, con mucho cuidado para no encontrarse con pernos existentes, armado del micropilote y concretado de micropilotes. Se tendrán las siguientes consideraciones para su ejecución:
 - ✓ Comprobar la verticalidad de los micropilotes.
 - ✓ Ejecutar los micropilotes de forma alternada.
 - ✓ Muestreo del grout a utilizar en la inyección.
- e) Al completar la totalidad de micropilotes se realizará la demolición del murete guía y descabezado micropilote.
- f) Construcción de viga coronación.
- g) Cuando el micropilote y la viga de coronación hayan alcanzado su resistencia para iniciar la excavación por debajo de la viga de coronación, se procederá

- a la excavación hasta máximo 1 m por debajo 1ª fila de anclajes, retirada del concreto lanzado existente y excavado hasta micropilote.
- h) Ejecución anclajes activos 1ª fila y construcción revestimiento entre micropilotes con concreto lanzado al que se le dispondrán drenes en capas de 3 metros.
 - i) Tensado de anclajes permanentes de la 1ª fila.
 - j) Para los siguientes niveles se procederá de igual manera que la realizada para la 1ª fila de anclajes, hasta llegar a la última fila de anclajes activos.
 - k) Excavación hasta la cota máxima definida y construcción revestimiento entre micropilotes.

CAPÍTULO III

PROCESO DE EJECUCIÓN DE MICROPILOTES

3.1. Recursos

3.1.1. Equipos y Herramientas

- Equipos de perforación.
- Martillo de fondo.
- Barras de perforación API o similar.
- Brocas de perforación.
- Compresoras de alta presión.
- Maquina soldadora trifásica o similar.
- Herramientas y accesorios de perforación.
- Gata hidráulica recuperadora de revestimiento.
- Central de inyección.
- Red de inyección.



Figura 3.1: Maquina de Perforación.



Figura 3.2: Compresora de aire.



Figura 3.3: Broca de Perforación.



Figura 3.4: Central de Inyección.

3.1.2. Materiales

- Tubería metálica de revestimiento.
- Armadura estructural.
- Zapatas. (la cual va soldada al primer tubo de revestimiento)
- Cemento.
- Agua.



Figura 3.5: Tubería Metálica



Figura 3.6: Cemento



Figura 3.7: Tubería estructural Interior



Figura 3.8: Zapata soldada a tubo

3.2. Implantación y posicionamiento

La implantación comprende la materialización en el terreno del eje de cada micropilote, a través de una punta de acero u de madera, ubicada por métodos topográficos.

Esta operación será ejecutada después que la plataforma de trabajo este nivelada o en condiciones de seguridad adecuadas al tránsito y posicionamiento del equipo de perforación.

Después de la colocación del equipo de perforación adecuada en el terreno, se hace coincidir el eje del equipo con el eje del micropilote.

La verticalidad de la perforadora será controlada a través de nivel de mano. Dicha operación será controlada por el ayudante en comunicación con el operador.

3.3. Perforación y encamisado del micropilote

Del análisis de las condiciones geológicas, se selecciona el sistema de perforación más apropiado, siendo la más recomendable del tipo rotoperkusivo con uso de aire comprimido y encamisado, para garantizar la integridad del pilote en toda su estructura.

Una vez instalado el equipo se inicia la perforación propiamente dicha que consiste en la extracción del terreno, a través de detritos de perforación, que son originados por destrucción del macizo debido al impacto de la broca del martillo de fondo del sondeo (M.F.S.), por circulación directa de aire comprimido.

El proceso se inicia por la unión roscada de la 1ª barra API, unida del martillo de fondo de sondeo, a la cabeza de la máquina, que genera rotación al conjunto. El aire que circula por el interior de las barras acciona el funcionamiento percusor del M.F.S. y en su flujo de retorno arrastra consigo los fragmentos de terreno desmontado.

Juntamente con la tubería de perforación, es colocada con auxilio del winche de la máquina, la tubería de revestimiento, las cuales son soldadas conforme avanza la perforación en toda su longitud.

En la primera tubería de revestimiento será soldada a una zapata de perforación, la cual resistirá la abrasión del macizo.

A medida que la perforación avanza se van adicionando mayor cantidad de barras hasta llegar a la profundidad prevista. Se usa tuberías roscadas de revestimiento hasta la profundidad que sea necesario, esto en función a la estabilidad del terreno.

La perforación se da por concluida cuando la longitud de perforación cumpla con el requerimiento del proyecto, procediendo con la limpieza del taladro, retiro de la línea de perforación por el orden inverso al que se instaló.

3.4. Montaje de armadura

Una vez concluida la perforación, hasta la cota de proyecto, se procederá con la instalación de la armadura estructural. El montaje se puede hacer de dos maneras:

- a) Usando el winche del equipo de perforación, el cual está limitado por la altura de la lanza de la máquina. Se concluye con la instalación de la armadura, una vez que cumpla las dimensiones requeridas en el proyecto.
- b) Mediante el uso de un camión grúa, el cual está destinado a elevar la armadura y colarla dentro del micropilote terminado. Para dicha acción la máquina de perforación tendrá que estar alejada debido a que implica maniobras de izaje de alto riesgo.

3.5. Inyección

Inmediatamente después de la colocación de la armadura se procede con la inyección de lechada. Esta operación es compuesta por 2 etapas:

3.5.1. Preparación de la lechada:

- La lechada (agua + cemento) es fabricada en un conjunto de mezclador/agitador;

- La mezcla es hecha con la relación $A/C=0,45$ en el reservorio superior (mezcladora) del conjunto y posteriormente llevada para el compartimiento inferior (agitador), donde se mantiene en permanente agitación hasta ser bombeada.

3.5.2. Inyección primaria

- Esta operación consiste en el llenado parcial del volumen perforado con lechada de cemento mediante una tubería de inyección, luego con ayuda de una gata hidráulica y de un camión grúa se extraerá parcialmente la tubería de encamisado hasta llegar un nivel adecuado y se procederá a cortar con oxicorte para retirar el tramo de casing, inmediatamente después se reinserta la tubería de inyección para continuar con la inyección y así sucesivamente hasta retirar el total de encamisado e inyectar en su totalidad al micropilote.
- La inyección de lechada de cemento es realizada desde el fondo del micropilote hacia la boca de este dándose por concluido cuando la lechada que retorna por la boca tiene un aspecto limpio y consistente, semejante al de la que es fabricada en la central.
- Esta operación se realiza intercaladamente con el retiro de la tubería de revestimiento con ayuda de la gata hidráulica.

3.6. Ensayos relacionados

3.6.1. Ensayos de prueba de carga

Las pruebas de los pilotes suelen ser muy caras, por lo cual se llevan a cabo raras veces.

La carga total de un micropilote no es muy elevada, es más fácil realizar pruebas de carga que con pilotes ordinarios de más diámetro. Cuando se carga un pilote a compresión, los pilotes contiguos pueden absorber las fuerzas de reacción.

La carga suele aplicarse por escalones del 25%, 50%, 75%, 100% y 125% de la carga de servicio prevista. Es posible, pero no usual, superar esta carga si se

ensayan micropilotes que después deben trabajar en la cimentación. En todo caso no debe superarse en ellos la carga multiplicada por el coeficiente de seguridad parcial de amplificación. Cada escalón de carga debe mantenerse hasta que se estabiliza la deformación y al menos 30-45 minutos.

Los criterios de aceptación del micropilote suelen basarse en los asientos totales con la carga máxima y dependerán del método de ejecución (asientos menores cuanto más completo haya sido el proceso de inyección). Dichos asientos totales límite deben ser los tolerables por la estructura, pero no inferiores al 0.5% del diámetro del micropilote.



Figura 3.9: Estructura de ensayo.



Figura 3.10: Celda de carga y gata hidráulica.

Instrumentación

En el ensayo de carga se registran principalmente los siguientes valores:

- La carga aplicada;
- Los desplazamientos verticales de la parte superior del micropilote;
- Tiempo de registro de los datos.

La instrumentación de la cabeza del micropilote se puede referenciar a la estructura rígida apoyada afuera de la zona de influencia del ensayo, constituida por dos vigas horizontales apoyadas en cimentaciones independientes.

Para determinar la deformación vertical de la estructura metálica de reacción, se han instalado, en la parte superior, cuatro deflectómetros que miden los despla-

zamientos diferenciales entre las vigas independientes a la estructura y el micropilote.



Figura 3.11: Disposición de los deflectómetros.

3.6.2. Ensayo de Integridad de Micropilote

3.6.2.1. Descripción del ensayo

El PIT es un ensayo que busca principalmente determinar la variación a lo largo de la profundidad de las características del hormigón de pilotes de fundación. La forma usual del ensayo consiste en la colocación de un acelerómetro de alta sensibilidad en la cabeza del pilote bajo prueba, y en la aplicación de golpes con un martillo de mano. Al acelerómetro se lo fija por medio de un material viscoso, generalmente cera de petróleo. Los golpes generan una onda de tensión, que recorre el pilote y sufre reflexiones al encontrar cualquier variación en las características del material (área de sección, peso específico o módulo de elasticidad). Esas reflexiones causan variaciones en la aceleración medida por el sensor. El equipo hace un registro de la evolución de esa aceleración con el tiempo (en realidad es más usual convertirse la aceleración para velocidad, mediante la integración de la señal). Como la onda camina con una velocidad fija, conociéndose esa velocidad de propagación y el tiempo transcurrido entre la aplicación del golpe y la llegada de la reflexión correspondiente a la variación de características es posible determinar la exacta localización de esa variación. Es usual la aplicación de varios golpes secuenciales, para que el equipo PIT saque el promedio de las señales correspondientes. Ello permite el "filtro" de interferencias aleatorias,

sobresaliendo en la señal apenas las variaciones causadas por las reflexiones de la onda.



Figura 3.12: Toma de ensayo en Micropilote.

3.6.2.2. Funcionamiento del ensayo PIT

Cuando se golpea un pilote con un martillo, una onda de tensión es generada. Esta onda se propaga a lo largo del fuste con una velocidad que es función exclusivamente de las características del material del pilote. La velocidad de propagación c es dada por:

$$c = \sqrt{\frac{Eg}{\gamma}} \quad (3.1)$$

Dónde:

Para el hormigón, la velocidad de onda varía conforme sus características, pero los valores usuales de velocidad de propagación de onda para pequeñas deformaciones (como es el caso del PIT) están entre 3700 m/s y 4300 m/s, pudiendo decirse que 4000 m/s es un valor promedio.

A la medida que se propaga, la onda sufre reflexiones en su trayecto. Esas reflexiones pueden ser provocadas por variaciones en las características del material del pilote, por la presencia de fricción o resistencia de punta, o aun por la punta del pilote. Se define como "impedancia" del pilote a la expresión:

$$Z = \frac{EA}{c} = A \sqrt{\frac{\gamma \cdot E}{g}} \quad (3.2)$$

Cualquier variación de impedancia a lo largo del pilote provoca reflexiones de la onda. Estas reflexiones, al alcanzar el punto donde está instalado el sensor, provocan una variación brusca en la velocidad de desplazamiento de la partícula en este punto. Un aumento de impedancia causa una disminución en la velocidad, y una disminución de impedancia causa su aumento.

El final del pilote se comporta como una gran disminución de impedancia, y por lo tanto puede ser visto como un aumento de velocidad.

A continuación se describirá 3 casos de lectura de micropilotes:

a) Caso 1: Reducción de impedancia en la mitad superior del pilote:

La parte superior muestra la evolución de la velocidad con el tiempo, que es lo que muestra el equipo PIT. Abajo, en colores, está la trayectoria de la onda. Como puede ser visto, al alcanzar la disminución de impedancia parte de la onda es reflejada, y parte prosigue hasta la punta, donde es nuevamente reflejada.

En la figura arriba ya aparece una de las dificultades en la interpretación de las señales del PIT: al alcanzar la cabeza, la parcela de la onda que fue reflejada por la irregularidad es nuevamente reflejada, retornando a la irregularidad donde es una vez más reflejada para retornar a la cabeza.

Ello causa un segundo aumento en la velocidad, que podría ser confundido con una segunda irregularidad. Por lo tanto, cualquier irregularidad ubicada arriba de la mitad del fuste del pilote torna difícil la detección de otros eventuales daños ocurriendo abajo de esa irregularidad.

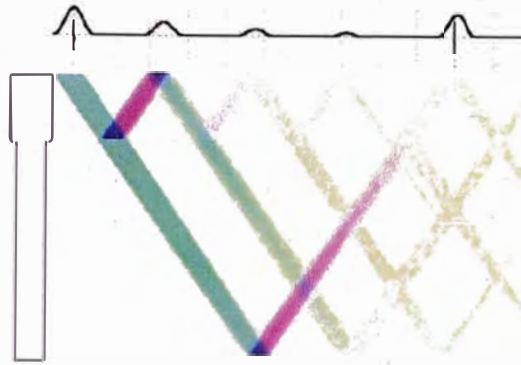


Figura 3.13: Pilote con reducción de diámetro.

b) Caso 2: Ensanchamiento en algún punto situado arriba del medio del pilote.

Es posible ver que ahora la reflexión causada por la irregularidad es volcada hacia abajo, mientras las reflexiones secundarias provocadas por la irregularidad son volcadas la primera hacia arriba, la segunda hacia abajo, y así por adelante.

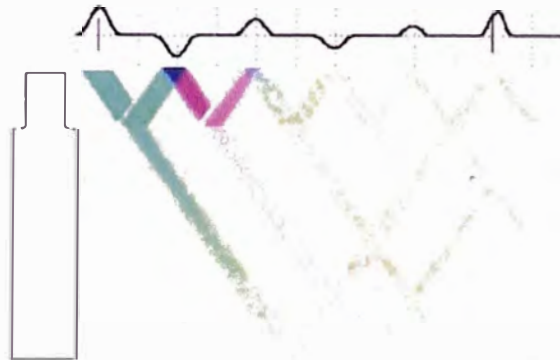


Figura 3.14: Pilote con aumento de diámetro.

c) Caso 3: Estrechamiento situado en la mitad superior del pilote:

Por analogía, es posible concluir que en el caso que el pilote tenga un ensanchamiento en lugar de estrechamiento, la señal de velocidad presentaría un pico hacia abajo seguido de un pico hacia arriba. Por lo tanto, para localización de estrechamientos, que es lo que generalmente causa preocupación, debe buscarse picos volcados hacia arriba, seguidos (o no) de picos volcados hacia abajo. Picos en un orden inverso a ese significarían ensanchamientos, que normalmente no preocupan.



Figura 3.15: Pilote con estrechamiento a la mitad del pilote.

3.6.2.3. Restricciones del ensayo

Para que el ensayo PIT pueda ser realizado, es necesario que el pilote tenga un área de sección que permita la colocación del sensor, la aplicación de los golpes y la propagación de la onda. Eso dificulta la aplicación de este método en pilotes metálicos. En ese tipo de pilote, aunque se consiga posicionar los sensores y aplicar los golpes, la pequeña área de sección con relación a la longitud implica en una rápida disipación de la onda, tornando difícil detectar la reflexión de la punta. En el caso de pilotes pre moldeados, esas consideraciones muchas veces también se aplican. Además, ese tipo de pilote suele tener empalmes. Si el contacto de dos elementos empalmados fuese absolutamente perfecto, la onda sería capaz de pasar por el empalme sin sufrir cualquier reflexión. Sin embargo, un contacto perfecto en la práctica es imposible.

Cuánto mayor el porcentaje de superficie en contacto, menor la reflexión, y mejor deberá funcionar el ensayo. Sin embargo, en ciertos casos, principalmente si el empalme está en una región de fuerte fricción, la parcela de la onda que pasa por el empalme podrá ser demasiado pequeña para que el equipo sea capaz de detectar sus reflexiones. En estos casos, el pilote parecerá interrumpido en el empalme, cuando en realidad eso no ocurre. Otra dificultad está en el caso de pilotes que presentan varios cambios de impedancia a lo largo del fuste. Es el caso por ejemplo de pilotes inyectados bajo presión (pilotes raíz y otros). Las reflexiones secundarias provocadas por la primera gran variación de área de sección que encuentra la onda pueden hacer con que resulte muy difícil el diagnóstico del pilote abajo de ese punto.

En resumen, el ensayo PIT es ideal para pilotes moldados "in situ" en general, excepto pilotes inyectados bajo presión. Como regla general, el ensayo tiene funcionamiento óptimo si la relación entre la longitud y el diámetro del pilote no es muy superior a 30. Si el pilote es hueco, debe tomarse como diámetro el de una sección con área equivalente. Para el cálculo de la longitud, puede deducirse trechos en agua o que atraviesan regiones de suelo sin fricción lateral. Ello no significa que el ensayo no puede ser hecho en pilotes que no atienden a esos criterios. Sin embargo, en esos casos el diagnóstico podrá limitarse a una cierta longitud de pilote, o tendrá que aceptarse la posibilidad del resultado no ser conclusivo.

3.6.2.4. Preparación de los pilotes para el PIT

La parte quizás más importante para el éxito del ensayo PIT es la preparación del pilote. Es necesario primeramente eliminar todo el hormigón de mala calidad por ventura existente en la cabeza. Enseguida es necesario crear una superficie nivelada y lisa con un esmeril.

La cabeza del pilote deberá estar perfectamente accesible y seca. De ya haber sido lanzado el hormigón de la base del cabezal, el pilote tendrá que ser aislado de esa base, mediante el rompimiento de una estrecha región alrededor del pilote. No importa si hay agua alrededor del pilote, con tal que su cabeza esté seca, y que sea posible el acceso del operador. De ninguna manera se puede usar argamasa o cualquier otro material en la cabeza del pilote. El acelerómetro y los golpes tienen que ser aplicados en material idéntico al del resto del pilote.

No es requisito del ensayo que los pilotes hayan sido desmochados hasta el nivel de corte. Sin embargo, se sugiere que siempre que posible el ensayo sea hecho con los pilotes ya en esa situación. La principal razón para eso es que, caso sea detectado algún problema más serio entre el punto del ensayo y el nivel de corte, podrá ser imposible para el ensayo determinar el estado del pilote abajo del daño. Con eso, el ensayo tendrá que ser repetido para ese pilote.

CAPÍTULO IV

PROBLEMÁTICA DE LA EJECUCIÓN DE MICROPILOTES A LADERA DEL RÍO RÍMAC

4.1. Introducción y antecedentes

Para la construcción de la nueva Vía Expresa Línea Amarilla en la ciudad de Lima, se proyecta un túnel de 1,6 km de recorrido por debajo del río Rímac. La metodología constructiva para la ejecución del túnel consiste en el desvío temporal del río mediante la construcción de un canal, y la estabilización de los taludes de excavación para abrir un tajo completo para la construcción posterior del túnel mediante métodos convencionales.

En el tramo comprendido entre las progresivas 17+090 al 17+220, estaba proyectada la estabilización del talud, mediante la tecnología de pernos auto perforantes "soil nailing". Se consideró que los materiales presentes entre las progresivas 17+090 al 17+220 consistían en depósitos aluviales del Río Rímac, compuestos básicamente por gravas y arenas de medianamente densas en los primeros metros más superficiales, a densas en profundidad.



Figura 4.1: Vista general del tramo objeto de análisis.

Sin embargo, durante los trabajos de excavación entre las progresivas 17+090 al 17+220, se detectaron materiales que no correspondían con los considerados en

el diseño inicial. Luego de la evaluación, el informe correspondiente confirma la existencia de materiales de relleno de capacidades resistentes inferiores a los materiales inicialmente considerados en proyecto.

Debido a las bajas características resistentes de los materiales de relleno encontrados en los primeros metros más superficiales de la excavación, y que se encuentran por debajo de la base de apoyo del muro existente de Evitamiento en este tramo, se detectaron los primeros movimientos de inestabilidad del muro a medida que se avanzaba la excavación del falso túnel.

Para verificar las inspecciones visuales "in situ", se realizaron distintos ensayos de campo. Del informe de campo, se concluye que los materiales existentes en toda el área consisten en un estrato de Limo orgánico (OL) de consistencia muy suave a suave, con 2 a 5 golpes del ensayo de penetración dinámica (DPL). En el mismo informe, se indica que la capacidad portante de estos materiales de rellenos es de 0.23kg/cm^2 . A partir de los resultados de los ensayos DPL realizados en los rellenos encontrados, se caracteriza en el mismo informe de campo los rellenos con una cohesión nula, un ángulo de rozamiento mínimo de 29.2° y una densidad de 1.14gr/cm^3 .



Figura 4.2: Detalle de la excavación con presencia de rellenos, con un espesor estimado alrededor de 6m. En la base de la excavación, aparecen las primeras capas de depósitos aluviales.

Una vez confirmadas las características resistentes de los rellenos existentes, la solución de estabilización de los taludes de excavación mediante Soil-Nailing no se considera adecuado dado que las deformaciones que se producían y el riesgo de colapso era muy alto. Teniendo en cuenta que el corte a realizar es vertical y la presencia de la Vía Evitamiento se encuentra muy cerca de la excavación, se considera cómo la solución más adecuada la ejecución de una pantalla de micropilotes anclada en distintos niveles, con la finalidad de asegurar la estabilidad del corte de excavación y reducir los movimientos en superficie. Además, esta solución permite restablecer el parapeto de Evitamiento en su posición original en fase definitiva.

Por otra parte, durante la ejecución de los anclajes pasivos inicialmente proyectados en este tramo, se realizó un ensayo de tensado sobre un anclaje de 5.7m de longitud de bulbo, situado completamente embebido en los rellenos de bajas características resistentes.

El ensayo realizado con fecha de 8/2/2013, se produjo el arranque del anclaje cuando se había alcanzado el 50% de la carga de servicio proyectada. Considerando un diámetro de bulbo de 0.145m (igual al considerado en el resto de la obra), se determinó que la resistencia al arranque del bulbo era de 38KN/m². La resistencia al arranque de bulbo considerada en los anclajes situados en los depósitos aluviales de características granulares, presentes en el resto de la obra, era de 150KN/m² o 200KN/m² según si el anclaje se encontraba en la unidad de gravas y arenas medianamente densas o densas respectivamente.

Con este ensayo, se corrobora la baja capacidad resistente del relleno existente, por lo que se requeriría longitudes de bulbo considerablemente mayores para alcanzar las resistencias de arranque requeridas en el proyecto inicial. En este sentido, los anclajes proyectados se dispondrán con la inclinación necesaria para que los bulbos de anclajes se encuentren embebidos en los depósitos aluviales formados por gravas y arenas densas, cuya resistencia al arranque se estima en 200kN/m².

HOJA DE CONTROL				
ENSAYO DE PERNO DE ANCLAJE				
OBRA: Vía Parque Rímac			DÍA	
PERNO N°:	<u>5A14I</u>	ENSAYO N°:	Fecha Instalación: <u>08/02/2013</u>	
ARMADURA	<u>R51-660</u>	PERFORACIÓN:	<u>Lechada</u>	INYECCIÓN: <u>14 Bolsas</u>
Carga Rotura:	<u>660 KN</u>	DIÁMETRO:	<u>51 mm</u>	LONGITUD TOTAL (m): <u>5.70</u>
Carga Cedencia:	<u>KN</u>	Modulo elástico:	<u>205000 N/mm2</u>	
Carga ensayo:	<u>390 KN</u>	Carga Servicio:	<u>323.7</u>	

	CARGA		TIEMPO	DEFORMACION (mm)	DEFORMACION RELATIVA (mm)
	Bar	KN	(seg/min)	perno	perno
5%	11	20	15seg	22.30	-
20%	43	78	15seg	22.82	0.52
			30seg	22.82	0.52
30%	66	117	15seg	23.28	0.98
			30seg	23.28	0.98
			1min	23.28	0.98
50%	108	195	15seg	24.70	2.40
			30seg	24.70	2.40
			1min	24.70	2.40
			2min	24.70	2.40
70%	148	273	15seg	38.80	16.50
			30seg		
			1min		
			2min		
90%	188	351	4min		
			15seg		
			30seg		
			1min		
			4min		
100%	208	390	5min		
			15min		
			15seg		
			30seg		
			1min		
			2min		
			8min		
			15min		
			30min		

MOTA-ENGIL PERU	SUPERVISIÓN	CLIENTE
-----------------	-------------	---------

OBSERVACION: PROGRESIVA 17+240.75 LADO IZQUIERDO NIVEL 1
SE PARALIZÓ LA PRUEBA POR ROTURA DE LA BASE Y ARRANCAMIENTO DEL PERNO CON UNA CARGA 273 Kn (70%), LA DEFORMACIÓN OBTENIDO ES DE 16.50mm

Figura 4.3: Registro del ensayo de tensado de un anclaje pasivo embebido en los rellenos detectados.

4.2. Propuesta de ejecución de muro evitamiento

Tal y como se ha indicado anteriormente, se realizará la estabilidad del talud mediante la pantalla de micropilotes anclados, optimizando la solución en la medida de lo posible.

Para ello, se ha considerado la geometría de las secciones representativas. Estas secciones corresponden a las de mayor altura de excavación de cada subtramo, siendo las secciones más críticas.

Línea de Anclaje	Longitud Libre (m)	Longitud de Bulbo (m)	Longitud Total de Perforación (m)	Ángulo de Inclinación	Separación (m)	Progresivas
1	10.2	6.5	16.7	30°	1.5	17+090 - 17+220
2	8.1	6.5	14.6	30°	1.5	17+090 - 17+220
3	6.7	6.5	13.2	30°	1.5	17+100.79 - 17+220
4	6.7	6.5	13.2	30°	1.5	17+161.68 - 17+220
5	6.5	6.5	13	30°	1.5	17+202.14 - 17+220

Cuadro 4.1: Características de anclajes según secciones.

En las siguientes figuras se muestra las diferentes secciones del muro:

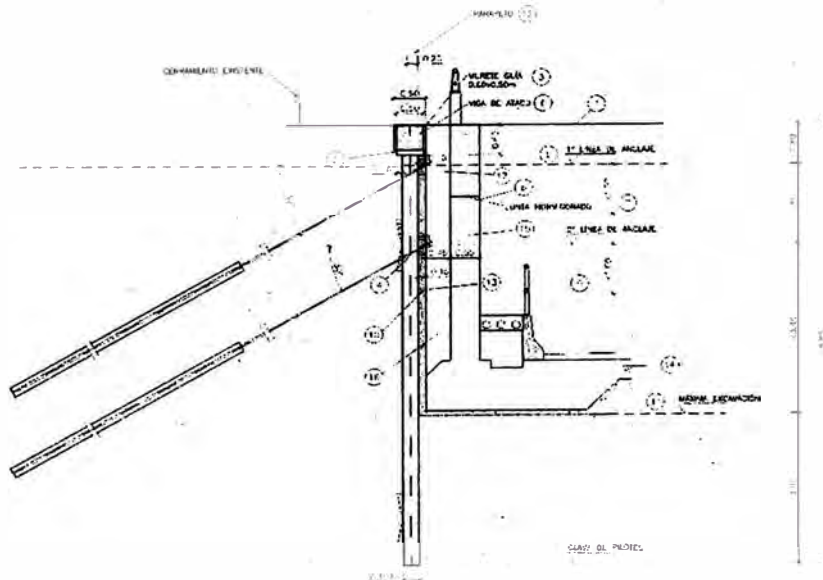


Figura 4.4: Sección con 2 niveles de anclajes

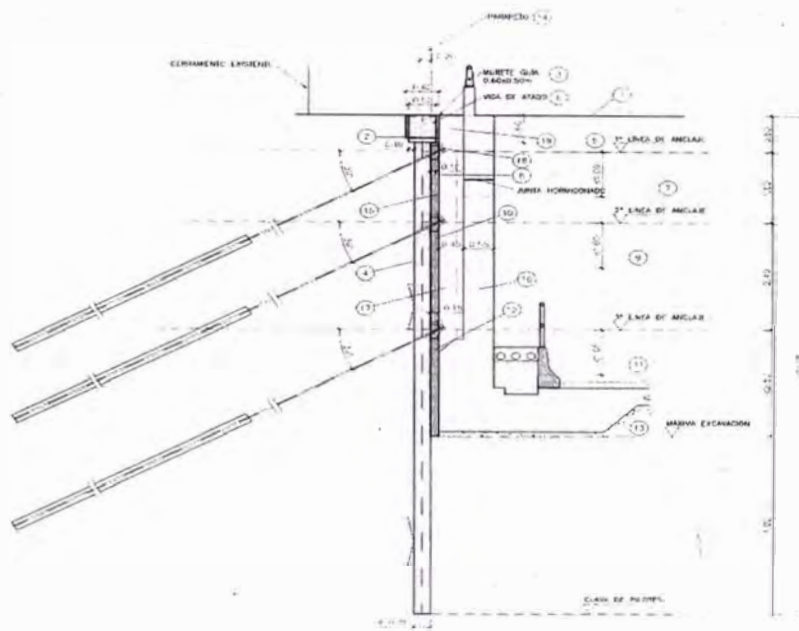


Figura 4.5: Sección con 3 niveles de anclajes

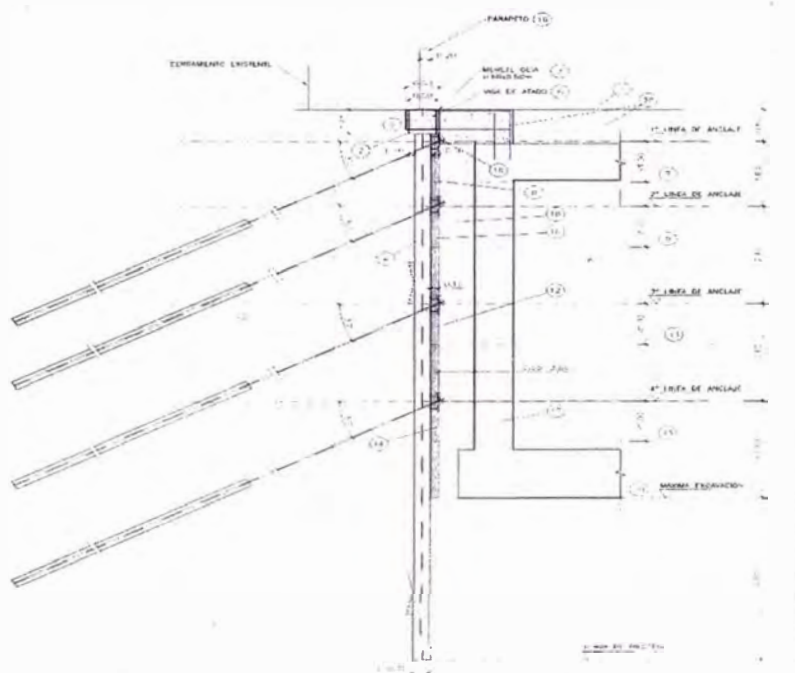


Figura 4.6: Sección con 4 niveles de anclajes

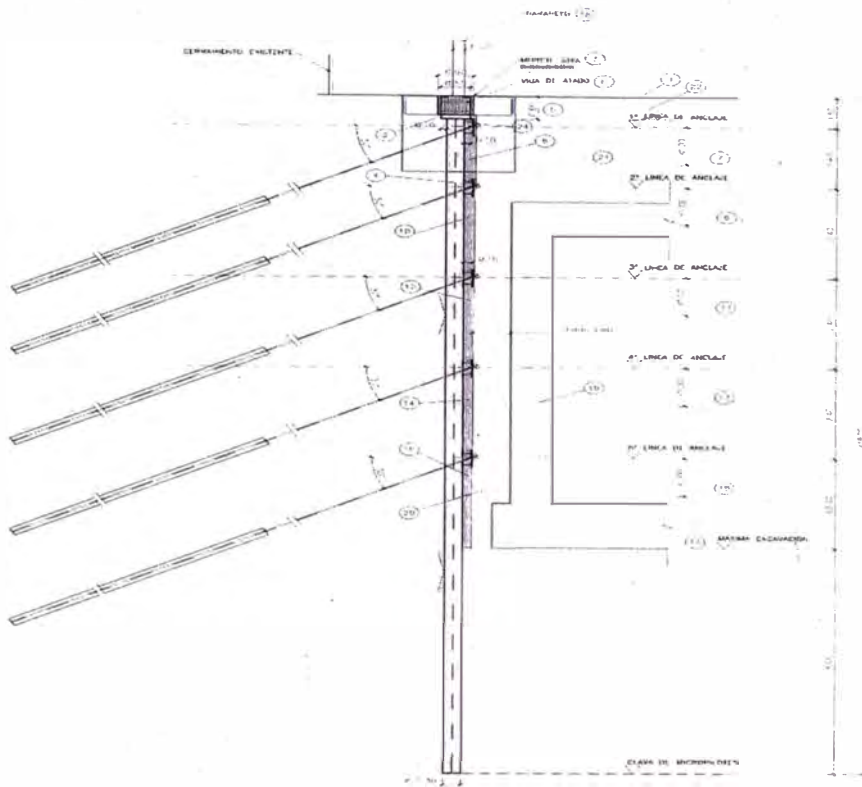


Figura 4.7: Sección con 5 niveles de anclajes

4.3. Parámetros geotécnicos

Los parámetros geotécnicos indicados y mostrados en el presente informe son los proporcionados por el ejecutor.

En la zona objeto de análisis se consideran dos unidades geotécnicas diferenciadas:

- Unidad R: Rellenos de limos orgánicos muy poco consistente. Es la unidad geotécnica más superficial, y su base se sitúa aproximadamente a 6 metros de profundidad.
- Unidad B: Grava arenosa densa. Es la unidad geotécnica profunda, donde se apoya la estructura del falso túnel.

Unidad	Cota superior (msnm)	Cota inferior (msnm)	Potencia estrato (m)	Peso unitario (KN/m ³)	Cohesión (KN/m ²)	Ángulo de fricción interna (°)	Módulo Young (MPa)
R	141.5	135.5	6	11.4	0	29.2	4.5
B	135.5	127	8.5	21.5	10	37	200

Cuadro 4.2: Parámetros característicos geotécnicos de las unidades presentes.

4.4. Riesgos asociados

Los riesgos de mayor relevancia que pueden presentarse durante el desarrollo de estas labores son:

- **Presencia de pernos inyectados anteriormente ejecutados en la zona de perforación de micropilotes.**

Este problema afecta en la continuidad de los micropilotes y en el mayor desgaste de broca y encamisado, ya que al impactar el perno a cualquiera de los materiales mencionados, el daño podría ser irreversible.

- **Eje de micropilotes aledaños a la vía evitamiento.**

La proximidad del eje de micropilotes a la vía evitamiento resulta un gran peligro para los conductores. Ya que la expulsión de partículas de la perforación pueden impactar contra algún vehículo transeúnte.

Por lo cual se debe proteger mediante pantallas de material metálico o similar en todo el perímetro de trabajo para prevenir cualquier incidente además de la integridad de las personas que viajan dentro de las unidades de servicio público.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

A partir de la evidencia empírica y del informe desplegado en el presente trabajo, se desprenden las siguientes conclusiones:

De las condiciones constructivas:

- Los micropilotes han demostrado que su ejecución puede ser de gran utilidad como una solución al sostenimiento de taludes, en especial cuando se tienen restricciones como lo es el espacio.
- Es de vital importancia tener un buen control de los rendimientos de los materiales consumibles como lo son las brocas y la tubería de revestimiento del micropilote, ya que dichos materiales están en constante interacción con el terreno de fundación y sufren más que cualquier otro material. La adquisición de nuevos materiales de este tipo nos generarían un mayor costo y nuestro margen de ganancia disminuiría.
- El núcleo de acero continuo nos garantiza la integridad y resistencia del micropilote.
- La tecnología de los micropilotes inyectados como alternativa de contención, es de aplicación habitual en los países desarrollados, debido a sus buenos resultados, se espera que atraiga el interés de los proyectistas nacionales para que lo contemplen dentro de sus herramientas habituales de trabajo.

De las condiciones del terreno:

- Dependiendo del tipo de terreno se escoge el sistema de perforación adecuado.
- En la mayor parte del área central de Lima y el Rímac, los suelos poseen materiales granulares gruesos, que pueden clasificarse como conglomerado

de canto rodado, gravas, arenas y limos íntimamente mezclados, esto hace que el desgaste de la línea de perforación sea mucho mayor que lo habitual.

- Las características del suelo de Lima indican que el mejor sistema de perforación para micropilotes de hasta 30 cm de diámetro, es mediante la roto percusión.

De las condiciones de diseño:

- Muchos procesos de cálculo son empíricos y sólo se pueden contrastar con pruebas de carga si se pretende aprovechar al máximo la resistencia del micropilote.
- La resistencia del terreno al ser inyectado con una mezcla dosificada de agua y cemento mejora considerablemente, ya que se produce un mejoramiento de sus parámetros de corte.

5.2. Recomendaciones

A partir de las conclusiones del presente trabajo de investigación se desprenden las siguientes recomendaciones:

- La calidad del micropilote se basa principalmente en la calidad de la inyección que se aplica, por lo tanto la ejecución de este proceso es de carácter muy riguroso.
- Al ser continuos y tangentes los micropilotes, se debe tener bastante cuidado de no dejar tubería de revestimiento dentro del micropilote, ya que puede dañar la broca al momento de ejecutar el micropilote continuo.
- La unión de la tubería de revestimiento es mediante soldadura, por lo cual se debe tener a un soldador con experiencia en este tipo de trabajos, ya que generaría problemas si el revestimiento se desuelda a una profundidad no establecida por el proyectista. A su vez la unión de tramos cortos es beneficioso en condiciones restringidas, por ejemplo bajo puentes o en recintos.
- La ejecución de los trabajos se realizará con operarios experimentados y en todo momento supervisado, despejándose previamente las zonas donde se realicen cargas / descarga.

BIBLIOGRAFÍA

1. BRAJA, Das, Principios de Ingeniería de Cimentaciones, cuarta edición, Editorial Thomson, 2001.
2. ESTEBAN, Antonio Ros "Manual de Anclajes para minería y obra civil", Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena, Murcia, España, 2005.
3. LEONI, Augusto José; "Apuntes sobre Micropilotes Inyectados", Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata. La Plata- Argentina.
4. ROMANA RUIZ, Manuel; "Micropilotes uso en recalces", Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, 2003.
5. "Guía para el proyecto y ejecución de micropilotes en obras de carretera", Dirección General de Carreteras de España. España, 2005.
6. "Micro pile Design and Construction", Departamento de Transportes de Estados Unidos, Estados Unidos, 2005.

ANEXOS

ANEXO A: PLANOS DE DETALLE DEL MURO PANTALLA EN ESTUDIO	46
A.1. Planos Vista en planta	46
A.2. Planos Vista frontal	47
A.3. Planos Vista de cortes	48
ANEXO B: PANEL FOTOGRAFICO DE SECUENCIA CONSTRUCTIVA	50
ANEXO C: RESUMEN DEL INFORME REALIZADO PARA EL ENSAYO DE CARGA A UN MICROPILOTE.	54
C1. Introducción	56
C2. Descripción del ensayo	58
C3. Instrumentación	58
C4. Resultados obtenido	59
C5. Consideraciones técnicas	64

ANEXO A

PLANOS DE DETALLE DEL MURO PANTALLA EN ESTUDIO

A.1. Planos Vista en planta:

Las figuras A.1 a A.2 muestran los planos en planta del muro de contención al cual se enfoca este informe.

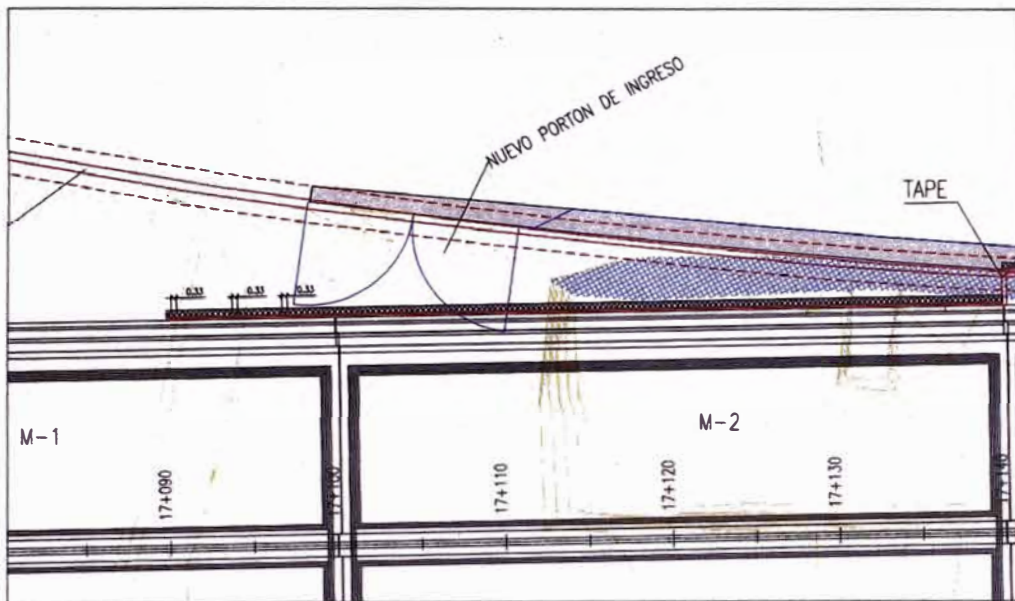


Figura A.1: vista en planta del muro entre las progresivas 17+090 al 17+140.

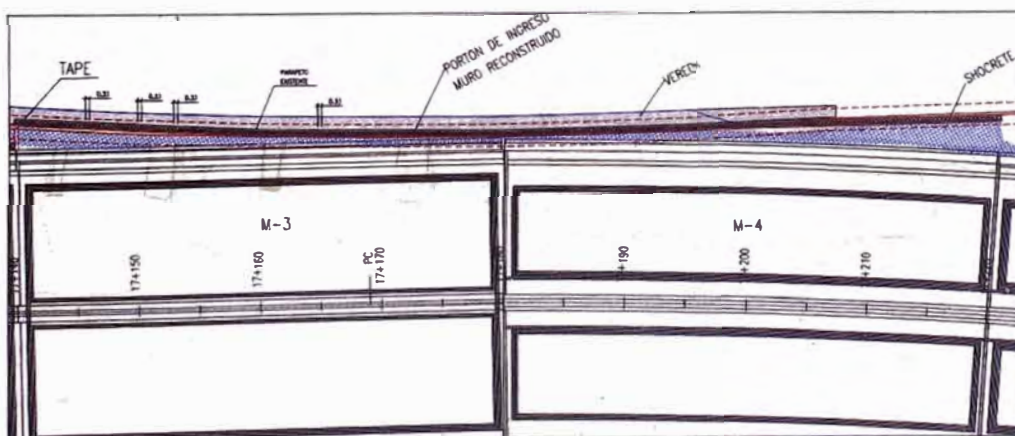


Figura A.2: vista en planta del muro entre las progresivas 17+140 al 17+220

A.2. Planos Vista frontal:

Las figuras A.3 a A.4 muestran los planos de frente del muro de contención al cual se enfoca este informe

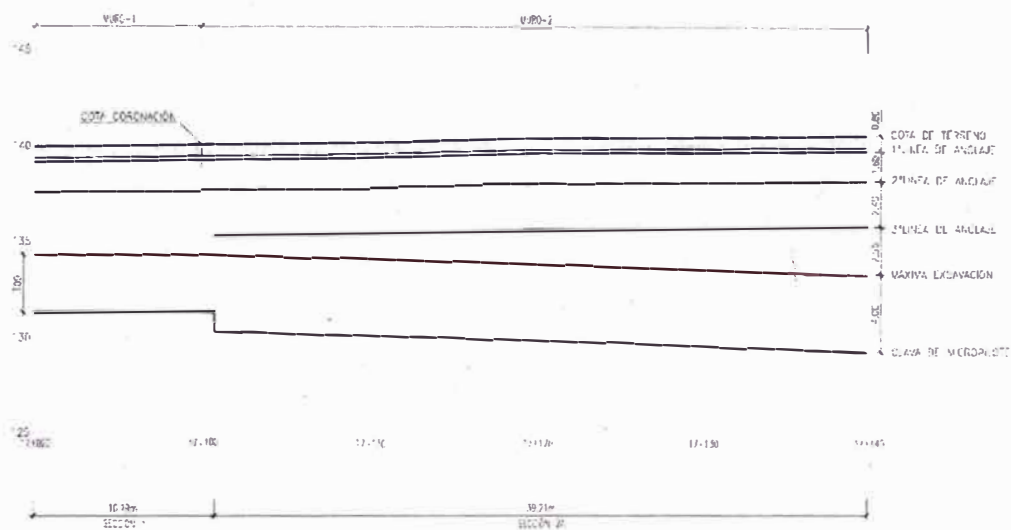


Figura A.3: vista frontal del muro entre las progresivas 17+090 al 17+140

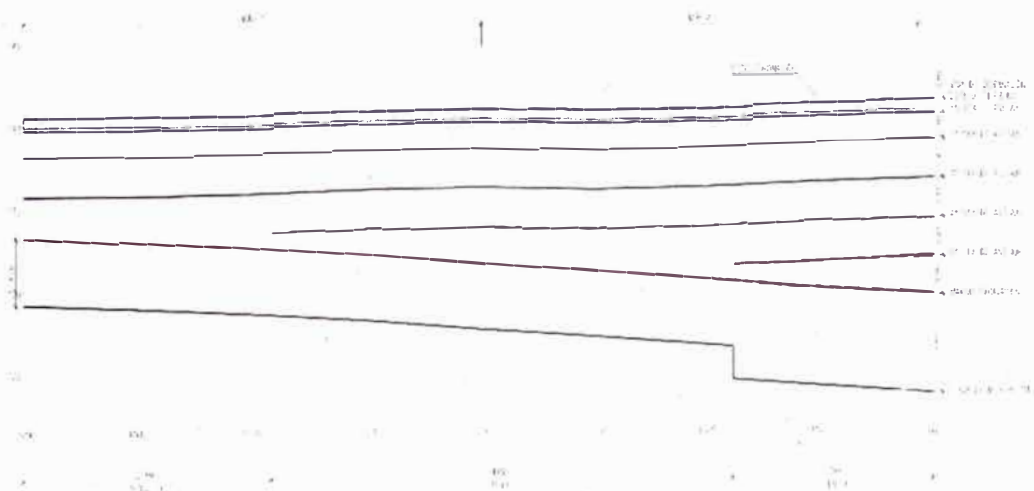


Figura A.4: vista frontal del muro entre las progresivas 17+140 al 17+220

A.3. Planos Vista de cortes:

Las figuras A.5 a A.9 muestran las secciones del muro de contención al cual se enfoca este informe

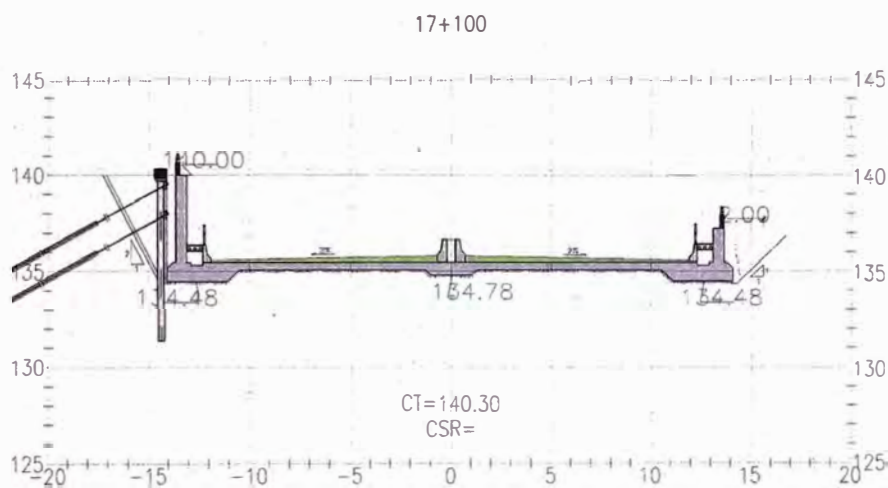


Figura A.5: Sección típica del muro entre las progresivas 17+090 al 17+100

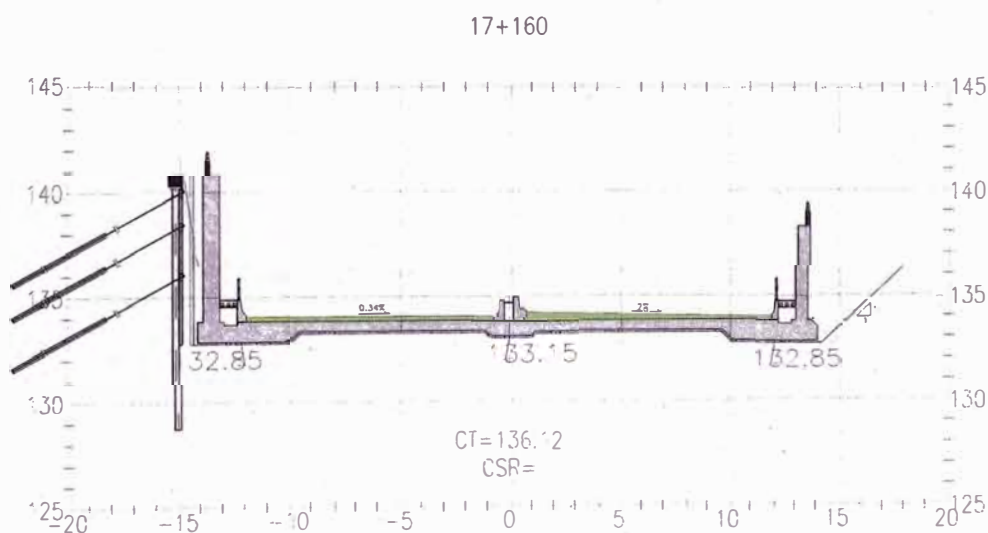


Figura A.6: Sección típica del muro entre las progresivas 17+100 al 17+160

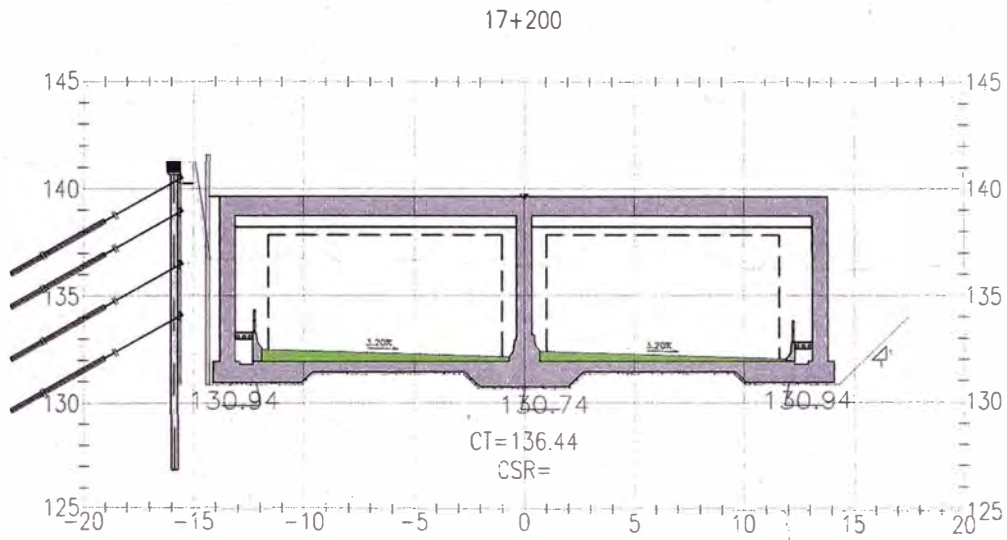


Figura A.7: Sección típica del muro entre las progresivas 17+160 al 17+200

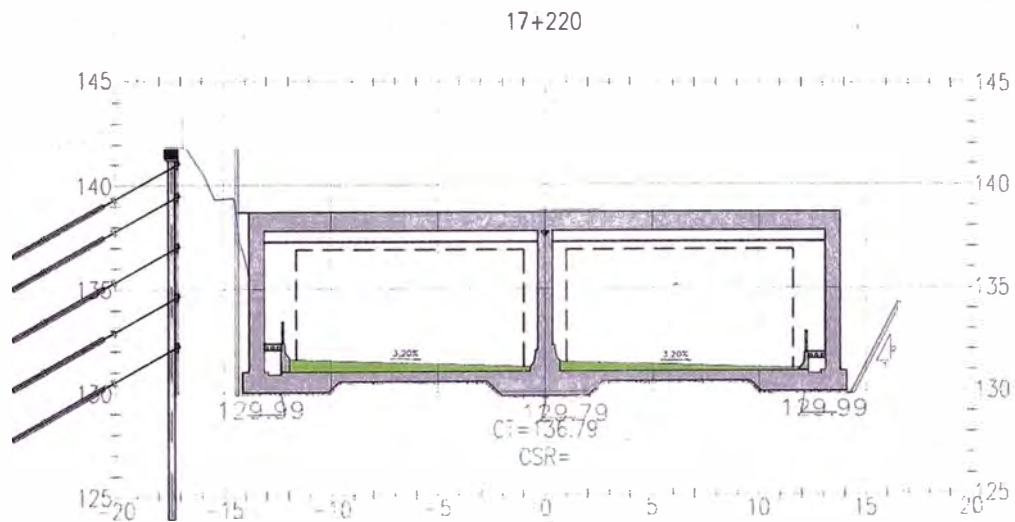


Figura A.8: Sección típica del muro entre las progresivas 17+200 al 17+210

ANEXO B

PANEL FOTOGRÁFICO DE SECUENCIA CONSTRUCTIVA



Fotografía B.1:

Nivelación del terreno previamente excavado hasta igualar la cota de la calzada de la vía evitamiento.



Fotografía B.2:

Realización de muro guía de micropilotes. Este trabajo se realiza en coordinación con topografía para ubicar la cota y posición de cada micropilote.



Fotografía B.3:

Posterior a la culminación del muro guía y a la liberación del área donde se encuentra dicho muro se procederá a la implantación, posicionamiento, y perforación de los micropilotes.



Fotografía B.4:

Luego de terminado el micropilote y retirado la línea de perforación se instalará la armadura de acero dentro del micropilote perforado.



Fotografía B.5:

Terminado la instalación de la armadura se procederá a la inyección con una relación $a/c = 0.45$, hasta llegar a un nivel apropiado para comenzar a retirar el casing.



Fotografía B.6:

Con apoyo de una gata hidráulica y la de un camión grúa se retira parcialmente el casing hasta una altura prudente, cortándolo en la base con oxicorte e inmediatamente después se reinstala la línea de inyección para proseguir con la inyección y así sucesivamente hasta culminar de retirar el casing y llegar a la cota final de inyección.



Fotografía B.7:

Descabezado de micropilotes y ejecución de viga de coronación anclada a la estructura del micropilote.

Este trabajo se realiza antes del descubrimiento de los micropilotes.



Fotografía B.8:

Excavación y exposición de micropilotes perforados, hasta máximo un metro por debajo de la primera línea de anclajes.



Fotografía B.9:

Perforación de la primera fila de anclajes.



Fotografía B.10:

Revestimiento entre micropilotes con concreto lanzado y enmallado.



Fotografía B.11:

Muro de micropilotes anclados y continuación de la construcción del túnel.

ANEXO C

INFORME DE ENSAYO ESTÁTICO DE TRACCIÓN

C.1. Introducción

Se ejecutó un ensayo de tracción en un micropilote de prueba en la obra Vía Parque Rímac, Lima. El ensayo fue realizado en el día 16 de Agosto de 2013.

El ensayo de carga estática fue efectuado con base en las recomendaciones de la normativa EN1997:2004 (Euro código 7) y tiene como objetivo principal obtenerse una evaluación más correcta de la capacidad de carga vertical del micropilote.

El micropilote ensayado tiene una longitud total de 19 m, que se divide en 13 m de longitud libre y 6 m de longitud de bulbo. Para la ejecución del mismo se hizo una perforación con 300 mm de diámetro. El micropilote está conformado por una armadura compuesta por tubo metálico roscado de TM80 ϕ 177x8 mm equipada con manguitos cada 2 metros en la zona del bulbo y ha sido inyectado por método inyección repetitiva.

La geología atravesada está compuesta por grava y bolones y la capa freática ha sido detectada a los 18,00 ml de profundidad. En el transcurso del ensayo, se registraran los siguientes parámetros: carga aplica y desplazamiento vertical del micropilote.

La estructura de reacción está constituida por dos cimentaciones en concreto y por una estructura metálica de dispersión, como ejemplifica la Figura C1.



Figura C1 - Ilustración representativa de la estructura de reacción del ensayo.

Para el ensayo a realizar estaba prevista la aplicación de 6 ciclos de carga y descarga, lo que corresponde a 22 escalones de carga distintos, siendo el valor de la carga máxima de ensayo de 2000 kN, Los escalones adoptados así como los tiempos de lectura de las deformaciones son presentados en la Figura 2 y el Cuadro 1, respectivamente. Se destaca que el último ciclo de carga no se realizó debido a una rotura anticipada del micropilote. Asimismo, los valores presentados en este informe corresponden a 5 ciclos de carga y descarga, lo que se traduce en 18 niveles de carga.

Para los escalones de carga aplicados al micropilote, se procede al registro de los desplazamientos en diferentes tiempos, como se especifica en el Cuadro 1.

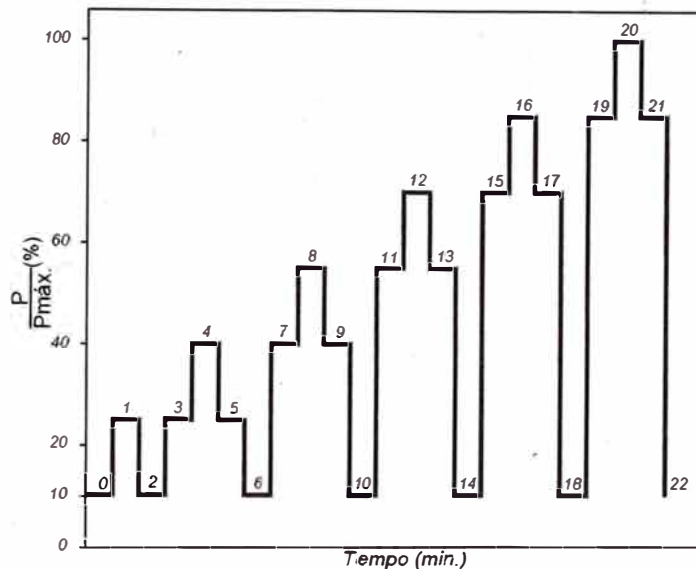


Figura C.2: Plan de carga

(P representa la carga aplicada y P. máx. la carga máxima del ensayo).

Nivel de carga	P/P máx. (%)	P (kN)	Tiempos de observación (minutos)
P0	0.1	200	1, 2, 3 y 5
P1	0.25	500	1, 2, 3, 5, 10 y 15
P2	0.1	200	1, 2, 3 y 5
P3	0.25	500	1, 2, 3 y 5
P4	0.4	800	1, 2, 3, 5, 10 y 15
P5	0.25	500	1, 2, 3 y 5
P6	0.1	200	1, 2, 3 y 5
P7	0.4	800	1, 2, 3 y 5
P8	0.55	1100	1, 2, 3, 5, 10 y 15
P9	0.4	800	1, 2, 3 y 5

P10	0.1	200	1, 2, 3 y 5
P11	0.55	1100	1, 2, 3 y 5
P12	0.7	1400	1, 2, 3, 5, 10 y 15
P13	0.55	1100	1, 2, 3 y 5
P14	0.1	200	1, 2, 3 y 5
P15	0.7	1400	1, 2, 3 y 5
P16	0.85	1700	1, 2, 3, 5, 10 y 15
P17	0.7	1400	1, 2, 3 y 5
P18	0.1	200	1, 2, 3 y 5
P19	0.85	1700	1, 2, 3 y 5
P20	1	2000	1, 2, 3, 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60
P21	0.85	1700	1, 2, 3 y 5
P22	0.1	200	1, 2, 3 y 5

Cuadro C.1: Plan de cargas y tiempos de observación.

C.2. Descripción del Ensayo

El ensayo fue ejecutado en ciclos donde se aplicaran varios escalones de carga y descarga según los criterios presentados anteriormente en el Cuadro C1.

Para cada escalón, se toman los desplazamientos para cada tiempo de observación establecido.

C.3. Instrumentación

En el ensayo de carga realizado, se han registrado los siguientes valores:

- La carga aplicada.
- Los desplazamientos verticales de la parte superior del micropilote.
- Tiempo de registro de los datos.

La instrumentación de la parte superior del micropilote fue referenciada a una estructura rígida apoyada afuera de la zona de influencia del ensayo, constituida por dos vigas horizontales apoyadas en cimentaciones independientes.

Para determinar la deformación vertical de la estructura metálica de reacción, se han instalado, en la parte superior, cuatro deflectómetros que miden los desplazamientos diferenciales entre las vigas independientes a la estructura y el micropilote.

C.4. Resultados obtenidos

En seguida, desde la Figura C.3 hasta la Figura C.7, se presentan las curvas de desplazamiento/tiempo para cada uno de los cinco ciclos de sollicitación del micropilote.

Cabe resaltar que los valores de desplazamientos presentados resultan de un promedio de las lecturas de los cuatro deflectómetros utilizados en el ensayo.

Todos los datos presentados resultan de la información registrada durante el ensayo, de la cual resulta la ficha de control de ensayo mostrada en la Figura C.8.

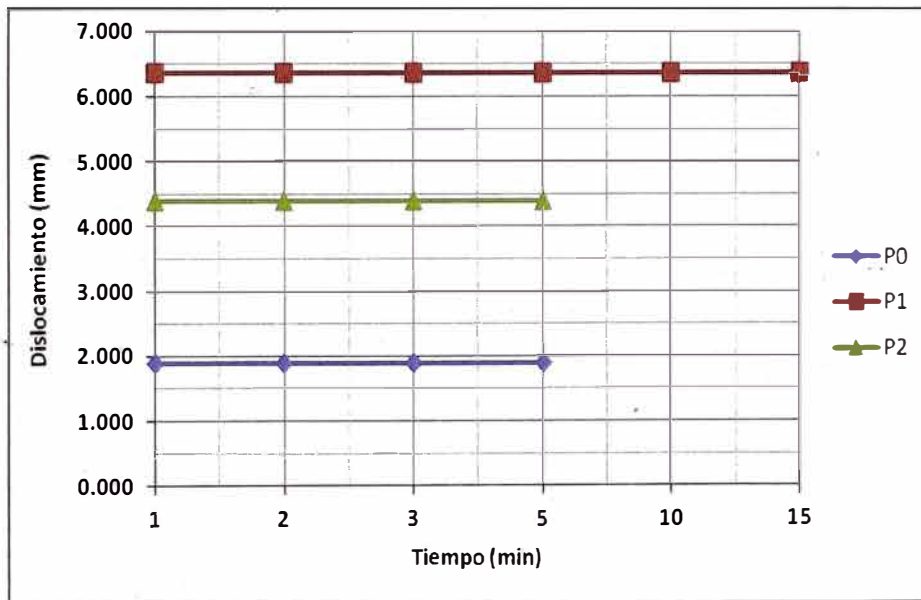


Figura C.3: Curvas desplazamiento/tiempo del pilote ensayado para cada nivel de carga (Ciclo 1).

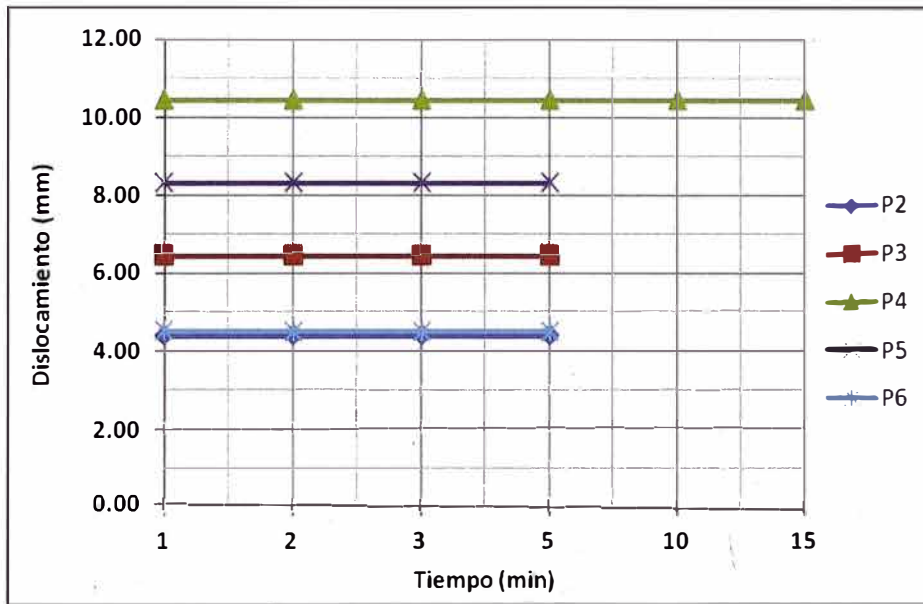


Figura C.4: Curvas desplazamiento /tiempo del pilote ensayado para cada nivel de carga (Ciclo 2).

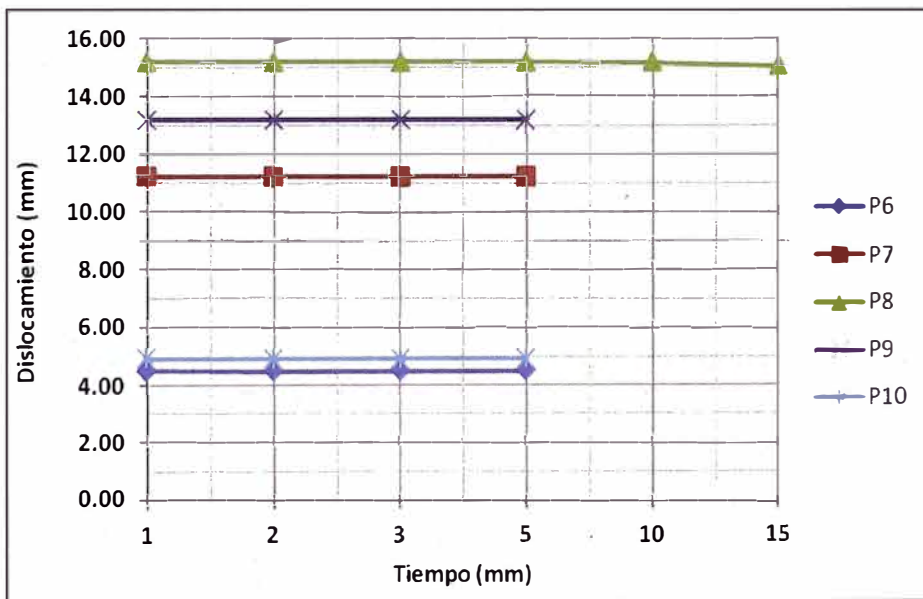


Figura C.5: Curvas desplazamiento/tiempo del pilote ensayado para cada nivel de carga (Ciclo 3).

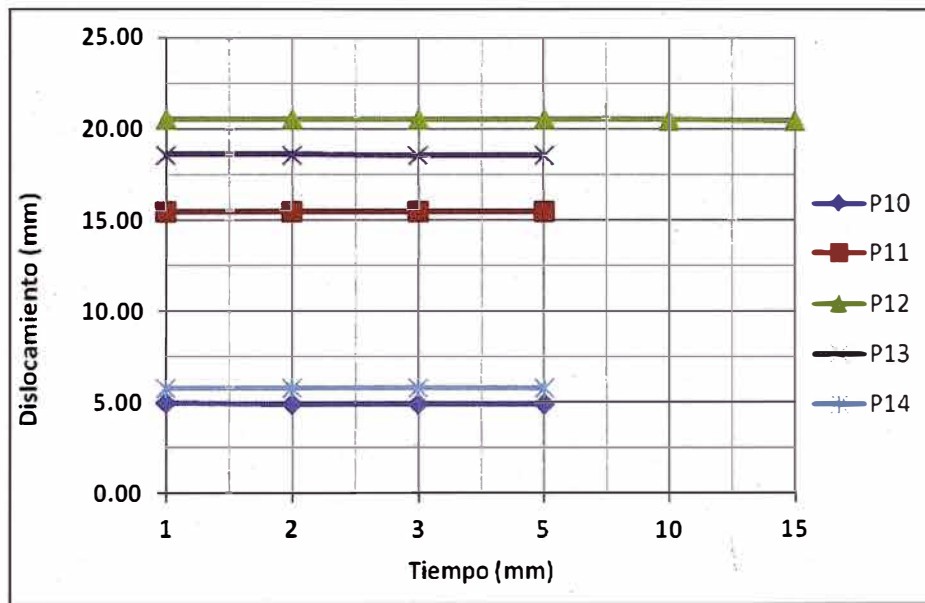


Figura C.6: Curvas desplazamiento /tiempo del pilote ensayado para cada nivel de carga (Ciclo 4).

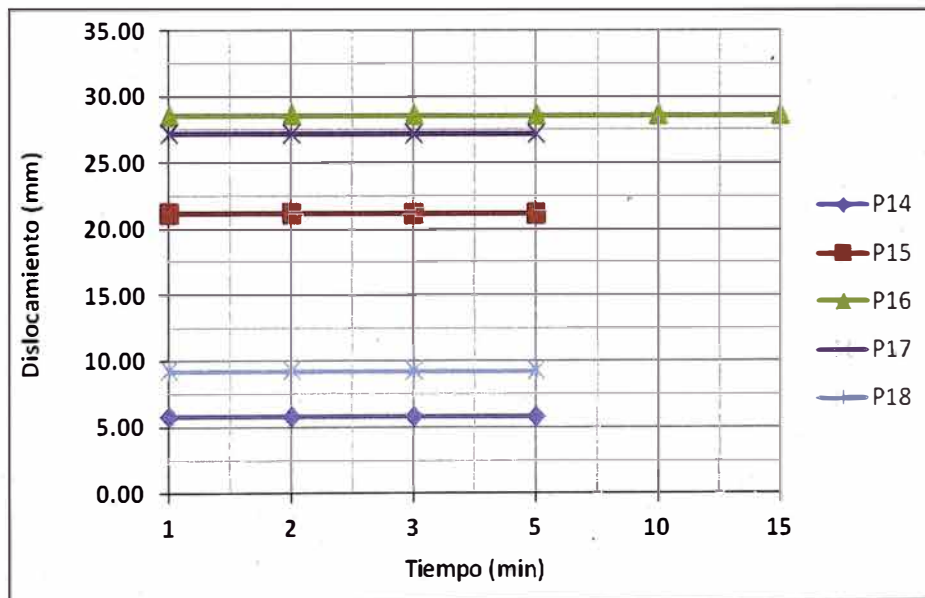


Figura C.7: Curvas desplazamiento /tiempo del pilote ensayado para cada nivel de carga (Ciclo 5).



FICHA DE CONTROL
 ENSAYO DE CARGA

Micropilote Puente Trujillo - Via Parque Rímac

Fecha:

Ensayo Nº 1

FECHA 16/08/2013

Carga de ensayo (KN):

Carga	Gr Grapas	Q (KUN)	P (Bar)	Tiempo (min)	DESPLAZAMIENTO MICROPILOTE						Tiempo total
					CELDA	DFT1	DFT2	DFT3	DFT4	PROM	
0	0.10	200	61	1	80	2.020	2.320	1.680	1.540	1.890	1
				2	80	2.020	2.320	1.680	1.540	1.890	2
				3	80	2.025	2.330	1.680	1.540	1.894	3
				5	80	2.025	2.330	1.680	1.540	1.894	5
1	0.25	500	146	1	440	6.600	7.350	5.830	5.710	6.373	6
				2	440	6.600	7.350	5.830	5.710	6.373	7
				3	440	6.600	7.350	5.830	5.710	6.373	8
				5	440	6.600	7.350	5.830	5.710	6.373	10
				10	430	6.600	7.350	5.830	5.710	6.373	15
2	0.10	200	61	1	220	4.545	5.185	3.970	3.830	4.383	21
				2	220	4.545	5.185	3.970	3.830	4.383	22
				3	220	4.545	5.185	3.970	3.830	4.383	23
				5	220	4.545	5.185	3.970	3.830	4.383	25
				15	220	4.545	5.185	3.970	3.830	4.383	36
3	0.25	500	146	1	430	6.670	7.445	5.930	5.750	6.449	26
				2	430	6.670	7.445	5.930	5.750	6.449	27
				3	430	6.670	7.445	5.930	5.750	6.449	28
				5	430	6.670	7.445	5.930	5.750	6.449	30
4	0.40	800	230	1	740	10.540	11.880	9.710	9.630	10.448	31
				2	740	10.540	11.880	9.710	9.630	10.448	32
				3	735	10.540	11.880	9.710	9.630	10.448	33
				5	735	10.540	11.880	9.710	9.630	10.448	35
				10	735	10.540	11.880	9.710	9.630	10.448	40
6	0.25	500	146	1	520	8.375	9.635	7.680	7.580	8.318	46
				2	520	8.360	9.630	7.680	7.580	8.318	47
				3	520	8.360	9.630	7.680	7.580	8.318	48
				5	520	8.350	9.610	7.680	7.580	8.305	50
8	0.10	200	61	1	260	4.565	5.630	4.000	3.845	4.510	51
				2	260	4.550	5.630	3.950	3.845	4.494	52
				3	260	4.550	5.630	3.950	3.845	4.494	53
				5	260	4.550	5.630	3.950	3.845	4.494	55
7	0.40	800	230	1	740	11.775	13.205	9.970	9.885	11.209	56
				2	740	11.775	13.205	9.970	9.885	11.209	57
				3	740	11.775	13.205	9.970	9.885	11.209	58
				5	740	11.775	13.205	9.970	9.885	11.209	60
8	0.55	1100	314	1	1000	14.980	17.030	14.405	14.365	15.185	61
				2	1000	14.980	17.030	14.405	14.365	15.185	62
				3	1000	14.980	17.030	14.405	14.365	15.185	63
				5	1000	14.970	17.030	14.405	14.365	15.182	65
				10	995	14.960	17.020	14.400	14.350	15.181	70
8	0.40	800	230	1	800	12.935	14.960	12.460	12.380	13.181	76
				2	800	12.930	14.950	12.450	12.375	13.174	77
				3	800	12.930	14.950	12.440	12.375	13.174	78
				5	800	12.930	14.950	12.440	12.375	13.174	80

EJECUCIÓN DE MURO PANTALLA DE MICROPILOTES PARA LA CONTENCIÓN
 DE LA VÍA EVITAMIENTO PARA EL PROYECTO VÍA PARQUE RÍMAC.

Bach. Sánchez Alfaro, Thomas Iván

10	0.10	300	41	1	340	4.760	6.390	4.315	4.260	4.931	81
				2	340	4.730	6.360	4.315	4.260	4.914	82
				3	340	4.730	6.360	4.310	4.260	4.906	83
				5	340	4.721	6.360	4.310	4.260	4.906	84
11	0.55	1100	314	1	1010	18.215	17.310	14.690	14.640	15.464	86
				2	1010	18.215	17.310	14.690	14.640	15.464	87
				3	1010	18.215	17.310	14.690	14.640	15.464	88
				5	1010	18.215	17.310	14.690	14.640	15.464	89
12	0.70	1400	396	1	1240	20.020	22.520	19.820	19.800	20.540	91
				2	1240	20.000	22.520	19.820	19.800	20.535	92
				3	1240	19.980	22.500	19.820	19.800	20.525	93
				5	1240	19.970	22.500	19.820	19.800	20.523	94
				10	1240	19.950	22.450	19.820	19.790	20.503	100
13	0.55	1100	314	1	1060	18.030	20.530	17.920	17.915	18.559	105
				2	1060	18.030	20.520	17.920	17.900	18.553	107
				3	1065	18.020	20.520	17.910	17.900	18.548	108
				5	1065	18.020	20.520	17.910	17.900	18.548	110
				1	270	5.270	7.400	5.270	5.270	5.803	111
14	0.10	300	61	2	270	5.260	7.395	5.270	5.270	5.799	112
				3	270	5.260	7.390	5.260	5.270	5.795	113
				5	280	5.250	7.390	5.255	5.270	5.791	115
				1	1265	20.560	23.105	20.490	20.520	21.169	116
15	0.70	1400	396	2	1265	20.560	23.105	20.490	20.520	21.169	117
				3	1265	20.560	23.105	20.490	20.520	21.169	118
				5	1265	20.560	23.105	20.490	20.520	21.169	120
				1	1460	27.195	30.600	28.060	28.400	28.561	121
18	0.65	1700	463	2	1460	27.195	30.600	28.060	28.410	28.568	122
				3	1460	27.195	30.600	28.060	28.420	28.570	123
				5	1460	27.200	30.610	28.070	28.420	28.575	125
				10	1440	27.200	30.620	28.070	28.430	28.580	130
				15	1440	27.200	30.620	28.070	28.430	28.580	135
17	0.70	1400	396	1	1300	25.760	29.170	26.630	27.050	27.160	136
				2	1300	25.760	29.170	26.630	27.040	27.150	137
				3	1300	25.760	29.170	26.630	27.040	27.150	138
				5	1300	25.760	29.170	26.630	27.040	27.150	140
16	0.10	300	61	1	280	8.020	10.960	8.930	9.110	9.255	141
				2	280	8.015	10.950	8.930	9.110	9.251	142
				3	280	8.010	10.950	8.930	9.110	9.250	143
				5	280	8.000	10.940	8.920	9.100	9.240	145
19	0.85	1700		1	ROTURA						
				2							
				3							
				5							
				1							
20	1.00	2000		2							
				3							
				5							
				10							
				15							
				20							
				30							
				45							
21	0.85	1700		1							
				2							
				3							
				5							
22	0.10	300		1							
				2							
				3							
				5							

OBSERVACIONES: _____

NOTA: ENCL. PERUJ

SUPERVISION

CLIENTE

Cuadro C.2: Ficha de Control de Ensayo

Con base en las lecturas de cada nivel de carga, y para una mejor evaluación del desempeño del micropilote, se presenta la curva carga/desplazamiento obtenida para cada ciclo de carga/descarga (Figura C.9).

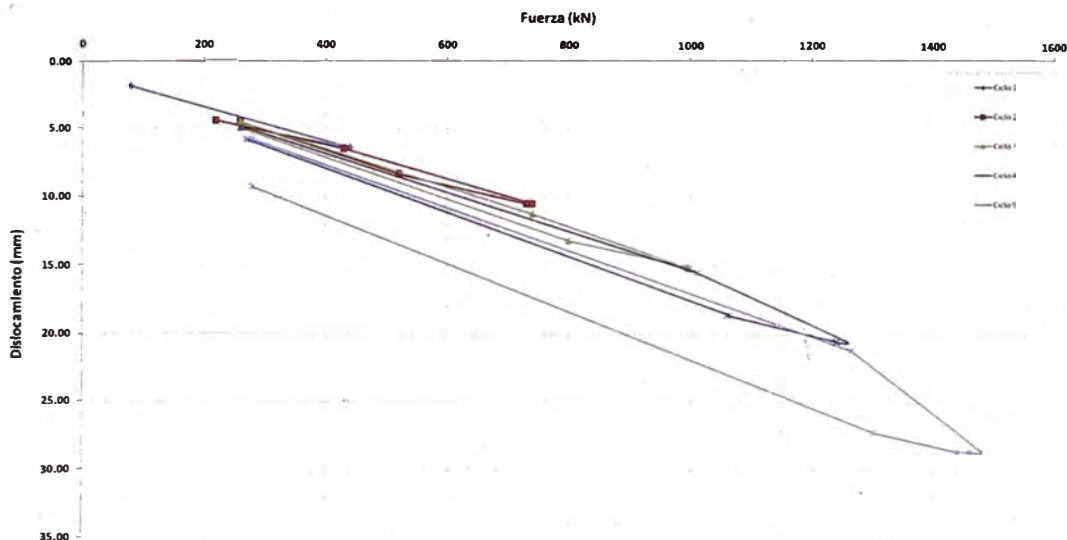


Figura C.8: Curva carga/desplazamiento del micropilote ensayado.

C.5. Consideraciones técnicas

La ejecución de este ensayo ha comprobado la adecuación del proceso constructivo y evaluar el desempeño del micropilote, en términos de capacidad resistente y asentamientos del mismo.

Del análisis de la curva carga/desplazamiento, se observa que exceptuando el fenómeno de rotura, el asentamiento máximo ocurrió en el momento de aplicación de la carga de 1480kN (Ciclo 5), donde presentó un valor aproximado de 29 mm. Se observa que en los primeros ciclos de carga aplicados, las curvas carga/descarga son prácticamente rectas y lineales.

Asimismo, se supone que las deformaciones experimentadas se encuentran, todavía, dentro del régimen elástico.

Durante el ensayo los valores registrados en la celda de carga difirieron de la carga aplicada en la gata hidráulica, por lo que en nuestra evaluación se consideraran los valores registrados en la primera, por representaren la carga real transmitida al micropilote (Ficha de control en anexo).

Dentro del primer ciclo de carga, es todavía posible identificar algún reajuste de la estructura, lo que conduce a un desplazamiento aproximado de 4 mm. En los siguientes ciclos, excepto el en último, es posible observar que en el momento de las descargas las deformaciones del micropilote se recuperan y toman un valor similar. Tal situación comprueba la conclusión presentada en el párrafo anterior, que el micropilote se encuentra todavía en el régimen elástico.

Parte del asentamiento máximo, ocurrido durante el quinto ciclo de carga es de origen plástica por lo que, en el momento de la descarga, el micropilote no recupera la deformación en su totalidad.

Tal como fue mencionado anteriormente, no se pudo proceder al sexto y último ciclo de carga una vez que se alcanzó la rotura durante la primera carga de este ciclo. No se registró la deformación asociada a la rotura, dado esta tener ocurrido antes del primer registro (1minuto) y por tener como resultado del desprendimiento la inutilización de los deflectómetros que fueron proyectados en ese momento.