

## 4754 – SOTERRADO LÍNEA DE ALTA TENSIÓN TRAMO LOS MAQUIS – POLPAICO, REGIÓN METROPOLITANA

CÓDIGO ARCADIS: N° 4754-1000-GE-INF-0002\_1

### INFORME FINAL CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

FEBRERO 2016

| REV. |              | Ejecutor   | Revisor                                | Aprobador  | DESCRIPCIÓN                   |
|------|--------------|------------|--|------------|-------------------------------|
| P    | Nombre Firma | P. Torres  | G. Catalán<br>C. Sandoval<br>E. Santos | F. García  | Coordinación Interna          |
|      | Fecha        | 03.11.2016 | 03.11.2016                             | 03.11.2016 |                               |
| A    | Nombre Firma | P. Torres  | G. Catalán<br>C. Sandoval<br>E. Santos | F. García  | Revisión y Aprobación Cliente |
|      | Fecha        | 03.11.2016 | 03.11.2016                             | 03.11.2016 |                               |
| B    | Nombre Firma | P. Torres  | G. Catalán<br>C. Sandoval<br>E. Santos | F. García  | Revisión y Aprobación Cliente |
|      | Fecha        | 04.11.2016 | 04.11.2016                             | 04.11.2016 |                               |
| 0    | Nombre Firma | P. Torres  | G. Catalán<br>C. Sandoval<br>E. Santos | F. García  | Aprobado Cliente              |
|      | Fecha        | 07.11.2016 | 07.11.2016                             | 07.11.2016 |                               |
| 1    | Nombre Firma | P. Torres  | G. Catalán<br>C. Sandoval<br>E. Santos | F. García  | Aprobado Cliente              |
|      | Fecha        | 07.02.2016 | 07.02.2016                             | 07.02.2016 |                               |

# CONTACTO

**FELIPE GARCÍA**  
**Jefe de Proyecto**

T +56 2 381 2008  
e [Felipe.garcia@arcadis.com](mailto:Felipe.garcia@arcadis.com)

Arcadis.  
Av. Antonio Varas 621  
Providencia, CP 7500966  
Santiago | Chile

---

## CONTENIDO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUCCIÓN .....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>2 ALCANCE .....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>3 REFERENCIAS .....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>4 ANTECEDENTES GEOLÓGICOS - GEOTÉCNICOS.....</b>                                  | <b>6</b>  |
| <b>4.1 MARCO GEOLÓGICO .....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>4.2 CAMPAÑAS DE PROSPECCIONES GEOTÉCNICAS ANTERIORES .....</b>                    | <b>7</b>  |
| 4.2.1 Estratigrafía por Sector (Ref. 1) .....  | 8         |
| 4.2.2 Parametrización Geotécnica por Sector del Aeródromo de Peldehue (Ref. 1) ..... | 9         |
| <b>5 CAMPAÑA DE PROSPECCIONES ARCADIS 2016 .....</b>                                 | <b>10</b> |
| <b>5.1 Generalidades .....</b>   | <b>10</b> |
| <b>5.2 Calicatas .....</b>   | <b>10</b> |
| <b>5.3 Perfiles Sísmicos .....</b>   | <b>11</b> |
| <b>5.4 Ensayos de Terreno .....</b>  | <b>12</b> |
| 5.4.1 Densidad In Situ .....   | 12        |
| <b>5.5 Ensayos de Laboratorio.....</b>   | <b>13</b> |
| 5.5.1 Propiedades Índice .....   | 14        |
| 5.5.2 Ensayo de Compactación .....   | 15        |
| 5.5.3 Ensayos Triaxiales .....   | 16        |
| <b>6 ANÁLISIS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA. ....</b>                                     | <b>18</b> |
| <b>6.1 Estratigrafías por Sector Tramo a Soterrar .....</b>                          | <b>18</b> |
| 6.1.1 Sector Patio Mufa Poniente .....   | 18        |
| 6.1.2 Sector Túnel Liner Lado Poniente .....   | 18        |
| 6.1.3 Sector Túnel Liner Lado Oriente .....  | 18        |
| 6.1.4 Sector Patio Mufa Oriente .....  | 18        |
| <b>6.2 Parametrización Geotécnica por Sector Tramo a soterrar .....</b>              | <b>19</b> |
| 6.2.1 Sector Patio Mufa Poniente .....   | 19        |
| 6.2.2 Sector Túnel Liner Poniente.....   | 19        |
| 6.2.3 Sector Túnel Liner Oriente .....   | 20        |
| 6.2.4 Sector Patio Mufa Oriente.....   | 20        |
| <b>7 BASES PARA EL DISEÑO DE FUNDACIONES.....</b>                                    | <b>20</b> |
| <b>7.1 Capacidad de Soporte.....</b>   | <b>20</b> |
| 7.1.1 Capacidad de Soporte por Resistencia (Hansen) .....                            | 20        |
| 7.1.2 Método de Asentamiento Admisible .....   | 23        |
| <b>7.2 Estimación Módulo de Deformación Equivalente .....</b>                        | <b>23</b> |
| <b>7.3 Constante de Balasto .....</b>  | <b>24</b> |
| <b>7.4 Asentamientos instantáneos.....</b>   | <b>25</b> |
| <b>7.5 Área en Compresión de Fundaciones .....</b>                                   | <b>26</b> |
| <b>7.6 Clasificación Sísmica del Tipo de Suelo .....</b>                             | <b>26</b> |
| <b>7.7 Recepción de Niveles de Fundación, Excavación y Taludes .....</b>             | <b>26</b> |
| <b>7.8 Escarpe .....</b>   | <b>26</b> |
| <b>7.9 Tratamiento de Sellos .....</b>   | <b>26</b> |
| <b>7.10 Rellenos Estructurales.....</b>  | <b>27</b> |
| 7.10.1 Materiales.....   | 27        |
| 7.10.2 Espesores de Capa.....  | 27        |
| 7.10.3 Compactación .....  | 27        |
| 7.10.4 Control de Calidad .....  | 28        |
| <b>7.11 Aprobación de Cada Capa y Autorización de Colocación de la Siguiete.....</b> | <b>28</b> |

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| <b>7.12 Empujes</b> .....           | <b>28</b> |
| <b>7.13 Taludes en Cortes</b> ..... | <b>30</b> |
| <b>8 CONCLUSIONES</b> .....         | <b>30</b> |

## LISTADO DE ANEXOS

|         |   |
|---------|---|
| Anexo A | Estratigrafías, Registro Fotográfico y Densidad In Situ. Campaña Arcadis 2016 |
| Anexo B | Registro Fotográfico Terreno. Campaña Arcadis 2016                            |
| Anexo C | Informe de Ensayos de Laboratorio. Campaña Arcadis 2016                       |
| Anexo D | Estudio Geofísico 2016  |

## LISTADO DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 4-1: Prospecciones ejecutadas campaña ARCADIS (julio 2010) .....                             | 8  |
| Tabla 5-1: Ubicación y profundidad Calicatas ARCADIS 2016 .....                                    | 11 |
| Tabla 5-2: Perfiles Sísmicos – Ubicación y Coordenadas .....                                       | 12 |
| Tabla 5-3: Resultado Perfil de Refracción Sísmica.....   | 12 |
| Tabla 5-4: Resultado Perfil MASW (1 dimensión).....  | 12 |
| Tabla 5-2: Ensayos de Densidad In Situ en calicatas excavadas sector proyecto LAT a soterrar ..... | 13 |
| Tabla 5-3: Programa de Ensayos de Laboratorio .....  | 14 |
| Tabla 5-7: Resultados ensayo densidad máxima y mínima .....  | 16 |
| Tabla 5-5: Resultados ensayo proctor modificado.....   | 16 |
| Tabla 5-6: Datos de Confección Ensayos Triaxiales .....  | 16 |
| Tabla 6-1: Parámetros geotécnicos adoptados sector Patio Mufa Poniente.....                        | 19 |
| Tabla 6-2: Parámetros geotécnicos adoptados sector Túnel Liner Poniente .....                      | 19 |
| Tabla 7-1: Factor de forma para asentamiento (Whitlow, 1994, Ref. 6).....                          | 25 |
| Tabla 7-2: Factor de forma para giro. ....   | 25 |
| Tabla 7-3: Requisitos del material para Rellenos Estructurales .....                               | 27 |
| Tabla 7-4: Coeficientes de empujes estáticos y sísmicos. ....                                      | 29 |
| Tabla 7-5: Taludes recomendados.....   | 30 |

## LISTADO DE FIGURAS

|  |   |
|--|---|
| Figura 1-1: Ubicación general proyecto LAT a soterrar (aeródromo Peldehue).....  | 5 |
| Figura 1-2: Detalle de ubicación tramo línea a soterrar y aeródromo Peldehue. ....   | 5 |
| Figura 4-1: Mapa Geológico sector proyecto LAT a soterrar.....   | 7 |
| Figura 4-2: Ubicación prospecciones ejecutadas campaña ARCADIS (julio 2010) y layout Línea a soterrar (Ref. 3 y Ref. 4)..... | 8 |

4754 – SOTERRADO LÍNEA DE ALTA TENSIÓN TRAMO LOS MAQUIS – POLPAICO, REGIÓN METROPOLITANA

|  |    |
|--|----|
| Figura 5-1: Ubicación prospecciones ejecutadas campaña ARCADIS (Octubre 2016) .....  | 11 |
| Figura 5-2: Resultados de Ensayos de Densidad in Situ en profundidad .....   | 13 |
| Figura 5-3: Granulometrías en muestras de calicatas. Tramo a Línea a soterrar .....  | 15 |
| Figura 5-4: Límites de Atterberg en muestras de calicata. Tramo a Línea a soterrar .....   | 15 |
| Figura 5-5: Ensayo Triaxial CIU, Muestra CA-2-H5 (3,45-5,00). Tramo a Línea a soterrar .....   | 17 |
| Figura 5-6: Ensayo Triaxial CIU, Muestra CA-1 H6 (4,30-6,00). Tramo a Línea a soterrar .....   | 17 |
| Figura 7-1: Fundación Superficial con una base rugosa definida .....   | 20 |
| Figura 7-2: Modelo Teórico de Capacidad de Soporte. Lado derecho por Terzaghi (1943), Hansen (1970) y lado derecho por Meyerhof (1951) ..... | 21 |
| Figura 7-3: Fundación Superficial inclinada .....  | 22 |
| Figura 7-4: Estimación módulo de deformación equivalente .....   | 24 |
| Figura 7-5: Diagramas de empuje de diseño para una estructura de contención .....  | 30 |

## 1 INTRODUCCIÓN

En el contexto de la consultoría denominada “Soterrado Línea Alta Tensión Tramo Los Maquis-Polpaico (Aeródromo de Peldehue) Región Metropolitana”, de la Dirección de Aeropuertos (DAP), se presenta según lo solicitado en los Términos de Referencia (TdR), el documento “Informe Final Caracterización Geotécnica”, correspondiente a la Etapa I del proyecto.

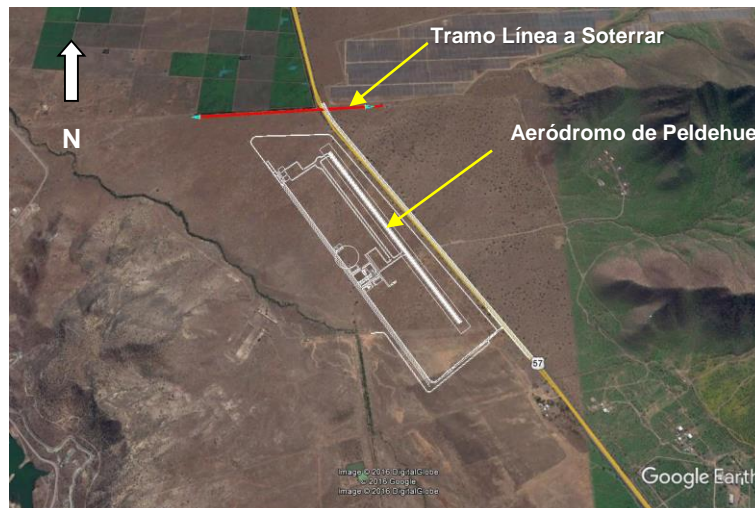
El tramo de la línea mencionado se ubica actualmente a 400 m aproximadamente al norte del sector donde se emplazará la pista del Aeródromo de Peldehue, en la comuna de Colina.

En la Figura 1-1 se indica la ubicación general del proyecto, mientras que en la Figura 1-2 se presenta la ubicación en detalle del tramo de línea a soterrar y del Aeródromo de Peldehue.

**Figura 1-1: Ubicación general proyecto LAT a soterrar (aeródromo Peldehue)**



**Figura 1-2: Detalle de ubicación tramo línea a soterrar y aeródromo Peldehue.**



El presente documento corresponde al Informe de Caracterización Geotécnica del sector donde se emplazará el soterrado de la línea de alta tensión, que incluye la interpretación y el análisis de las prospecciones de terreno desarrolladas en el área y de los ensayos de laboratorio ejecutados en las muestras obtenidas de éstas.

## 2 ALCANCE

El alcance del documento corresponde al estudio de mecánica de suelos del sector donde se emplazará el Soterrado Línea Alta Tensión Tramo Los Maquis-Polpaico (Aeródromo de Peldehue), en base a los antecedentes disponibles, las prospecciones de terreno desarrolladas en el sector, ensayos de laboratorio y a la experiencia del consultor. El alcance específico es el siguiente:

- Revisión y análisis de antecedentes geológicos-geotécnicos del sector del proyecto.
- Planificación, supervisión y seguimiento de prospecciones y ensayos in-situ.
- Planificación, supervisión y seguimiento de ensayos de laboratorio.
- Revisión, interpretación y análisis de los ensayos de terreno y de laboratorio, así como del conjunto de las prospecciones.
- Estratigrafía y parametrización Geotécnica del suelo de fundación del sector donde se emplazará soterrado de la línea de alta tensión.
- Bases para el diseño de fundación.
- Elaboración de Informe de Caracterización Geotécnica de soporte.

## 3 REFERENCIAS

Para la elaboración del presente informe, se han considerado los siguientes antecedentes:

- Ref. 1 ARCADIS (mayo, 2012). Documento N° 3529-1120-GE-RP-002\_0. Informe Geotécnico para Fundaciones y Pavimentos. Proyecto Construcción Nuevo Aeródromo de Peldehue Región Metropolitana.
- Ref. 2 ARCADIS (octubre, 2016). Documento N° 4754-1000-GA-INF-0001\_B. Informe de Análisis y Antecedentes Previos. Proyecto Soterrado Línea de Alta Tensión Aeródromo de Peldehue.
- Ref. 3 ARCADIS (mayo, 2012). Plano N° 3529-1120-GE-PL-001\_0. Planta Prospecciones Aeródromo. Proyecto Construcción Nuevo Aeródromo de Peldehue Región Metropolitana.
- Ref. 4 ARCADIS (noviembre, 2016). Plano N° 4754-1000-AE-PLA-002\_0. Superficie de Aproximación - Superficie de Transición. Proyecto Soterrado Línea de Alta Tensión Aeródromo de Peldehue.
- Ref. 5 ARCADIS (noviembre, 2016). Documento N° 4574-1000-GE-INF-0001\_B. Informe Preliminar de Caracterización Geotécnica. Proyecto Soterrado Línea de Alta Tensión Aeródromo de Peldehue.
- Ref. 6 Bowles, Joseph E. Libro "Foundations Analysis and Design". Capítulo 4-3.
- Ref. 7 Ishihara, Kenji. Libro "Earthquake Geotechnical Engineering". Capítulo 1-7.

## 4 ANTECEDENTES GEOLÓGICOS - GEOTÉCNICOS

### 4.1 MARCO GEOLÓGICO

De acuerdo a los antecedentes consultados en el Mapa Geológico N°11, Área Tiltill -Santiago, Región Metropolitana, Escala 1 : 100.000 de 1999, editado por el Sernageomin (ver Figura 4-1), la planicie sobre la que se proyecta el soterrado de la línea de alta tensión corresponde a la Unidad Geológica Qa, Depósitos Aluviales (del Pleistoceno Medio a Pleistoceno Superior), descritos como sedimentos no consolidados, que forman parte de extensos abanicos aluviales coalescentes con suave pendiente hacia el Oeste, provenientes de las hoyas hidrográficas principales. Además, hacia el Oeste, en esta unidad



**Figura 4-2: Ubicación prospecciones ejecutadas campaña ARCADIS (julio 2010) y layout Línea a soterrar (Ref. 3 y Ref. 4)**



**Tabla 4-1: Prospecciones ejecutadas campaña ARCADIS (julio 2010)**

| Sector del Aeródromo prospectado   | Cantidad de Calicatas | Profundidad (m) |
|--|-----------------------|-----------------|
| Eje de la pista principal, pistas de rodajes y plataformas                       | 23                    | 1,8             |
| Torres Control   | 2                     | 4,5 – 4,7       |
| Edificios Administrativos  | 4                     | 3,0 – 3,2       |
| Hangares, plataformas, planta tratamiento aguas servidas y subestación eléctrica | 10                    | 2,0 – 2,5       |
| Camino Perimetral  | 3                     | 1,5             |

Las calicatas excavadas durante la campaña ARCADIS 2010, se ubicaron aproximadamente a 400 m del sector donde se desarrolla el actual proyecto. De acuerdo a las características geológicas del sector no existe una variación considerable de las propiedades geotécnicas entre los suelos de fundación de ambos sectores.

#### 4.2.1 Estratigrafía por Sector (Ref. 1)

Se presenta las estratigrafías por sector del Aeródromo de Peldehue, las que se detallan en el informe “Geotécnico para Fundaciones y Pavimentos. Proyecto Construcción Nuevo Aeródromo de Peldehue Región Metropolitana” (Ref. 1).

#### 4.2.1.1 Torre de Control

En el caso de la ubicación de la Torre de Control, las prospecciones excavadas alcanzaron estratos de pomacita redepositada, sobre estratos de suelos gravosos y arenosos y eventualmente algunas capas de suelos finos de alta consistencia y resistencia seca. Estos estratos superan la profundidad reconocida, mayor a 4,5 metros.

En las calicatas excavadas no detectó nivel freático.

#### 4.2.1.2 Edificios Administrativos de la DGAC y de la DAP

Para los Edificios Administrativos de la DGAC y de la DAP en las prospecciones excavadas se alcanzaron estratos de suelos arenosos y gravosos y algunas capas de suelos finos de alta consistencia y alta resistencia seca.

Para los Edificios Administrativos de la DGAC y de la DAP se considera un Sello de Excavación para escarpe y mejoramiento del suelo de fundación con relleno estructural de 1 metro bajo la cota de terreno actual o en la Cota = 664,0 del Sistema Altimétrico del Proyecto, lo que coincide con los criterios establecidos para la Torre de Control y permite realizar un mejoramiento general único para toda esa área.

En las calicatas excavadas no detectó nivel freático.

#### 4.2.1.3 Hangar y otras instalaciones del Ejército

En la ubicación donde se construirán el Hangar y otras instalaciones del Ejército, al norponiente del terreno del Aeródromo (Calicatas CH-5 y CH-6), se detectaron suelos granulares de tipo arenoso con finos y en forma aislada gravosos. (CH-5 tiene diferentes estratigrafías para sus paredes norte y sur)

Dado lo anterior, para estos suelos se considera un Sello de Excavación para escarpe y mejoramiento del suelo de fundación con relleno estructural de 0,5 metros bajo la cota de terreno actual o en la Cota = 664,5 del Sistema Altimétrico del Proyecto.

En las calicatas excavadas no detectó nivel freático.

### 4.2.2 Parametrización Geotécnica por Sector del Aeródromo de Peldehue (Ref. 1)

A continuación se presenta un resumen los parámetros geotécnicos adoptados por sector, los que son detallados en el informe “Geotécnico para Fundaciones y Pavimentos. Proyecto Construcción Nuevo Aeródromo de Peldehue Región Metropolitana” (Ref. 1).

#### 4.2.2.1 Torre de Control

Para el sector de la Torres de Control, el Informe “Geotécnico para Fundaciones y Pavimentos. Proyecto Construcción Nuevo Aeródromo de Peldehue Región Metropolitana” (Ref. 1), recomienda adoptar conservadoramente los siguientes parámetros para el suelo de fundación bajo la Torre de Control:

$\Phi = 33^\circ$  ángulo de fricción interna.  
 $c = 10 \text{ t/m}^2$  cohesión  
 $\gamma = 2,0 \text{ t/m}^3$  densidad total promedio

#### 4.2.2.2 Edificios Administrativos de la DGAC y de la DAP

En el área de los Edificios Administrativos el Informe “Geotécnico para Fundaciones y Pavimentos. Proyecto Construcción Nuevo Aeródromo de Peldehue Región Metropolitana” (Ref. 1), recomienda que se adopten conservadoramente los siguientes parámetros para el suelo de fundación:

$$\begin{aligned}\Phi &= 30^\circ \text{ ángulo de fricción interna.} \\ c &= 10 \text{ t/m}^2 \text{ cohesión} \\ \gamma &= 2,0 \text{ t/m}^3 \text{ densidad total promedio.}\end{aligned}$$

#### 4.2.2.3 Hangar y otras instalaciones del Ejército

En el sector de Hangar y otras instalaciones del Ejército, el Informe “Geotécnico para Fundaciones y Pavimentos. Proyecto Construcción Nuevo Aeródromo de Peldehue Región Metropolitana” (Ref. 1), recomienda que se adopten los parámetros geotécnicos definidos para los Edificios Administrativos en 4.2.2.2.

## 5 CAMPAÑA DE PROSPECCIONES ARCADIS 2016

### 5.1 Generalidades

Considerando la información disponible de prospecciones efectuadas en torno al sector del proyecto, se planificó una campaña de prospecciones en base a la excavación de 4 calicatas, 1 perfil de refracción sísmica y 1 perfil MASW, con el objeto de generar un modelo geotécnico del sitio y definir los parámetros del comportamiento mecánico de los suelos presentes en el sitio de interés específico. Estos parámetros son requeridos para el diseño de fundaciones de estructuras, excavaciones, túnel liner, piques y eventuales mejoramientos locales de suelos.

Las excavaciones se efectuaron en el emplazamiento de las estructuras consideradas como críticas, ya sea por condiciones operacionales o por las tensiones que inducen sobre el suelo de fundación, de acuerdo a los antecedentes presentados en el Informe de Análisis y Antecedentes Previos (Ref. 2). Estos sectores corresponden a los lugares de emplazamiento de los patios de mufa y túnel liner.

Las prospecciones y ensayos, tanto en terreno como en laboratorio, fueron coordinados por un ingeniero geotécnico desde oficina en Santiago y supervisados permanentemente por un técnico laboratorista de ARCADIS en terreno.

### 5.2 Calicatas

La campaña de prospecciones consideró la excavación de 4 calicatas, las cuales fueron excavadas mediante una retro-excavadora, marca JCB, modelo JCB 214 E 2A., de 95 HP de potencia.

Las profundidades nominales de las calicatas se definieron considerando los criterios recomendados por la literatura técnica, antecedentes de prospecciones anteriores y experiencia del consultor.

Para el túnel liner la profundidad mínima de exploración, en base a la experiencia del consultor en proyectos similares, viene dada como la profundidad de emplazamiento del túnel, donde se produce esfuerzos sobre el suelo (interacción suelo-estructura), la que corresponde a 6 m.

En la Figura 5-1 y Tabla 5-1 se presenta la ubicación, profundidad y coordenadas de las calicatas excavadas en esta campaña.

**Figura 5-1: Ubicación prospecciones ejecutadas campaña ARCADIS (Octubre 2016)**



**Tabla 5-1: Ubicación y profundidad Calicatas ARCADIS 2016**

| Sector del Tramo a soterrar | Identificación | Coordenadas WGS84 |         | Profundidad (m) |
|-----------------------------|----------------|-------------------|---------|-----------------|
|                             |                | Norte             | Este    |                 |
| Patio Mufa poniente         | CA-1           | 6.335.343         | 341.534 | 6,0             |
| Túnel Liner lado poniente   | CA-2           | 6.335.371         | 342.362 | 5,0 (*)         |
| Túnel Liner lado oriente    | CA-3           | 6.335.382         | 342.452 | 6,0             |
| Patio Mufa oriente          | CA-4           | 6.335.389         | 342.717 | 5,0 (*)         |

(\*) No se pudo alcanzar la profundidad nominal de 6,0 m debido a la alta compacidad del material.

En cada calicata se efectuó una descripción estratigráfica, 1 ensayo de densidad in situ, así como la extracción de muestras representativas de los estratos detectados para, posteriormente, someterlas a ensayos de laboratorio. La descripción estratigráfica de cada calicata se presenta en el Anexo A.

Cabe mencionar, que no se detectó presencia de nivel freático en las calicatas excavadas.

El plano en planta con el conjunto de prospecciones de las campañas 2010 y 2016 se detalla en el Plano N° 4754-1000-GE-PLA-0001.

### 5.3 Perfiles Sísmicos

Con objeto de complementar los antecedentes obtenidos a partir de la excavación de calicatas, se efectuó 1 perfil de refracción sísmica y 1 perfil MASW (1 dimensión) en el lado poniente del tramo del soterrado.

El objetivo de estos perfiles fue extender la información de las estratigrafías detectadas y estimar el contacto suelo-roca.

En la Tablas 5-2 se indican la ubicación, coordenadas y longitud de los perfiles ejecutados. En el Anexo D se presenta el informe consolidado preparado por TRV Geofísica, mientras que en el Plano N° 4754-1000-GE-PLA-0001 se detalla la ubicación del perfil geofísico.

**Tabla 5-2: Perfiles Sísmicos – Ubicación y Coordenadas.**

| Perfil Sísmico     | Long. (m) | Coordenadas (WGS84) |          |           |          |
|--------------------|-----------|---------------------|----------|-----------|----------|
|                    |           | Inicio              |          | Término   |          |
|                    |           | Norte (m)           | Este (m) | Norte (m) | Este (m) |
| Refracción         | 69        | 6.335.369           | 342.314  | 6.335.366 | 342.383  |
| MASW (1 dimensión) | 115       | 6.335.371           | 342.268  | 6.335.366 | 342.383  |

En las Tabla 5-3 y Tabla 5-4 se resumen los resultados provenientes de la interpretación de TRV Geofísica de los perfiles geofísicos efectuados.

**Tabla 5-3: Resultado Perfil de Refracción Sísmica**

| Perfil                    | Unidad | Litología | Espesor (m) |               | Velocidad Compresión Vp (m/s) |
|---------------------------|--------|-----------|-------------|---------------|-------------------------------|
|                           |        |           | Min.        | Max.          |                               |
| Refracción (Pel – 1 – Vp) | 1      | Suelo     | 0           | 2             | 824                           |
|                           | 2      | Suelo     | 17          | No se detecta | 1.100 – 2.400                 |

**Tabla 5-4: Resultado Perfil MASW (1 dimensión)**

| Perfil             | Unidad | Litología | Espesor (m) |               | Velocidad de Corte Vs (m/s) |
|--------------------|--------|-----------|-------------|---------------|-----------------------------|
|                    |        |           | Min.        | Max.          |                             |
| MASW (1 dimensión) | 1      | Suelo     | 0           | 2             | 173                         |
|                    | 2      | Suelo     | 17          | No se detecta | 661                         |

Dado los resultados de los perfiles sísmicos, se observa que los suelos detectados durante la campaña de exploraciones 2016 indican que los estratos prospectados superan la profundidad reconocida (mayor a 5,0 metros), con valores de Vs y Vp característicos de suelos de compacidad y rigidez alta.

Cabe mencionar que no se detectó contacto con roca en los 19 metros explorados.

## 5.4 Ensayos de Terreno

Los ensayos de terreno consistieron en la determinación de densidad in situ en los últimos estratos prospectados mediante el método de reemplazo con agua y cono de arena (Normas ASTM D5030/D5030M-13a y D1556-90).

### 5.4.1 Densidad In Situ

En la Tabla 5-5 se presenta el detalle de los ensayos de densidad in situ ejecutados en cada calicata.

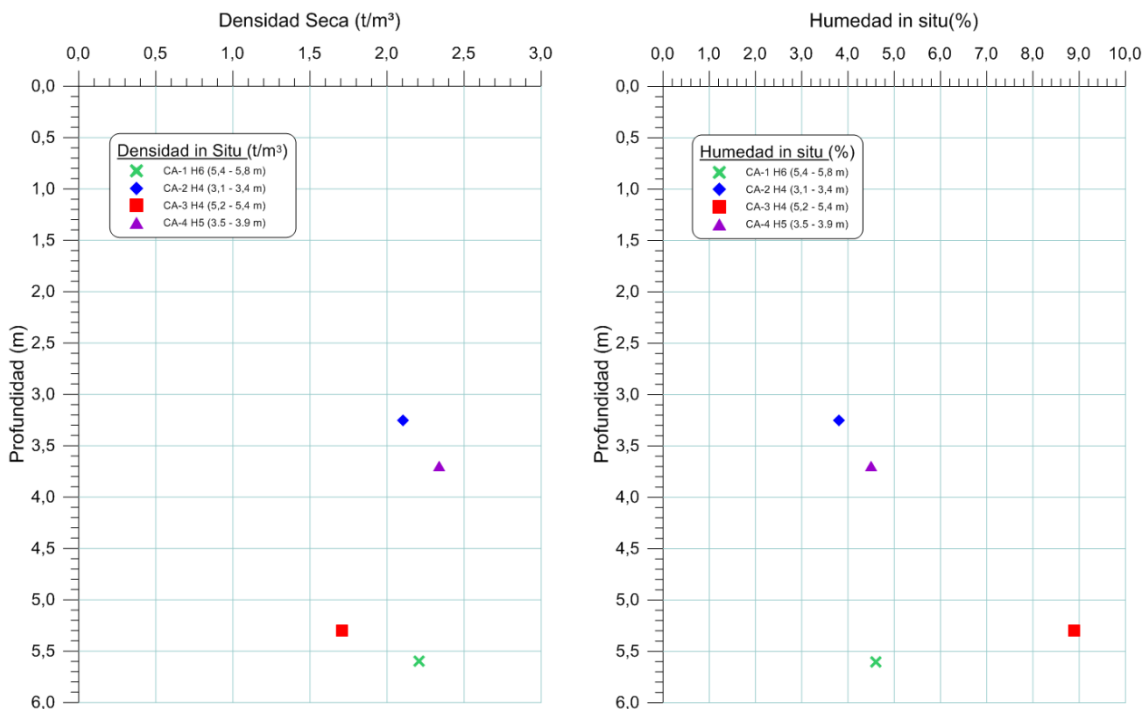
Tabla 5-5: Ensayos de Densidad In Situ en calicatas excavadas sector proyecto LAT a soterrar

| Calicata | Estrato | Profundidad de Ensayo [m] |       |
|----------|---------|---------------------------|-------|
|          |         | Desde                     | Hasta |
| CA-1     | H6      | 5,4                       | 5,8   |
| CA-2     | H4      | 3,1                       | 3,4   |
| CA-3     | H4      | 5,2                       | 5,4   |
| CA-4     | H5      | 3,5                       | 3,9   |

En el Anexo A se presenta el detalle de los ensayos de densidad in situ.

En la Figura 5-2 se presentan los resultados de densidad in situ mediante los métodos de reemplazo con agua y cono de arena, realizados a distintas profundidades de las calicatas excavadas en los sectores prospectados del tramo a soterrar.

Figura 5-2: Resultados de Ensayos de Densidad in Situ en profundidad



De los gráficos anteriores, se observa que las densidades secas varían entre 2,1 t/m<sup>3</sup> y 2,3 t/m<sup>3</sup>, con una media de 2,2 t/m<sup>3</sup> en las calicatas CA-1, CA-2 y CA-4, mientras que en la calicata CA-3 la densidad seca es de 1,7 t/m<sup>3</sup>. La humedad in situ presenta valores inferiores al 5%, con una media del 4,3% para las calicatas CA-1, CA-2 y CA-4, mientras que en la calicata CA-3 la humedad in situ es de 9%.

En general, se observan valores de densidad significativamente altos, los que podrían ser atribuidos al efecto puzolánico que ejercen los suelos finos de origen volcánico que se encuentran en el sector del proyecto. Lo anterior, es consecuente con el grado de compacidad descrita en las estratigrafías de las calicatas, donde se identifican 2 estratos de suelos (grava y arena fina).

### 5.5 Ensayos de Laboratorio

Se efectuaron ensayos de laboratorio sobre muestras representativas extraídas de las calicatas excavadas. Los ensayos fueron ejecutados por el Laboratorio de IDIEM (Santiago). En la Tabla 5-6 se presenta el detalle de los ensayos contemplados.

**Tabla 5-6: Programa de Ensayos de Laboratorio**

| CALICATA | Prof. Muestra (m) |   |       | Estrato | Clasificación (Bajo 3") | Proctor o Densidad Relativa | Triaxial CIU 15x30 cm | Triaxial CIU 5x10 cm |
|----------|-------------------|---|-------|---------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------|----------------------|
|          | Desde             | - | Hasta |         |                         |                             |                       |                      |
| CA-1     | 4,30              | - | 6,00  | H6      | x                       | x                           | x                     | -                    |
| CA-2     | 2,00              | - | 3,45  | H4      | x                       | -                           | -                     | -                    |
|          | 3,45              | - | 5,00  | H5      | x                       | x                           | -                     | x                    |
| CA-3     | 1,80              | - | 3,60  | H3      | x                       | -                           | -                     | -                    |
|          | 3,50              | - | 6,00  | H4      | x                       | x                           | -                     | -                    |
| CA-4     | 3,00              | - | 5,00  | H5      | x                       | x                           | -                     | -                    |

### 5.5.1 Propiedades Índice

En la Figura 5-3 y Figura 5-4 se observa la granulometría y límites de atterberg del suelo de fundación del tramo a soterrar, en donde se puede identificar 2 tipos de suelos (Gravas y arenas).

Las muestras CA-2 H5 (3,5 – 5,0) y CA-3 H4 (3,5 – 6,0) clasifican como arenas arcillo limosas de baja plasticidad (SC-SM), con un porcentaje de finos promedio en torno al 30%. Por otro lado, las muestras CA-1 H6 (4,3 -6,0), CA-2 H4 (2,0 -3,5) y CA-4 H5 (3,0 -5,0) clasifican como gravas mal graduadas con algo de limos y arcillas de baja a nula plasticidad (GP-GM y GP-GC), con un porcentaje de finos promedio en torno al 7%.

Figura 5-3: Granulometrías en muestras de calicatas. Tramo a Línea a soterrar

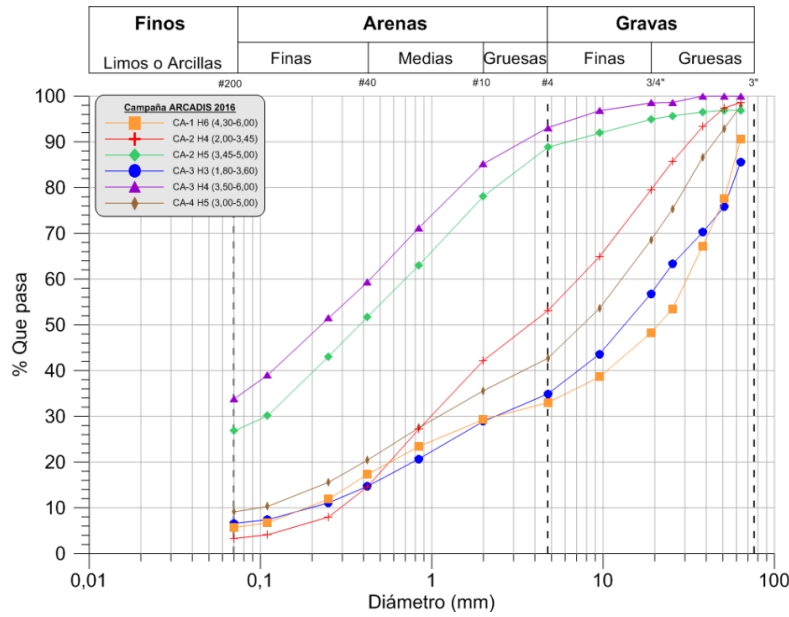
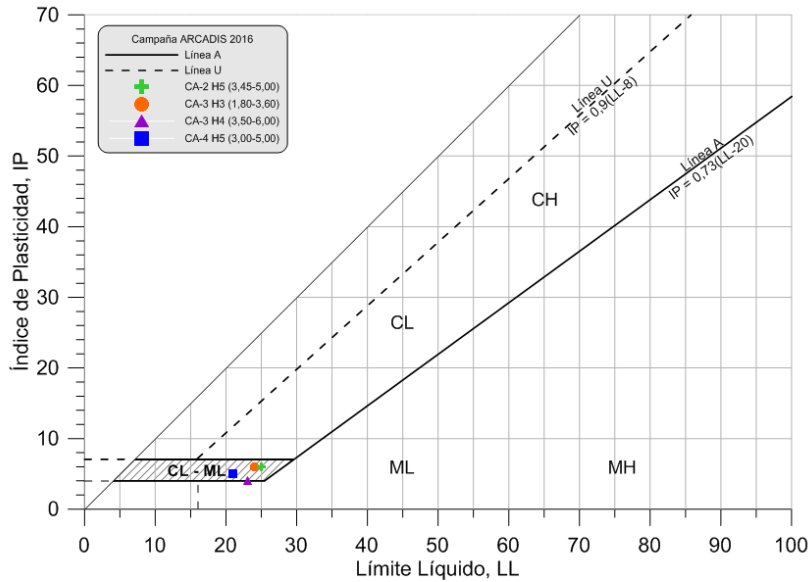


Figura 5-4: Límites de Atterberg en muestras de calicatas. Tramo a Línea a soterrar



Además, se determinó el peso específico en las muestras de calicatas, los valores obtenidos varían entre 2,84 y 2,90 debido a la presencia de magnetita.

### 5.5.2 Ensayo de Compactación

Con la finalidad de determinar el grado de compactación de los distintos sectores prospectados del tramo a soterrar, se llevaron a cabo ensayos Proctor Modificado o Densidad Máxima y Mínima, dependiendo del contenido de finos, en muestras representativas de las calicatas ejecutadas. Los resultados obtenidos se presentan en las Tabla 5-7 y Tabla 5-8.

**Tabla 5-7: Resultados ensayo densidad máxima y mínima**

| Sector                   | Calicata | Muestra | Profundidad [m] | Densidad Mínima (t/m <sup>3</sup> ) | Densidad Máxima (t/m <sup>3</sup> ) |
|--------------------------|----------|---------|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Patio Mufa poniente      | CA-1     | CA-1 H6 | (4,30-6,00)     | 1,92                                | 2,22                                |
| Túnel Liner lado oriente | CA-3     | CA-3 H3 | (1,80-3,60)     | 1,82                                | 2,19                                |
| Patio Mufa oriente       | CA-4     | CA-4 H5 | (3,00-5,00)     | 1,81                                | 2,17                                |

**Tabla 5-8: Resultados ensayo proctor modificado**

| Sector                    | Calicata | Muestra | Profundidad [m] | DMCS (t/m <sup>3</sup> ) | Humedad Óptima [%] |
|---------------------------|----------|---------|-----------------|--------------------------|--------------------|
| Túnel Liner lado poniente | CA-2     | CA-2 H5 | (3,45-5,00)     | 1,82                     | 14                 |
| Túnel Liner lado oriente  | CA-3     | CA-3 H4 | (3,50-6,00)     | 1,88                     | 14                 |

Los resultados de densidad máxima y mínima (Tabla 5-7) y densidad in situ (Tabla 5-5) realizados en las calicatas CA-1 y CA-4 (entre 3 y 6 m de profundidad), confirman un grado de compacidad significativamente alto; con una densidad relativa (DR) superior al 95%.

Por otra parte, los resultados del ensayo proctor indicados en las Tabla 5-8 y densidad in situ (Tabla 5-5) confirman un alto grado de compacidad para las calicatas CA-2 y CA-3 (entre los 3 y 6 m de profundidad), con valores de densidad máxima compactada seca (DMCS) del ensayo proctor modificado mayor al 90%.

Los altos valores de densidad relativa (DR) y grado de compactación proctor medidos en las calicatas excavadas, podrían ser atribuidos al efecto puzolánico que ejercen los suelos finos de origen volcánico que se encuentran en el sector del proyecto.

### 5.5.3 Ensayos Triaxiales

Se llevaron a cabo una serie de ensayos triaxiales consolidado isotrópicamente no drenado (CIU) en muestras remoldeadas extraídas de las calicatas excavadas en tramo a soterrar. Los datos de confección de cada ensayo se presentan en la Tabla 5-9, mientras que el detalle de los ensayos se presenta en Informe del Anexo C.

**Tabla 5-9: Datos de Confección Ensayos Triaxiales**

| Ensayo       | Muestra             | Clasificación USCS muestra | Densidad seca montaje (t/m <sup>3</sup> ) | Presiones de Confinamiento (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|--------------|---------------------|----------------------------|---|--|
| CIU 5x10 cm  | CA-2-H5 (3,45-5,00) | SC-SM                      | 1,71                                      | 1,0 – 3,0 – 6,0                                  |
| CIU 15x30 cm | CA-1 H6 (4,30-6,00) | GP-GM                      | 2,20                                      | 1,0 – 3,0 – 6,0                                  |

En la Figura 5-5 y Figura 5-6 se presentan los resultados de los ensayos triaxiales de las muestras indicadas en la Tabla 5-6. Esta interpretación considera los gráficos tensión - deformación axial (plano  $q - \epsilon_1$ ), la trayectoria de tensiones (plano  $q - p'$ ), la variación de presión poros con la deformación axial (plano  $\Delta u - \epsilon_1$ ) y la variación del índice de vacíos con la presión media efectiva (planos  $e - p'$  y  $e - \log p'$ ).

Figura 5-5: Ensayo Triaxial CIU, Muestra CA-2-H5 (3,45-5,00). Tramo a Línea a soterrar

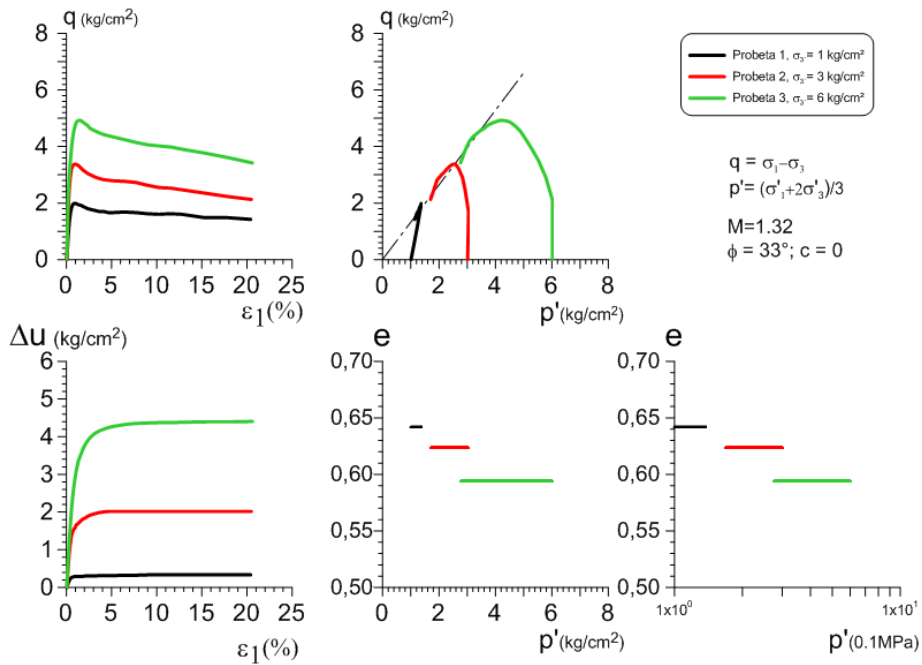
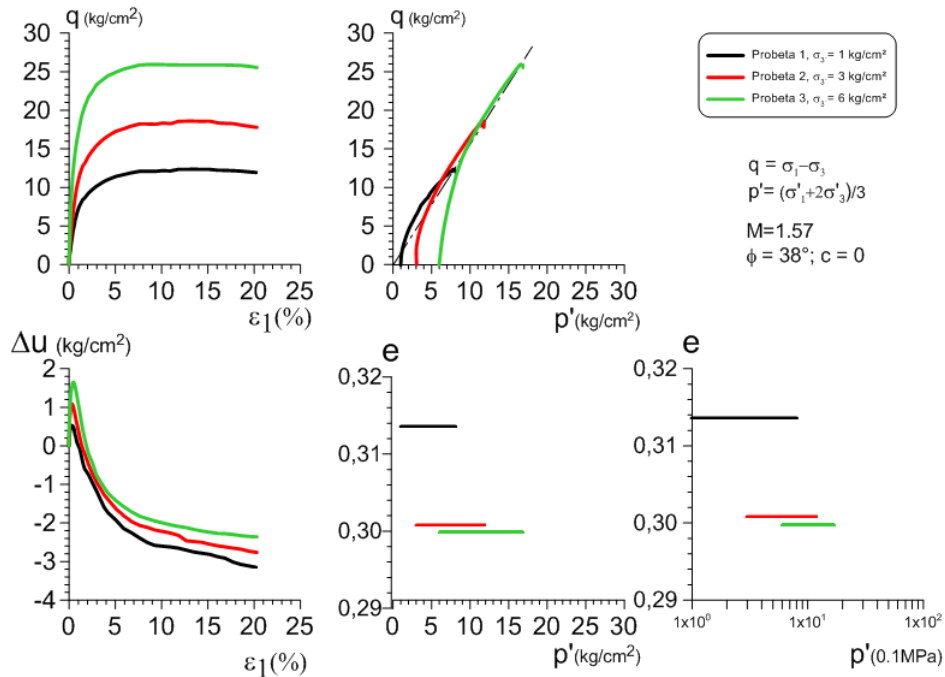


Figura 5-6: Ensayo Triaxial CIU, Muestra CA-1 H6 (4,30-6,00). Tramo a Línea a soterrar



De los resultados de ensayos triaxiales, se observa que la envolvente de resistencia al corte queda definida por:

- Muestras de arenas: cohesión  $c = 0$  y un ángulo de fricción interna  $\phi = 33^\circ$ .
- Muestras de gravas: cohesión  $c = 0$  y un ángulo de fricción interna  $\phi = 38^\circ$ .

## 6 ANÁLISIS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA.

El análisis del suelo de fundación del tramo a soterrar se abordó a partir de la interpretación de los resultados de las prospecciones geotécnicas, de los ensayos de terreno y laboratorio, de la información generada del análisis de los antecedentes disponibles en el área del proyecto y de las visitas a terreno realizadas por parte de los distintos especialistas de ARCADIS.

### 6.1 Estratigrafías por Sector Tramo a Soterrar

A continuación se presentan la estratigrafía por sector del tramo a soterrar, mientras que en el Plano N° 4754-1000-GE-PLA-0002 se presenta el plano del perfil estratigráfico del área del proyecto.

#### 6.1.1 Sector Patio Mufa Poniente

A partir de la calicata CA-1 excavada en el sector, se define la siguiente estratigrafía tipo en este sector:

- H-1: Arcillas limosas color café, humedad baja y plasticidad media, consistencia media. Espesor del estrato estimado es 1,5 m.
- H-2: Gravas con algo de limos de color café, con gravas de tamaño máximo 17” y de cantos subangulares y subredondeados. Humedad baja y plasticidad de la fracción fina nula. Compacidad alta. El espesor estimado de este estrato es superior a 4 m.

#### 6.1.2 Sector Túnel Liner Lado Poniente

Considerando la calicata CA-2 excavada en el sector, se define la siguiente estratigrafía tipo en este sector:

- H-1: Arcillas limosas color café, humedad baja y plasticidad media, consistencia media. Espesor del estrato estimado es 1,5 m.
- H-2: Arena de color café, con presencia de gravas de tamaño máximo 8”, de cantos subangulares y subredondeados. Humedad baja y plasticidad de la fracción fina nula. Compacidad alta. El espesor estimado de este estrato es de 2 m.
- H-3: Arenas arcillo limosas de color café, de cantos subangulares y subredondeados. Humedad baja y plasticidad de la fracción fina baja. Compacidad alta. El espesor estimado de este estrato es superior a 2 m.

#### 6.1.3 Sector Túnel Liner Lado Oriente

En este sector se ejecutó la calicata CA-3, a partir de la cual se define la siguiente estratigrafía tipo:

- H-1: Gravas con algo de arcillas de color café, de tamaño máximo 14”, de cantos subangulares y subredondeados. Humedad baja y plasticidad de la fracción fina baja. Compacidad alta. El espesor estimado de este estrato es 3 m.
- H-2: Arenas arcillo limosas de color café, con presencia de gravas de tamaño máximo 2”, de cantos subangulares y subredondeados. Humedad baja y plasticidad de la fracción fina baja. Compacidad alta. El espesor estimado de este estrato es superior a 2 m.

#### 6.1.4 Sector Patio Mufa Oriente

A partir de la calicata CA-4 excavada en el sector, se define la siguiente estratigrafía tipo en este sector:

- H-1: Gravas arcillosas de color café, de tamaño máximo 8”, de cantos subangulares y subredondeados. Humedad baja y plasticidad de la fracción fina baja. Compacidad alta. El espesor estimado de este estrato es 1,5 m.
- H-2: Gravas con algo de limos de color café, con gravas de tamaño máximo 6” y de cantos subangulares y subredondeados. Humedad baja y plasticidad de la fracción fina baja. Compacidad alta. El espesor estimado de este estrato es superior a 2 m.

## 6.2 Parametrización Geotécnica por Sector Tramo a soterrar

A continuación se presenta la parametrización geotécnica, orientada al diseño de fundaciones, de cada uno de los sectores relevantes, indicados en el acápite anterior.

### 6.2.1 Sector Patio Mufa Poniente

Considerando los suelos gravosos observados, los resultados de los ensayos in situ y de laboratorio, se adoptan conservadoramente los siguientes parámetros para el suelo de fundación bajo el Patio de mufa poniente:

**Tabla 6-1: Parámetros geotécnicos adoptados sector Patio Mufa Poniente**

| Parámetro  | Valor     |
|--|-----------|
| Densidad, $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )           | 2,2       |
| Ángulo de Fricción, $\phi$ (°)                   | 38        |
| Cohesión, c (t/m <sup>2</sup> )                  | 1,0       |
| Módulo de Deformación, $E_s$ (t/m <sup>2</sup> ) | 7.000 (*) |
| Módulo de Poisson, $\nu$                         | 0,30      |

(\*) Módulo de deformación obtenido a partir de los resultados del ensayo Triaxial

Para este sector se recomienda una profundidad mínima de sello de fundación de 1,5 m.

### 6.2.2 Sector Túnel Liner Poniente

Considerando los suelos arenosos observados, se adoptan conservadoramente los siguientes parámetros para el suelo de fundación bajo el Túnel Liner Poniente:

**Tabla 6-2: Parámetros geotécnicos adoptados sector Túnel Liner Poniente**

| Parámetro  | Valor     |
|--|-----------|
| Densidad, $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )           | 1,8       |
| Ángulo de Fricción, $\phi$ (°)                   | 33        |
| Cohesión, c (t/m <sup>2</sup> )                  | 1,0       |
| Módulo de Deformación, $E_s$ (t/m <sup>2</sup> ) | 4.000 (*) |
| Módulo de Poisson, $\nu$                         | 0,30      |

(\*) Módulo de deformación obtenido a partir de los resultados del ensayo Triaxial

Para este sector se recomienda una profundidad mínima de sello de fundación de 1,5 m.

### 6.2.3 Sector Túnel Liner Oriente

Considerando los suelos arenosos observados, se adoptan conservadoramente los parámetros geotécnicos definidos para el sector Túnel Liner Poniente (Tabla 6-2).

### 6.2.4 Sector Patio Mufa Oriente

Considerando los suelos gravosos observados, se adoptan conservadoramente los parámetros geotécnicos definidos para el sector Patio de mufa poniente (Tabla 6-1).

## 7 BASES PARA EL DISEÑO DE FUNDACIONES

### 7.1 Capacidad de Soporte

En el presente estudio geotécnico la Capacidad de Soporte se calcula mediante métodos de resistencia, en particular, el método de Hansen y mediante métodos de asentamientos admisibles. Se considera (controla) el método más restrictivo entre ambos.

#### 7.1.1 Capacidad de Soporte por Resistencia (Hansen)

El Método de Hansen (1970) considera el análisis de la superficie de falla propuesta por Terzaghi que consiste en una cuña central definida por un ángulo  $\alpha = \phi$  que considera que el contacto entre el suelo y la fundación es rugoso (Figura 7-1). Desprecia la resistencia al corte del suelo sobre el sello de fundación como se muestra en la Figura 7-2. Además introduce factores de corrección por forma, profundidad e inclinación del sello de fundación, inclinación del terreno y de la carga.

Figura 7-1: Fundación Superficial con una base rugosa definida.

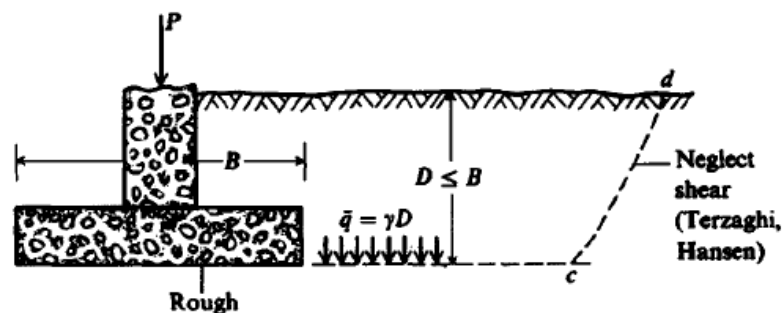
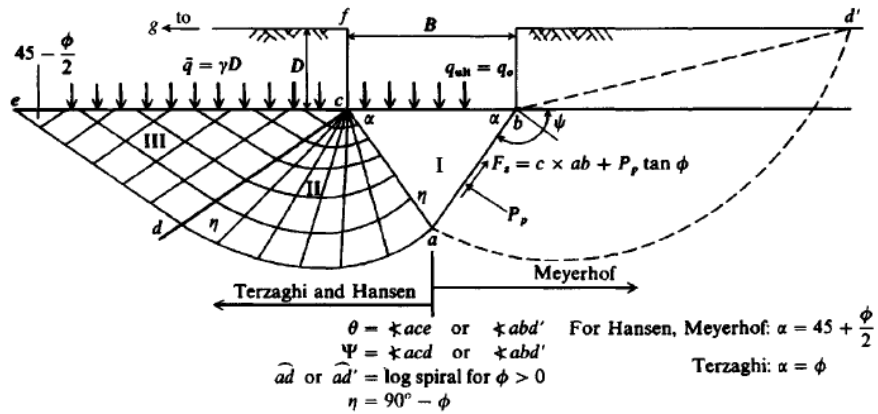


Figura 7-2: Modelo Teórico de Capacidad de Soporte. Lado derecho por Terzaghi (1943), Hansen (1970) y lado derecho por Meyerhof (1951)



La Ecuación de capacidad de soporte propuesta por Hansen (1970) es la siguiente:

$$q_{ult} = cN_c S_c d_c i_c g_c b_c + qN_q S_q d_q i_q g_q b_q + \frac{1}{2} \gamma N_\gamma S_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

En el caso de análisis drenado en tensiones totales ( $\phi = 0$ ):

$$q_{ult} = 5,14 S_u (1 + S'_c + d'_c - i'_c - b'_c - g'_c) + q$$

#### 7.1.1.1 Factores de Capacidad de Carga

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_c = 1,5(N_q - 1) \tan \phi$$

#### 7.1.1.2 Factores de Forma

$$S_c = 1 + \frac{B N_q}{L N_c}$$

$$S_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi$$

$$S_\gamma = 1 - 0,4 \frac{B}{L}$$

Donde,

$$S_c = S_q = S_\gamma = 1, \text{ para zapatas continuas}$$

$$S'_c = 0,2 \frac{B}{L}, \text{ Para } \phi = 0$$

#### 7.1.1.3 Factores de Profundidad

$$d_c = 1 + 0,4 k$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 k$$

$$d_\gamma = 1$$

$$\text{Si } \frac{D_f}{B} \leq 1 \Rightarrow k = \frac{D_f}{B}$$

$$\text{Si } \frac{D_f}{B} > 1 \Rightarrow k = \tan^{-1} \frac{D_f}{B}$$

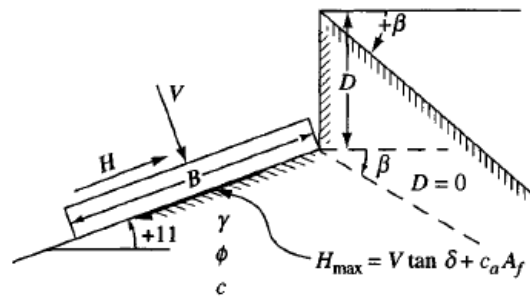
#### 7.1.1.4 Factores de Inclinación

En el caso de fundaciones con carga excéntrica se debe utilizar los valores  $B'$  y  $L'$  para determinar los factores de forma, pero para los factores de profundidad no reemplazar  $B$  por  $B'$ . En caso de que la cimentación esté inclinada o se vea afectada por una carga vertical y horizontal producto de la descomposición de la carga inclinada en sus componentes se utilizan los siguientes factores:

**Figura 7-3: Fundación Superficial inclinada**

Notes:  $\beta + \eta = 90^\circ$  (Both  $\beta$  and  $\eta$  have signs (+) shown.)

$\beta$   $\phi$



For:  $L/B \leq 2$  use  $\phi_{tr}$

$L/B > 2$  use  $\phi_{ps} = 1.5 \phi_{tr} - 17^\circ$

$\phi_{tr} \leq 34^\circ$  use  $\phi_{tr} = \phi_{ps}$

$\delta$  = friction angle between base and soil ( $.5\phi \leq \delta \leq \phi$ )

$A_f = B'L'$  (effective area)

$c_a$  = base adhesion (0.6 to 1.0c)

$$i_q = \left( 1 - \frac{0,5H}{V + A_f c_a \cot \phi} \right)^{\alpha_1}, \quad 2 \leq \alpha_1 \leq 5$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left( 1 - \frac{0,7H}{V + A_f c_a \cot \phi} \right)^{\alpha_2}, \text{ para } \eta = 0$$

$$i_\gamma = \left( 1 - \frac{(0,7 - \eta^\circ / 450)H}{V + A_f c_a \cot \phi} \right)^{\alpha_2}, \text{ para } \eta > 0$$

$$2 \leq \alpha_2 \leq 5$$

$$i'_c = 0,5 - \sqrt{1 - \frac{H_i}{A_f c_a}}, \text{ para } \phi = 0$$

#### 7.1.1.5 Factores de Terreno (base cercana a un talud)

$$g_c = 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$$

$$g_c = g_y = (1 - 0,5 \tan \beta)^5$$

$$g'_c = \frac{\beta^\circ}{147^\circ}, \text{ para } \phi = 0$$

#### 7.1.1.6 Factores de base (base inclinada)

$$b_c = 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$$

$$b_q = \exp(-2\eta \tan \phi)$$

$$b_\gamma = \exp(-2,7\eta \tan \phi)$$

$$b'_c = \frac{\eta^\circ}{147^\circ}, \text{ para } \phi = 0$$

Para el cálculo de la tensión admisible estática, se debe considerar un factor de seguridad igual a 3. Mientras que para el cálculo de la tensión admisible sísmica, se debe considerar un factor de seguridad igual a 2.

Para una mejor comprensión revisar el capítulo 4-3 del Libro “*Foundations Analysis and Design*” de Joseph E. Bowles (Ref. 6).

### 7.1.2 Método de Asentamiento Admisible

En el diseño de fundaciones el suelo se modela como un área de resortes independientes unos de otros utilizando una constante de reacción ante una sollicitación vertical que se denomina coeficiente de balasto que permite obtener los asentamientos ante sollicitaciones de una fundación deformable en un típico problema de interacción suelo estructura.

Por este motivo, al imponer un asentamiento máximo admisible (para estructuras generales de hormigón armado, generalmente se usa 1", en caso de estructuras específicas el asentamiento admisible dependerá de los requisitos y uso de cada estructura), es posible determinar la tensión admisible con la siguiente expresión, la que se debe comparar con la capacidad de soporte calculada con la metodología de Hansen explicada anteriormente, para establecer que metodología controla:

$$q_{adm} = K_v * \rho_{admisible}$$

### 7.2 Estimación Módulo de Deformación Equivalente

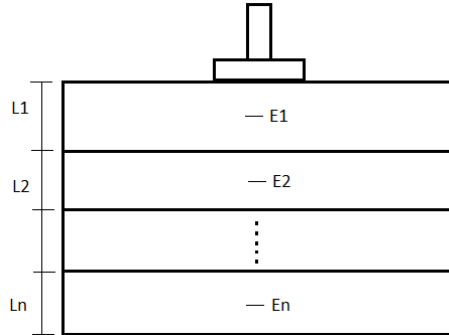
Para fundaciones de gran tamaño o losas de fundación se debe utilizar un módulo de deformación equivalente, el cual se estima como una ponderación de los módulos a diferentes profundidades en la

zona de influencia del bulbo de presión. Se recomienda evaluar hasta una profundidad de al menos 1,5 veces el ancho menor de la fundación ( $L_{total}=1,5B$ ).

$$E_{equivalente} = \frac{E_1 \cdot L_1 + E_2 \cdot L_2 + \dots + E_n \cdot L_n}{L_{total}}$$

La Figura 7-4 muestra de manera esquemática la subdivisión de estratos que se debe realizar para el cálculo del módulo de deformación equivalente.

**Figura 7-4: Estimación módulo de deformación equivalente**



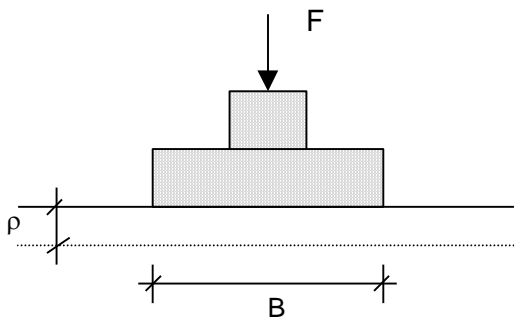
Donde:

$L_1$ : Espesor estratos. Considerar divisiones de 5 m.

$E_1$ : Módulo de deformación evaluado en la mitad de cada estrato, según expresión de  $L_{total} = L_1 + L_2 + \dots + L_n$

### 7.3 Constante de Balasto

El coeficiente de balasto se recomienda determinarlo utilizando la fórmula de asentamiento instantáneo que experimenta una superficie rígida sometida a una carga, tal como se indica a continuación:



$$\rho = \frac{q \cdot B \cdot (1 - \nu^2)}{E} \cdot I_\rho$$

q : Tensión a nivel de sello de fundación

B : Ancho zona cargada

ν : Coeficiente de Poisson

$I_\rho$  : Factor de forma (Tabla 7-1)

E : módulo de deformación del suelo

A partir de la fórmula anterior se deduce que el coeficiente de balasto, k, queda determinado por la siguiente expresión:

$$k = \frac{q}{\rho} = \frac{E_s}{B \cdot (1 - \nu^2) \cdot I_\rho}$$

Para el cálculo del coeficiente de balasto horizontal, se emplea la misma expresión indicada previamente, en donde B corresponde a la dimensión menor de la estructura en el plano vertical.

Para la determinación de los coeficientes de balasto en el caso sísmico, debe considerarse el módulo de deformación cíclico, el que puede estimarse mediante la siguiente expresión (Ref. 7):

$$E_{sc} = 3 \cdot E_s$$

Dónde:

$E_s$ : Módulo de deformación del suelo de apoyo (carga estática).

$E_{sc}$ : Módulo de deformación cíclico del suelo (carga cíclica o descarga-carga).

**Tabla 7-1: Factor de forma para asentamiento (Whitlow, 1994, Ref. 6)**

| Forma               | $I_\rho$ |
|---------------------|----------|
| Circular            | 0,79     |
| Cuadrada            | 0,82     |
| Rectangular L/B=1,5 | 1,06     |
| 2,0                 | 1,2      |
| 3,0                 | 1,42     |
| 4,0                 | 1,58     |
| 5,0                 | 1,7      |
| 10,0                | 2,1      |
| 100,0               | 3,47     |

Para el cálculo del giro se recomienda usar la siguiente expresión:

$$\tan \theta = \frac{(1 - \nu^2) \cdot M \cdot I_\theta}{E \cdot b \cdot L^2}$$

Donde:

M: Momento evaluado al centro de la fundación (t-m).

L: Dimensión de la fundación rectangular perpendicular al eje del Momento (m).

B: Dimensión de la fundación rectangular paralela al eje del Momento (m).

E: Módulo de Deformación (t/m<sup>2</sup>).

$I_\theta$ : Factor de forma para giro (Ver Tabla 7-2).

$\nu$ : Coeficiente de Poisson

**Tabla 7-2: Factor de forma para giro.**

| L/B        | 0,1   | 0,2 | 0,5  | 0,75 | 1    | 1,5  | 2    | 3   | 5    | 10   |
|------------|-------|-----|------|------|------|------|------|-----|------|------|
| $I_\theta$ | 1,045 | 1,6 | 2,51 | 2,91 | 3,15 | 3,43 | 3,57 | 3,7 | 3,77 | 3,81 |

En el caso de zapatas rígidas usar:

$$I_\theta = \frac{16}{\pi \cdot \left(1 + 0,22 \cdot \frac{B}{L}\right)}$$

## 7.4 Asentamientos instantáneos

Para estimar los asentamientos instantáneos se recomienda utilizar la siguiente expresión, que considera la tensión de descarga de la fundación:

$$s = \frac{q}{kv}$$

Donde:

S: Asentamiento instantáneo en [m]  
q: Descarga a nivel de fundación [kPa]  
kv: Constante de balasto vertical en [kN/m<sup>3</sup>]

Se recomienda verificar que la distorsión angular estimada mediante asentamiento diferencial entre dos cimentaciones cercanas, o producto del giro de fundación, sea menor a 1/700. Considerar  $\beta = \frac{\delta}{l}$  (donde  $\delta$  es el asentamiento diferencial entre 2 puntos adyacentes separados por la distancia  $l$ )

### 7.5 Área en Compresión de Fundaciones

Se deberá verificar que el área en compresión a nivel del apoyo de las fundaciones, quede acotada a un mínimo del 80% del área total de apoyo para cada cimentación.

### 7.6 Clasificación Sísmica del Tipo de Suelo

Los antecedentes recopilados en terreno y los resultados de ensayos de compactación (presentados en el acápite 5.4.2), indican valores de densidad relativa y grado de compactación significativamente altos, los que podrían ser atribuidos al efecto puzolánico que ejercen los suelos finos de origen volcánico que se encuentran en el sector del proyecto.

Considerando lo anterior, el suelo de fundación clasifica de acuerdo a la Norma Chilena NCh2369.Of2003 como suelo Tipo II y según especificación de diseño sísmico de ENDESA (ETG 1.015) como suelo Tipo 3.

### 7.7 Recepción de Niveles de Fundación, Excavación y Taludes

Los niveles de excavación para sellos de fundación, la colocación de rellenos, así como la geometría de taludes, deberán ser recepcionados por un ingeniero especialista en mecánica de suelos, verificando que se cumplan las especificaciones señaladas por quien realice el diseño geotécnico.

### 7.8 Escarpe

La excavación de escarpe consiste en excavación y retiro de la capa superficial del suelo natural constituido por la capa superficial de material de baja calidad geotécnica para las obras. Se estima espesores de escarpe del orden de 10 cm de acuerdo a las estratigrafías. No obstante lo anterior, se deberá verificar esta situación en terreno durante la construcción con la presencia de un especialista geotécnico.

### 7.9 Tratamiento de Sellos

Deberá asegurarse que el sello de las excavaciones de fundación sea tratado antes de hormigonarlas, para mejorar la parte superficial que queda suelta debido al tránsito u otro. Se deberá asegurar la obtención de un sello de fundación libre de material suelto, removido o perturbado.

Todos los sellos de excavación en suelos naturales (no cementados) o rellenos, deberán ser compactados hasta alcanzar una compacidad mínima equivalente al 95% del ensayo Proctor Modificado. En especial deberá considerarse este tratamiento para el nivel de sello de fundación en el que se detecte suelo de baja compacidad o alterado por el proceso de excavación.

Finalmente se deberá colocar un emplantillado de mortero de 10 cm de espesor y compactarlo adecuadamente.

## 7.10 Rellenos Estructurales

El material especificado se debe utilizar para fundaciones de estructuras de hormigón armado estándar. En el caso de otro tipo de estructuras de mayor envergadura, se deberá realizar análisis específicos de acuerdo al requerimiento.

### 7.10.1 Materiales

El material de relleno deberá presentar buena graduación, libre de suelos plásticos y orgánicos, con tamaño máximo 3", aunque se podrá aceptar hasta un 10% de sobre tamaños contenidos entre 3" y 4". Todo material sobre 4" será retirado y llevado a botadero. El tamaño máximo de partículas no deberá exceder 1/3 de la altura de capa compactada. Se realizará un ensayo de granulometría cada 20.000m<sup>3</sup> de material colocado, cuando el material visiblemente sea distinto del colocado hasta ese momento, o cuando lo determine la supervisión técnica de terreno. El tamaño de la muestra deberá ser suficiente, permitiendo el control de los parámetros especificados en la Tabla 7-3 (según experiencia de consultor).

**Tabla 7-3: Requisitos del material para Rellenos Estructurales**

| Parámetro                                     | Valor         |
|---|---------------|
| Peso Específico de los Sólidos (Gs)           | >2,60         |
| Índice de Plasticidad                         | < 12          |
| Límite Líquido                                | < 25%         |
| Sales Solubles                                | < 3%          |
| Características de Gradación                  | Bien graduado |
| % material bajo 100 mm (4") en peso           | 100           |
| % material bajo 76 mm (3") en peso            | 90-100        |
| % material pasa malla No 4 (5 mm) en peso     | 30-60         |
| % material pasa malla No 200 (0.08mm) en peso | 0 -20         |

El material de relleno deberá provenir de empréstitos cercanos, siempre que cumplan las características indicadas anteriormente. En el caso de utilizar como relleno el material proveniente de las excavaciones, se deberá ajustar a los requisitos indicados en la Tabla 7-4.

### 7.10.2 Espesores de Capa

El material de relleno deberá ser colocado en capas horizontales con espesores sueltos de 0.30 m., o en caso que amerite, espesores con un máximo de 0,45 m. Cualquier espesor mayor será analizado en terreno por Control de Calidad. Los espesores de capa se controlarán colocando estacas de madera que servirán de guía para el operador que los ejecute. Los espesores deberán verificarse topográficamente.

### 7.10.3 Compactación

El material deberá ser compactado con la cantidad suficiente de ciclos<sup>(1)</sup> de equipo compactador, seleccionado según las dimensiones del área donde se colocarán los rellenos. La cantidad de ciclos y

<sup>1</sup> Un ciclo corresponde a una pasada de equipo compactador ida y vuelta por el mismo punto en toda el área, traslapados al menos 10 cm entre dos líneas de compactación adyacentes y así sucesivamente.

velocidad de pasada del equipo compactador será determinada en las primeras capas colocadas o preparando una cancha de prueba.

#### **7.10.4 Control de Calidad**

Se deberán efectuar controles de densidades según especificación por Control de Calidad, en todo el espesor de la capa.

El control de calidad o compactación, en todo el espesor, será a una densidad mínima del 95% de la densidad máxima compactada seca (D.M.C.S) del ensayo Proctor Modificado (PM), valor de densidad máxima y humedad óptima que deberán ser corregidas por contenidos de sobretamaños. Si se llegasen a obtener densidades menores al 95% de la D.M.C.S del PM, se deberá ajustar el procedimiento con una nueva cancha de prueba.

Dada las características granulométricas de este material, se podrán tomar densidades con cono normal de 12", pero con una profundidad de perforación de toda la capa de entre 0,25 y 0,3 m (dependiendo del espesor final de la capa). Se podrán realizar lecturas con densímetro nuclear en espesores de capa de hasta 0,3 m (12"), debiendo realizar 10 lecturas y contrastarlas con una determinación de cono normal.

Si las capas son colocadas con espesor mayor a 0,30 m, por ejemplo 0,45 m, dicha capa será subdividida en 2 capas para el control, determinándose la densidad en los 0,25 m superiores de la capa, luego excavar una calicata con dimensiones mínimas adecuadas al equipo a utilizar (cono normal o densímetro nuclear), para determinar la respectiva densidad en los 0,20 m inferiores de la capa. En el caso de utilizar densímetro nuclear en la calicata, el valor de densidad deberá ser corregido de acuerdo a las especificaciones del equipo para ensayos bajo nivel de superficie (calicatas). Se podrá tomar al mismo tiempo las densidades para espesores de capas mayores, es decir, realizar la densidad superficial con cono de 6" mientras que dos personas excavan una calicata a una distancia prudente y cercana a la determinación superficial para determinar la densidad de la capa inferior.

En el caso de excavación de calicatas para determinar densidades deberá tenerse "un especial cuidado en la remoción del material", tratando de no alterar la estructura final ni la compactación, dejando la superficie lo más pareja posible y nivelando con una "mínima" capa de arena o suelo fino.

Para el material de relleno estructural en capas mayores a 0,30 m, no se permitirá de ninguna manera realizar una densidad única de profundidad de todo el espesor de capa. Para este tipo de relleno todas las capas serán controladas con densidades, no permitiéndose controles aleatorios entre capas (por ejemplo, control de una sola capa por cada dos colocadas).

Finalmente, la cantidad de puntos para el control de densidades deberá ser el suficiente para garantizar adecuadamente la aprobación de la capa, independientemente de las dimensiones del área a controlar.

#### **7.11 Aprobación de Cada Capa y Autorización de Colocación de la Siguiente**

Realizado el control de densidades, se deberán fijar los puntos de control topográficamente. A continuación, el técnico laboratorista deberá presentar a la supervisión técnica un informe preliminar para la aprobación de la capa. No será colocada la siguiente capa mientras la supervisión o la inspección técnica no lo autoricen. En base al informe preliminar o a datos mínimos y suficientes, la supervisión aprobará la capa y autorizará la colocación de la siguiente.

#### **7.12 Empujes**

Para estructuras de contención y estructuras enterradas de baja a mediana magnitud, se recomienda utilizar los coeficientes de empujes indicados en la Tabla 7-4. En la Figura 7-5 se presenta en forma esquemática la aplicación de los coeficientes de empuje para el diseño de estructuras.

En la práctica habitual del análisis de estructuras de contención, se adopta un coeficiente sísmico horizontal,  $K_h$ , que varía entre  $1/3 a_{máx}$  y  $1/2 a_{máx}$ , donde  $a_{máx}$  es la aceleración máxima de campo libre estimada en la zona de fundación de la estructura analizada.

Habitualmente, el criterio más común es adoptar un coeficiente sísmico vertical,  $k_v$  nulo ya que, en la práctica, éste tiene una escasa influencia sobre los factores de seguridad finalmente calculados.

Los valores de aceleración efectiva se determinaron a partir de la zonificación sísmica de la NCh2369 Of.2003. Para el caso corresponde a Zona 2, lo que se traduce en una aceleración de 0,3g, sin embargo para evaluar la estabilidad sísmica de elementos de contención, se recomienda considerar en forma conservadora, un coeficiente sísmico horizontal equivalente a  $k_h=0,15$ .

**Tabla 7-4: Coeficientes de empujes estáticos y sísmicos.**

| Unidad de suelo                                 | Pendiente terreno | Caso estático |        | Caso sísmico    |                 |
|---|-------------------|---------------|--------|-----------------|-----------------|
|   |                   | Activo        | Reposo | Activo          | Reposo          |
|   | (°)               | $k_a$         | $k_o$  | $\Delta k_{as}$ | $\Delta k_{os}$ |
| Gravas (Sectores Patio Mufa Poniente y Oriente) | 0                 | 0,22          | 0,38   | 0,09            | (*)             |
| Arenas (Sector Túnel Liner Poniente y Oriente)  | 0                 | 0,27          | 0,46   | 0,10            | (*)             |

Para el cálculo de los coeficientes, se ha utilizado un ángulo de roce suelo-muro,  $\delta = \phi/2$ . Para configuraciones distintas a las indicadas, se deberán calcular nuevos coeficientes de empuje.

(\*) Para la condición de reposo sísmica se emplea la expresión propuesta en la NCH433 Of96 Mod 2009.

$$\sigma_s = 0,3 \cdot C_r \cdot \gamma \cdot h_m \cdot \frac{A_0}{g}$$

Donde:

$C_r$ : Coeficiente dependiente del tipo de suelo

$A_0$ : Aceleración efectiva máxima del suelo

$\gamma$ : Densidad del suelo

$h_m$ : Altura del muro

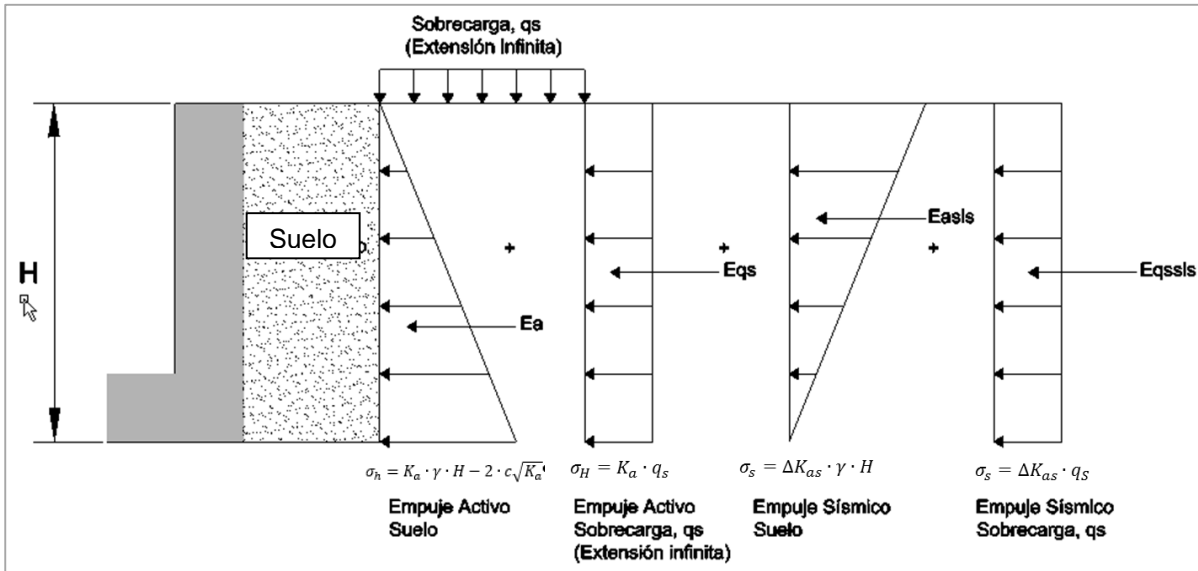
$\sigma_s$ : Presión sísmica uniformemente distribuida.

En general, los muros se diseñan para resistir empujes activos dado que la rotación y/o desplazamientos requeridos para alcanzar la falla son suficientes para alcanzar la condición activa. Si la estructura es muy rígida o si se requiere restringir los desplazamientos, debe considerarse empujes en reposo.

Para estructuras enterradas que se construyen o entiban contra terreno natural, se sugiere considerar un diagrama uniforme para los empujes estáticos de suelos, en vez del diagrama triangular, con una presión constante  $p = 0.65 k_a \gamma H$ .

El diagrama de empujes sísmico no es aplicable para estructuras soterradas con cobertura de suelos. En estos casos deben ser analizados particularmente por un especialista geotécnico.

Figura 7-5: Diagramas de empuje de diseño para una estructura de contención.



### 7.13 Taludes en Cortes

Para las excavaciones a realizar, en la Tabla 7-5 se presentan valores recomendados para taludes sin entibación ni estructuras cercanas.

Tabla 7-5: Taludes recomendados

| Obras                | Talud (H:V) |   |
|----------------------|-------------|---|
|                      | Temporal    | Definitivo                                    |
| Talud en corte Suelo | 1H:2V       | 1H:1,5V, con bermas de 3m cada 5 m de altura. |
| Talud Relleno        | -           | 3H:2V   |

Se debe considerar el sellado de lentes arenosos que puedan quedar expuestos.

Con objeto de limitar la erosión por eventuales escurrimientos superficiales, el coronamiento y los bancos de excavaciones deben tener una pendiente longitudinal menor o igual a 1%.

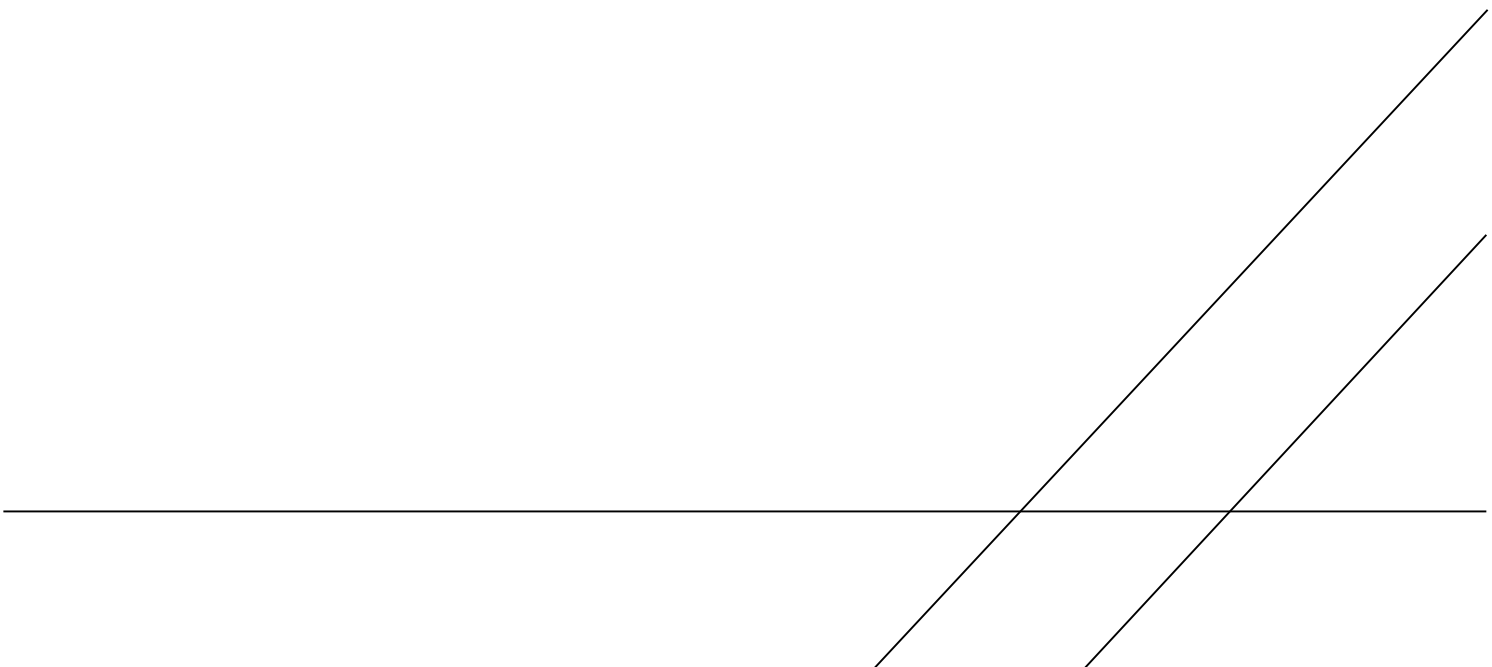
## 8 CONCLUSIONES

El suelo de fundación del tramo a soterrar la línea de alta tensión, está compuesto por gravas y arenas con arcillas y limos de baja a nula plasticidad.

Las obras que se emplazarán en los sectores Patio de Mufa Poniente y Oriente se apoyarán sobre un estrato de grava con finos de baja plasticidad y alta compacidad. Por otro lado, el Túnel Liner se ubicará en un estrato de arena arcillo limosa de baja plasticidad y alta compacidad.

**ANEXO A**

**ESTRATIGRAFÍAS, REGISTRO FOTOGRÁFICO Y DENSIDAD IN SITU. CAMPAÑA ARCADIS 2016**



**INFORME N° 1, Rev. B**  
**MECÁNICA DE SUELOS – DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA**

|              |                |            |
|--------------|----------------|------------|
| Correlativo: | Fecha emisión: | 18-10-2016 |
|--------------|----------------|------------|

**DATOS GENERALES:**

|            |   |
|------------|---|
| Proyecto:  | Exploraciones Geotécnicas (calicatas), Ensayos, Supervisión Técnica en Proyecto Línea Alta Tensión Peldehue |
| Mandante:  | ARCADIS CHILE SpA   |
| Dirección: | Avda. Antonio Varas N° 621, Providencia   |

| Calicata  |                |
|-----------|----------------|
| N°        | <b>CA-1</b>    |
| Excavador | Carlos Arévalo |
| Operador: | Rodrigo Aldea  |

| Coordenadas  |                  |
|--------------|------------------|
| Norte:       | <b>6.335.343</b> |
| Este:        | <b>341.534</b>   |
| kilometraje: | -----            |

**DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA:**

| Horizonte      | Descripción Visual   | Profundidad [m] |            | Espesor [m] |
|----------------|--|-----------------|------------|-------------|
|                |  | Desde           | Hasta      |             |
| 1              | Capa vegetal.  | 0,00            | 0,06       | 0,06        |
| 2              | Arcilla, color café negrusca, humedad baja, plasticidad media, estructura homogénea, consistencia media.   | 0,06            | 0,50       | 0,44        |
| 3              | Limo arcilloso, color café claro, humedad baja, plasticidad media, estructura homogénea, consistencia media.   | 0,50            | 1,40       | 0,90        |
| 4              | Grava Arenosa, color gris, humedad baja, plasticidad nula, estructura estratificada, compacidad media. Gravas de cantos subangulares y subredondeados, de tamaño máximo 17".                             | 1,40            | 3,70       | 2,30        |
| 5              | Grava Areno Limosa, color café grisacea, humedad baja, plasticidad baja a nula, estructura estratificada, compacidad media a alta. Gravas de cantos subangulares y subredondeados, de tamaño máximo 10". | 3,70            | 4,30       | 0,60        |
| 6              | Grava Arenosa, color gris, humedad baja, plasticidad nula, estructura estratificada, compacidad alta. Gravas de cantos subangulares y subredondeados, de tamaño máximo 12".                              | 4,30            | 6,00       | 1,70        |
| <b>Notas:</b>  |  |                 |            |             |
| Napa freática  | No se detectó napa.  |                 |            |             |
| Laboratorista: | Nicolás Urrutia J.   | Fecha:          | 14-10-2016 |             |

**Registro Fotográfico Calicata CA-1**

Foto N° 1 Ubicación Calicata CA-1



Foto N° 2 Pared de Calicata CA-1 (Horizonte 5)



Foto N° 3 Fondo Calicata CA-1



Foto N° 4 Tapado Calicata CA-1



Fondo de calicata alcanza los 6,0 m de profundidad según mediciones en terreno.

**INFORME N° 2, Rev. B**  
**MECÁNICA DE SUELOS – DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA**

|              |                |            |
|--------------|----------------|------------|
| Correlativo: | Fecha emisión: | 18-10-2016 |
|--------------|----------------|------------|

**DATOS GENERALES:**

|            |   |
|------------|---|
| Proyecto:  | Exploraciones Geotécnicas (calicatas), Ensayos, Supervisión Técnica en Proyecto Línea Alta Tensión Peldehue |
| Mandante:  | ARCADIS CHILE SpA   |
| Dirección: | Avda. Antonio Varas N° 621, Providencia   |

| Calicata  |                |
|-----------|----------------|
| N°        | <b>CA-2</b>    |
| Excavador | Carlos Arévalo |
| Operador: | Rodrigo Aldea  |

| Coordenadas  |                  |
|--------------|------------------|
| Norte:       | <b>6.335.371</b> |
| Este:        | <b>342.362</b>   |
| kilometraje: | -----            |

**DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA:**

| Horizonte      | Descripción Visual   | Profundidad [m] |            | Espesor [m] |
|----------------|--|-----------------|------------|-------------|
|                |  | Desde           | Hasta      |             |
| 1              | Capa vegetal.  | 0,00            | 0,06       | 0,06        |
| 2              | Arcilla Limosa, color café, humedad baja, plasticidad media, estructura homogénea, consistencia media.   | 0,06            | 1,50       | 1,44        |
| 3              | Grava Arcillosa, color café, humedad baja, plasticidad media, estructura homogénea, compacidad media. Gravas de cantos subangulares y subredondeados, de tamaño máximo 5".                 | 1,50            | 2,00       | 0,50        |
| 4              | Arena mal graduada, color gris, humedad baja, plasticidad nula, estructura estratificada, compacidad media a alta. Gravas de cantos subangulares y subredondeados, de tamaño máximo 8".    | 2,00            | 3,45       | 1,45        |
| 5              | Arena Limo Arcillosa, color café grisacea, humedad baja, plasticidad baja a nula, estructura estratificada, compacidad muy alta. Retro-excavadora no pudo seguir excavando en profundidad. | 3,45            | 5,00       | 1,55        |
| <b>Notas:</b>  |  |                 |            |             |
| Napa freática  | No se detectó napa.  |                 |            |             |
| Laboratorista: | Nicolás Urrutia J.   | Fecha:          | 13-10-2016 |             |

**Registro Fotográfico Calicata CA-2**

Foto N° 5 Ubicación Calicata CA-2



Foto N° 6 Pared de Calicata CA-2 (Horizonte 3)



Foto N° 7 Fondo Calicata CA-2



Foto N° 8 Tapado Calicata CA-2



Fondo de calicata alcanza los 5,0 m de profundidad según mediciones en terreno

**INFORME N° 3, Rev. B**  
**MECÁNICA DE SUELOS – DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA**

|              |                |            |
|--------------|----------------|------------|
| Correlativo: | Fecha emisión: | 18-10-2016 |
|--------------|----------------|------------|

**DATOS GENERALES:**

|            |   |
|------------|---|
| Proyecto:  | Exploraciones Geotécnicas (calicatas), Ensayos, Supervisión Técnica en Proyecto Línea Alta Tensión Peldehue |
| Mandante:  | ARCADIS CHILE SpA   |
| Dirección: | Avda. Antonio Varas N° 621, Providencia   |

| Calicata  |                |
|-----------|----------------|
| N°        | <b>CA-3</b>    |
| Excavador | Carlos Arévalo |
| Operador: | Rodrigo Aldea  |

| Coordenadas  |                  |
|--------------|------------------|
| Norte:       | <b>6.335.382</b> |
| Este:        | <b>342.452</b>   |
| kilometraje: | -----            |

**DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA:**

| Horizonte      | Descripción Visual  | Profundidad [m] |            | Espesor [m] |
|----------------|---|-----------------|------------|-------------|
|                |   | Desde           | Hasta      |             |
| 1              | Capa vegetal.   | 0,00            | 0,05       | 0,05        |
| 2              | Grava Limo Arenosa, color café claro, humedad baja, plasticidad baja, estructura homogénea, compacidad media. Gravas de cantos subangulares y subredondeados, de tamaño máximo 11". Se observan algunas raíces y raicillas. | 0,05            | 1,80       | 1,75        |
| 3              | Grava Areno Limosa, color café grisáceo, humedad baja, plasticidad baja a nula, estructura estratificada, compacidad media. Gravas de cantos subangulares y subredondeados, de tamaño máximo 14".                           | 1,80            | 3,50       | 1,70        |
| 4              | Arena Limo Arcillosa, color café grisáceo, humedad baja, plasticidad baja a nula, estructura estratificada, compacidad alta. Se observan gravas dispersas de tamaño máximo 2".  | 3,50            | 6,00       | 2,50        |
| <b>Notas:</b>  |   |                 |            |             |
| Napa freática  | No se detectó napa.   |                 |            |             |
| Laboratorista: | Nicolás Urrutia J.  | Fecha:          | 13-10-2016 |             |

**Registro Fotográfico Calicata CA-3**

Foto N° 9 Ubicación Calicata CA-3



Foto N° 10 Pared de Calicata CA-3 (Horizonte 4)



Foto N° 11 Fondo Calicata CA-3



Foto N° 12 Tapado Calicata CA-3



Fondo de calicata alcanza los 6,0 m de profundidad según mediciones en terreno

**INFORME N° 4, Rev. B**  
**MECÁNICA DE SUELOS – DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA**

|              |                |            |
|--------------|----------------|------------|
| Correlativo: | Fecha emisión: | 18-10-2016 |
|--------------|----------------|------------|

**DATOS GENERALES:**

|            |   |
|------------|---|
| Proyecto:  | Exploraciones Geotécnicas (calicatas), Ensayos, Supervisión Técnica en Proyecto Línea Alta Tensión Peldehue |
| Mandante:  | ARCADIS CHILE SpA   |
| Dirección: | Avda. Antonio Varas N° 621, Providencia   |

| Calicata  |                |
|-----------|----------------|
| N°        | CA-4           |
| Excavador | Carlos Arévalo |
| Operador: | Rodrigo Aldea  |

| Coordenadas  |           |
|--------------|-----------|
| Norte:       | 6.335.389 |
| Este:        | 342.717   |
| kilometraje: | *****     |

**DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA:**

| Horizonte      | Descripción Visual   | Profundidad [m] |            | Espesor [m] |
|----------------|--|-----------------|------------|-------------|
|                |  | Desde           | Hasta      |             |
| 1              | Capa vegetal.  | 0,00            | 0,05       | 0,05        |
| 2              | Arcilla, color café negrusca, humedad baja, plasticidad media, estructura homogénea, consistencia media.   | 0,05            | 0,60       | 0,55        |
| 3              | Grava Arcillosa, color café, humedad baja, plasticidad media, estructura homogénea, compacidad media. Gravas de cantos subangulares y subredondeados, de tamaño máximo 8".   | 0,60            | 2,20       | 1,60        |
| 4              | Limo Arenoso, color café claro, humedad baja, plasticidad baja, estructura estratificada, consistencia media.  | 2,20            | 3,00       | 0,80        |
| 5              | Grava Arenosa algo Limosa, color gris, humedad baja, plasticidad nula, estructura estratificada, compacidad alta. Gravas de cantos subangulares y subredondeados, de tamaño máximo 6". Retro-excavadora no pudo seguir excavando en profundidad. | 3,00            | 5,00       | 2,00        |
| <b>Notas:</b>  |  |                 |            |             |
| Napa freática  | No se detectó napa.  |                 |            |             |
| Laboratorista: | Nicolás Urrutia C.   | Fecha:          | 13-10-2016 |             |

**Registro Fotográfico Calicata CA-4**

Foto N° 13 Ubicación Calicata CA-4



Foto N° 14 Pared de Calicata CA-4 (Horizonte 5)



Foto N° 15 Fondo Calicata CA-4



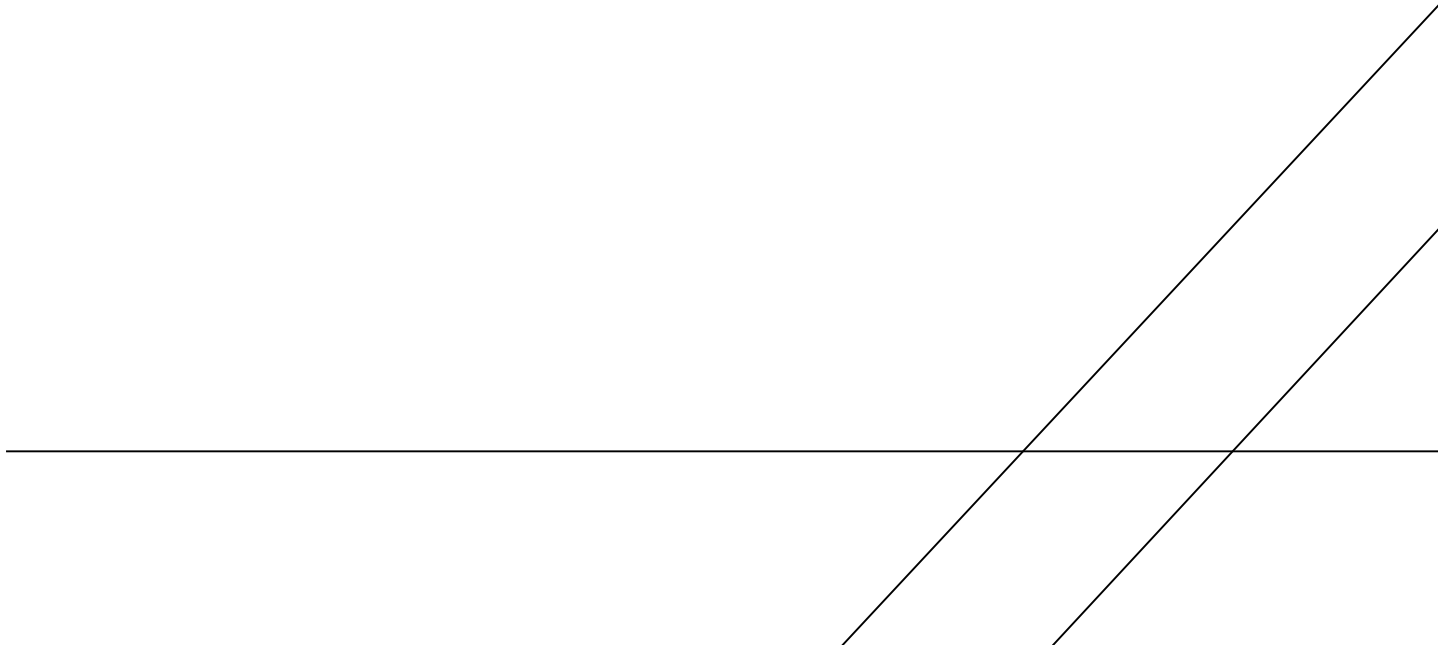
Foto N° 16 Tapado Calicata CA-4



Fondo de calicata alcanza los 5,0 m de profundidad según mediciones en terreno

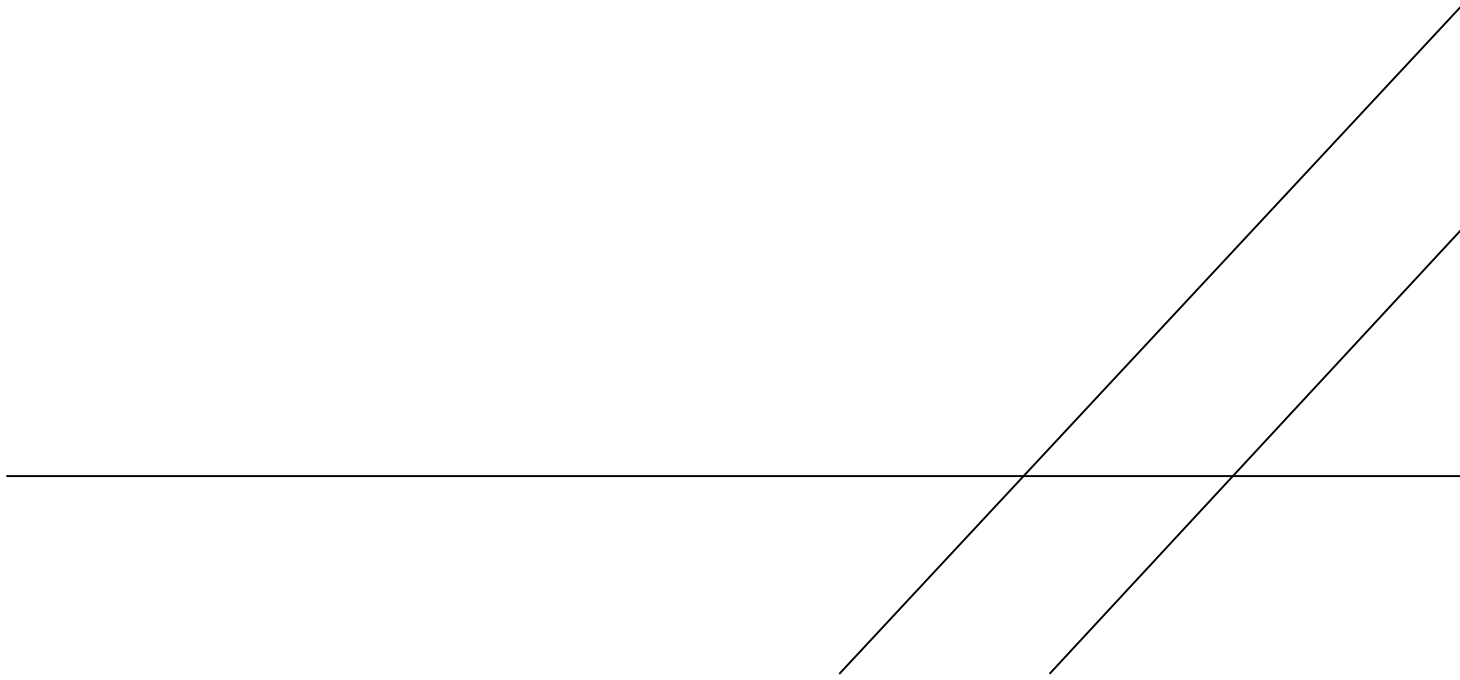
**ANEXO B**

**REGISTRO FOTOGRÁFICO. CAMPAÑA ARCADIS 2016**



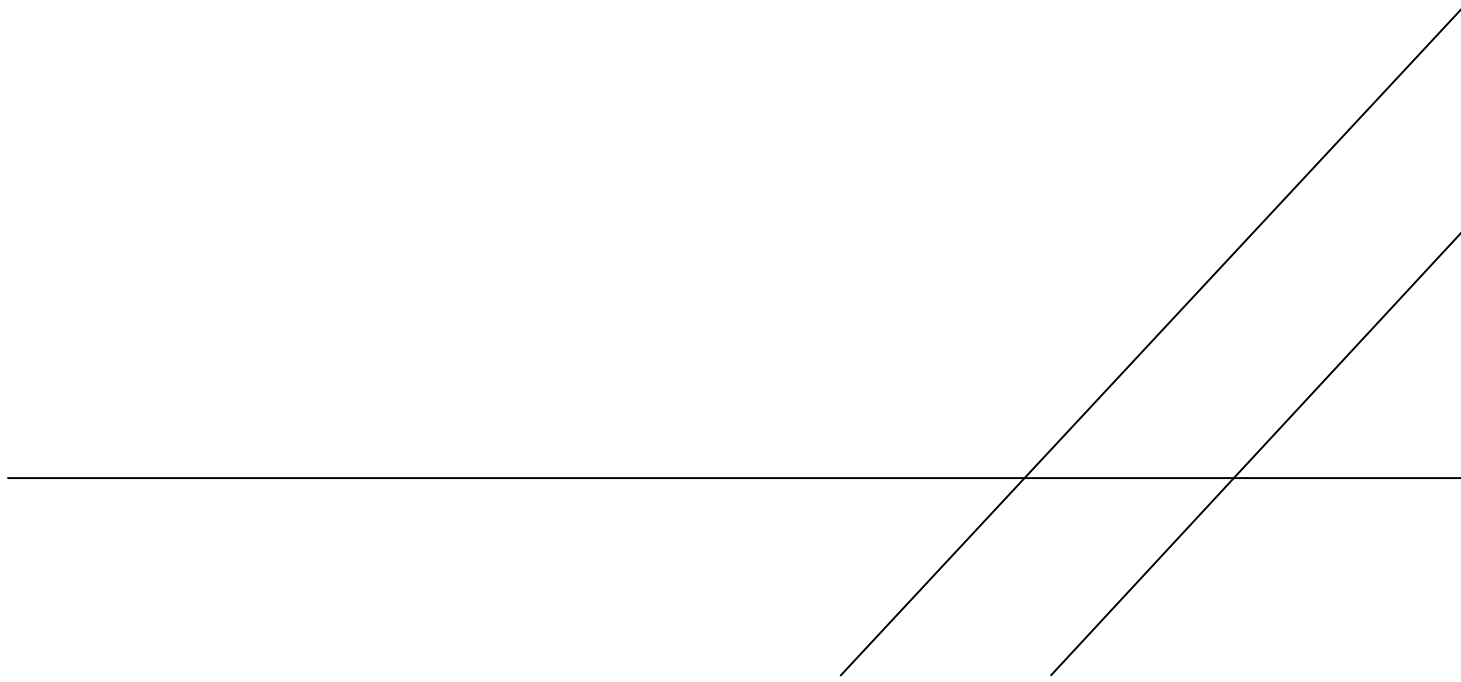
## **ANEXO C**

### **INFORME DE ENSAYOS DE LABORATORIO. CAMPAÑA ARCADIS 2016**



**ANEXO D**

**ESTUDIO GEOFÍSICO 2016**



Arcadis

Av. Antonio Varas 621  
Providencia, Santiago  
T: +56 2 2381 6000

[arcadis.com](http://arcadis.com)