DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

"Nueva Subestación Seccionadora Las Delicias" y "Nueva SE Coiquén y Nueva Línea 2x66 kV Las Delicias – Coiquén"

Decreto Exento N°257/2022

APÉNDICE 05 PAS 160

Permiso Ambiental Sectorial Mixto Artículo 160

2026

TABLA DE CONTENIDOS

1. GENERALIDADES 4
1.1 INTRODUCCIÓN 4
1.2 OBJETIVO 5
1.3 ALCANCE 6
1.4 ANTECEDENTES 6
2. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO 7
2.1 CARACTERIZACIÓN GEOLOGICA DE LA ZONA DE EMPLAZAMIENTO 7
2.2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLORACIÓN 9
2.3 PROGRAMA DE ENSAYOS 10
2.4 DESCRIPCIÓN ESTRATIGRAFICA 11
2.4.1 CALICATA N°1 12
2.4.2 CALICATA N°2 12
2.4.3 CALICATA N°3 12
2.4.4 CALICATA N°4 13
3. CLASIFICACIÓN DEL SUELO 17
3.1 CALICATA N°1 17
3.2 CALICATA N°2 17
3.3 CALICATA N°3 18
3.4 CALICATA N°4 19
4. PROPIEDADES DEL SUBSUELO 20
4.1 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS 20
4.2 PARÁMETROS POR UTILIZAR EN EL DISEÑO DE LAS FUNDACIONES 20
4.3 TIPO Y PROFUNDIDAD DE FUNDACIONES 21
4.4 CAPACIDAD DE SOPORTE ADMISIBLE 24
4.4.1 ASENTAMIENTO DEL SUELO 24
4.4.2 CAPACIDAD DE SOPORTE MÉTODO DE TERZAGHI 25
4.5 RAZÓN DE SOPORTE (CBR) 27
4.6 COEFICIENTE DE BALASTO VERTICAL 27
4.7 ADHERENCIA SUELO CEMENTO (PARA DISEÑO DE MICROPILOTES) 28
4.8 COEFICIENTE DE EMPUJE 29
4.8.1 COEFICIENTE SÍSMICO 29

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago

www.transemel.cl

4.8.2 COEFICIENTE DE EMPUJE ESTÁTICOS Y SÍSMICOS 29
4.8.3 TALUDES 30
4.9 DISEÑO DE MICROPILOTES 30
4.10 DISEÑO DE PILAS DE FUNDACIÓN 32
4.11 RADIERES Y PAVIMENTOS 33
5. RECOMENDACIONES GENERALES 33
5.1 ESCARPE 33
5.2 CORTES 33
5.3 RELLENOS 34
5.4 MEJORAMIENTOS DE SUELOS A NIVEL DE FUNDACIONES 35
5.5 CONTROL EN SITIO 36
6. RECOMENDACIONES ESPECIALES 37
6.1 PROTECCIÓN DE FUNDACIONES Y ELEMENTOS ESTRUCTURALES 37
7. HIDROLOGÍA DEL SECTOR 38
7.1 CURSOS DE AGUA SUPERFICIALES 38
7.2 QUEBRADAS 39
7.3 ANEGAMIENTO DEBIDO A AGUAS LLUVIA 39
8. REGISTRO FOTOGRAFICO 41
9. ANEXOS: RESULTADOS DE ENSAYOS 49
9.1 ENSAYOS A MATERIAL EXTRAIDO DE CALICATA N°1 49
9.2 ENSAYOS A MATERIAL EXTRAIDO DE CALICATA N°2 51
9.3 ENSAYOS A MATERIAL EXTRAIDO DE CALICATA N°3 53
9.4 ENSAYOS A MATERIAL EXTRAIDO DE CALICATA N°4 55

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago

www.transemel.cl

1. GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

A petición de Ingeniería Agrosonda S.p.A., se ejecutó el día 23 de septiembre de 2025, una exploración geotécnica en el predio donde se proyecta construir la "Subestación Coiquen 66 kV", el cual servirá como base para la confección del estudio de mecánica de suelos que se utilizará para el desarrollo de la ingeniería civil estructural del proyecto. Se debe indicar que la subestación Coiquen 66 kV se ubicara aproximadamente a 4.0 km al sur poniente de la ciudad de Quirihue, en la comuna del mismo nombre, en región de Ñuble (ver figura 1.1).

El acceso a la subestación se realiza a través de la ruta de los conquistadores, la cual va desde la localidad de Quirihue hasta la localidad de Coelemu, ha aproximadamente a 1.2 km al sur poniente de la intersección de las ruta Los Conquistadores con la ruta N-50.

Como parte de las actividades de diseño de ingeniería, es muy importante poder evaluar las condiciones geotécnicas e hidrológicas del sector sobre el cual se emplazarán las estructuras y fundaciones del proyecto. Lo anterior, permite tomar las medidas adecuadas que aseguren la estabilidad de éstas durante la vida útil del proyecto. Para ello, Ingeniería Agrosonda S.p.A. encargó PW Ingeniería la realización del estudio correspondiente. Para la realización de este estudio se realizó una campaña en terreno, en la cual se inspecciono el terreno donde se ubicará la subestación, se realizaron calicatas para determinar la estratigrafía del terreno y se tomaron muestras del suelo para los respectivos ensayos. Además, se realizó en terreno ensayo de velocidad de propagación de ondas Vs30.

Los ensayos de las muestras tomadas en terreno fueron realizados por el laboratorio Pampa Austral, ubicado en la ciudad de Chillan, en la región de Ñuble. Este laboratorio está acreditado bajo el sistema nacional de acreditación del Instituto Nacional de Normalización (INN). Se debe indicar que las muestras de terreno fueron tomadas por personal de PW, quienes entregaron las muestras a personal del laboratorio el mismo día en que se tomaron las muestras. Las muestras fueron entregadas en las oficinas de Pampa Austral.

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago

www.transemel.cl

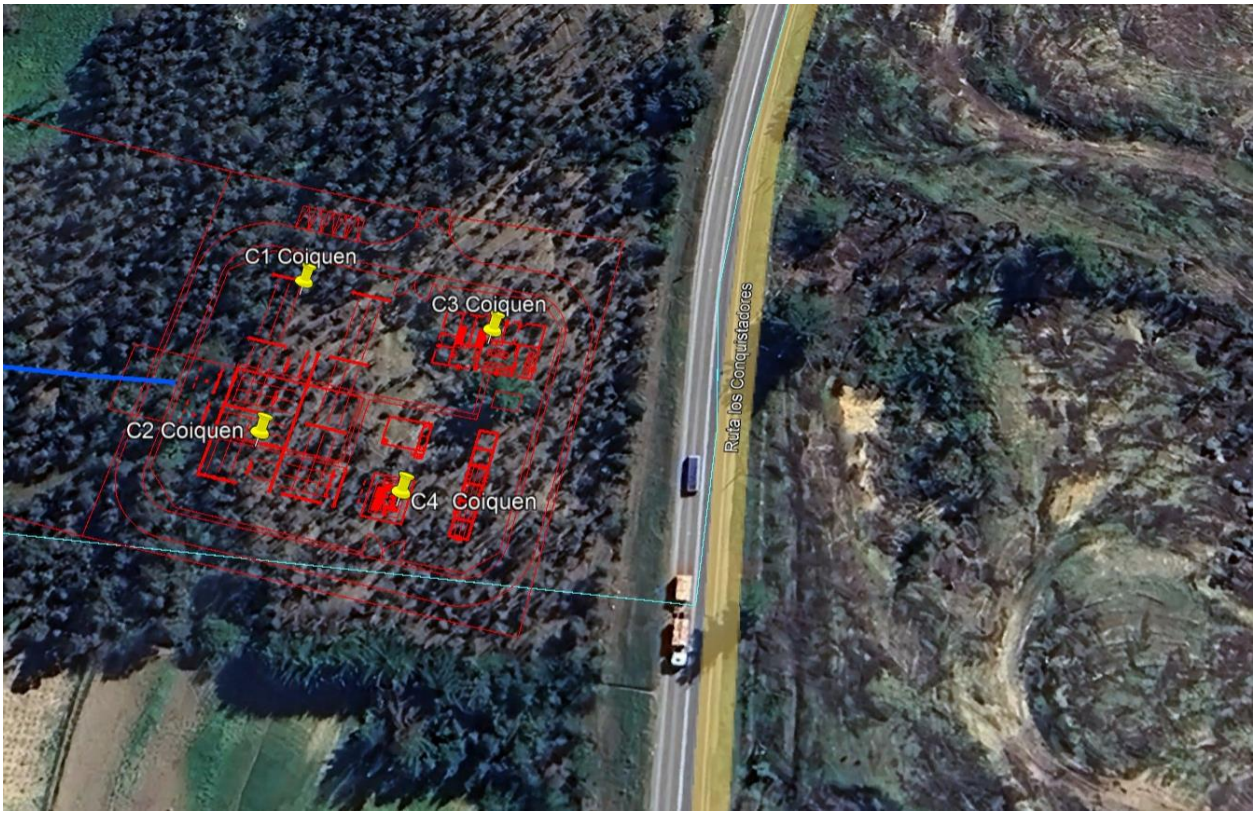


Figura 1.1 Ubicación sector en estudio y posición de las calicatas.

1.2 OBJETIVO

El presente estudio tiene como propósito caracterizar geotécnicamente la zona de emplazamiento de la subestación Coiquen 66 kV, propiedad de Transemel, con la finalidad de obtener los parámetros resistentes y de deformación del suelo de fundación, que servirán de respaldo para el diseño estructural de las fundaciones de las estructuras a emplazarse. También es parte del objetivo de este informe la clasificación sísmica del suelo de acuerdo con las normas nacionales vigentes y normas específicas aplicables a este tipo de proyectos.

También es propósito del presente informe, el verificar las condiciones hidrológicas imperantes en la zona de emplazamiento con la finalidad de definir la posibilidad de inundaciones en la zona de emplazamiento de la subestación, ya sea por crecidas de cursos de agua cercanos o por encontrarse el lugar de emplazamiento de la subestación en el camino de evacuación de vías de aguas asociadas a quebradas o desagües naturales de aguas lluvia.

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago

www.transemel.cl

1.3 ALCANCE

El estudio contempla la entrega de valores de capacidad de soporte admisible del suelo para condición estática y sísmica; los parámetros elásticos del suelo para estimar las deformaciones elásticas de éste y recomendaciones generales para el diseño de fundaciones, excavaciones y rellenos. Este estudio se realiza en cumplimiento del siguiente marco normativo:

- NCh. 1508 Of. 2008 "Geotecnia – Estudios de mecánica de suelos".
- Anexo técnico de la NTSyCS "Exigencias mínimas de diseño de instalaciones de transmisión".

El estudio también contempla el análisis de las condiciones hidrológicas del zona de emplazamiento de la subestación como de sus alrededores para identificar posibles peligros de inundación de esta. Además, el estudio contempla la clasificación sísmicas del suelo de acuerdo con lo indicado en el Decreto Supremo DS N°61 de noviembre de 2011, para lo cual se realizaron ensayos de medida de velocidad de propagación de ondas.

1.4 ANTECEDENTES

Los antecedentes tomados en consideración para la elaboración del presente informe son:

- Exploración geotécnica del sector en estudio, realizada el día 23 de septiembre de 2025, por personal técnico de PW Ingeniería. Dicha exploración consistió en el reconocimiento del lugar, muestreos de los cuatro pozos de exploración confeccionados y estratigrafías al interior de éstos. Lo anterior, es necesario para obtener la información preliminar de las características del sitio, áreas aledañas y de los estratos de suelo o roca que conforman el subsuelo. Además, con el propósito de recopilar la información disponible de la geología, topografía e información preliminar de diseño.

- Ensayo de velocidad de propagación de ondas Vs30, realizada el día 23 de septiembre de 2025, por personal técnico de laboratorio Pampa Austral. Los datos del ensayo se recolectaron mediante el método Remi y mediante el método MASW.

- Informe de Ensayo de muestras proporcionados por el laboratorio suelos Pampa Austral e informe de resultados ensayos de propagación de ondas Vs30.

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago
www.transemel.cl

- Planos del levantamiento topográfico realizado al terreno de emplazamiento de la subestación, realizado por personal de PW ingeniería. Los resultados del levantamiento se pueden apreciar en el plano T-SE10-INF-CIV-000002 "Levantamiento topográfico".

Se debe indicar que no se considera ensayo de Nakamura, ya que la clasificación del suelo se realiza según D.S. N° 61 de noviembre de 2011, el cual se encuentra vigente a la fecha, donde no se solicita el ensayo de Nakamura para la clasificación del suelo.

2. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

2.1 CARACTERIZACIÓN GEOLOGICA DE LA ZONA DE EMPLAZAMIENTO

La subestación Coiquen 66 kV estará ubicada en la parte superior de un cerro sin nombre, 18 km al norte del rio Itata y a 4.0 km al sur poniente de la localidad de Quirihue, en medio de la cordillera de la costa en la región de Ñuble. La zona de emplazamiento de la subestación Coiquen 66 kV se encuentra a una altura aproximada de 240 m.s.n.m.

El lugar de emplazamiento de la subestación se presenta con pendientes suaves a medianas, con un desnivel de aproximadamente 8 m en el sentido este - oeste desde el punto más alto del terreno y un desnivel de aproximadamente 12 m en el sentido sur – norte medido desde el punto más alto del terreno. Lo anterior implica un pendiente del 10% en el sentido este – oeste y 15% en el sentido sur norte, todas medidas desde el lugar más alto del predio.

Geológicamente, el terreno está configurado en base a granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas, de hornblenda y biotita, localmente moscovita, de acuerdo con lo indicado en el mapa geológico de chile, emitida por el Sernageomin.

En la figura 2.1 se muestra el mapa geológico de la zona en estudio.

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago

www.transemel.cl

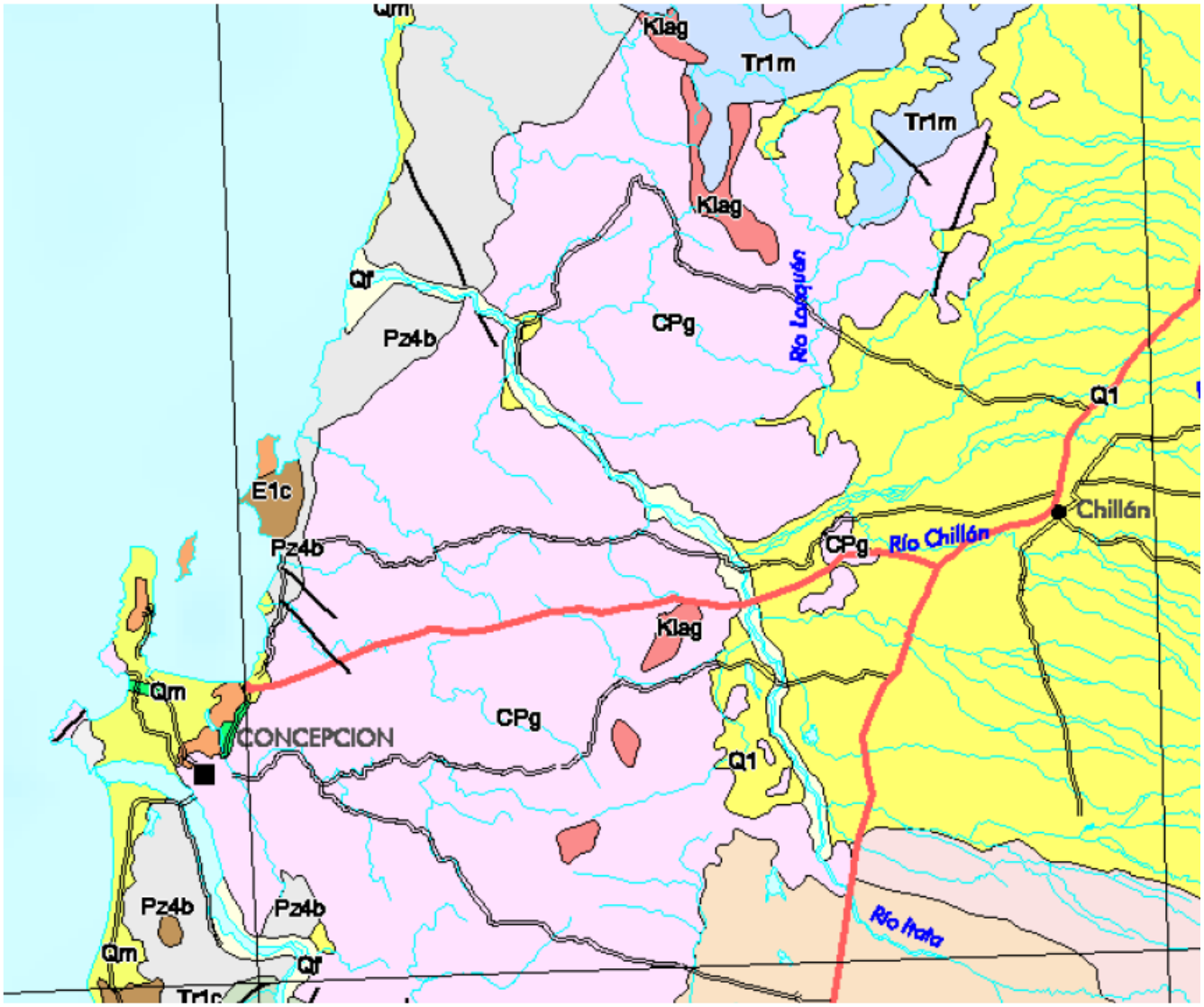


Figura 2.1 Geología de la zona en estudio

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago

www.transemel.cl

GRUPO REN

2.2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLORACIÓN

Para la investigación del subsuelo, se decidió realizar un total de 4 calicatas. En caso de requerir una mayor cantidad de calicatas, estas serán de cargo del Contratista. La ubicación de las calicatas fue definida en terreno, teniendo en consideración que las calicatas se ejecutasen de manera de abarcar todos los sectores de la subestación Coiquen 66 kV. Las coordenadas de las calicatas se indican a continuación (Tabla N°1 y Figura 2.1). Las excavaciones de las calicatas alcanzaron profundidades comprendidas entre los 3.6 y 4.0 m. En ninguna de las calicatas se presentó afloramiento de la napa de agua.

DESCRIPCIÓN	COORDENADAS E (m)	COORDENADAS N (m)
Calicata N°1	719047.00	5978440.00
Calicata N°2	719041.00	5978409.00
Calicata N°3	719083.00	5978428.00
Calicata N°4	719067.00	5978397.00

Tabla N°1 Coordenadas UTM Área 19 (Datum GPS WGS84)

En cada una de las calicatas se realizó un muestreo de material del subsuelo predominante (descartándose la primera capa de material más superficial) y descripción estratigráfica de cada una de éstas. Lo anterior con el fin de realizar en laboratorio los ensayos que permitan caracterizar geotécnicamente al suelo del sector en estudio. Las muestras de suelo fueron tomadas por personal de PW y entregadas el mismo día en las dependencias del laboratorio Pampa Austral.

Además, se realizaron ensayos de velocidad de propagación de ondas (Vs30) mediante método Remi y método Masw, de acuerdo con lo indicado en el DS N°61 de noviembre de 2011.

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago

www.transemel.cl



Figura 2.1 Ubicación calicatas en sector en estudio

2.3 PROGRAMA DE ENSAYOS

En base a la información que se obtiene del reconocimiento del sitio, de las calicatas, y del proyecto en sí, se establece ejecutar los siguientes ensayos:

Calicata Nº	Estrato	Profundidad (m)	Ensayos
PE-01	02	0.40 – 4.00	- Granulometría. - Material Fino < 0.08 mm. - Densidad de Partículas sólidas. - Proctor modificado. - CBR - Límites de Atterberg. - Contenido de humedad. - Clasificación USCS.

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago

www.transemel.cl

PE-02	02	0.40 – 3.80	- Granulometría. - Material Fino < 0.08 mm. - Densidad de Partículas sólidas. - Proctor modificado. - CBR - Límites de Atterberg. - Contenido de humedad. - Clasificación USCS.
PE-03	02	0.40 – 3.90	- Granulometría. - Material Fino < 0.08 mm. - Densidad de Partículas sólidas. - Proctor modificado. - CBR - Límites de Atterberg. - Contenido de humedad. - Clasificación USCS.
PE-04	02	0.40 – 3.60	- Granulometría. - Material Fino < 0.08 mm. - Densidad de Partículas sólidas. - Proctor modificado. - CBR - Límites de Atterberg. - Contenido de humedad. - Clasificación USCS.

2.4 DESCRIPCIÓN ESTRATIGRAFICA

De acuerdo con los antecedentes que se recogen de la observación de las calicatas, se debe indicar que los todas las calicatas presentan estratigrafías similares, con un estrato superior de aproximadamente 40 cm de terreno vegetal, con presencia de raíces, para luego pasar a un estrato de espesor variable de entre 40 -400 cm de espesor de arena limosa o limo inorgánico según sea el caso, de color café oscuro y consistencia media, que va aumentado a medida que aumenta la profundidad. A continuación, se describe en detalle la estratigrafía de cada una de las calicatas.

2.4.1 CALICATA N°1

Horizonte 1: Corresponde a un estrato compuesta por una capa vegetal, de color café oscuro, con un espesor de 0.40 m, con alta presencia de raíces y otros restos de materia orgánica.

Horizonte 2: Corresponde a un estrato homogéneo de arena limosa, de color café claro, sin presencia de partículas gruesas mayores a 3/4", de compacidad media con baja plasticidad, sin presencia de materia orgánica, raíces u otros contaminantes. El espesor de este horizonte es de 3.6 m, es decir, se encuentra entre los 0.40 y los 4.0 m de profundidad.

2.4.2 CALICATA N°2

Horizonte 1: Corresponde a un estrato compuesta por una capa vegetal, de color café oscuro, con un espesor de 0.40 m, con alta presencia de raíces y otros restos de materia orgánica.

Horizonte 2: Corresponde a un estrato homogéneo de limo inorgánico, de color café claro, sin presencia de partículas gruesas mayores a 3/4" y sin presencia de materia orgánica, de compacidad media con baja plasticidad. El espesor de este horizonte es de 3.4 m, es decir, se encuentra entre los 0.4 y los 3.8 m de profundidad.

2.4.3 CALICATA N°3

Horizonte 1: Corresponde a un estrato compuesta por una capa vegetal, de color café oscuro, con un espesor de 0.40 m, con alta presencia de raíces y otros restos de materia orgánica.

Horizonte 2: Corresponde a un estrato homogéneo arena limosa, de color café claro, sin presencia de partículas gruesas mayores a 3/4", de compacidad media con baja plasticidad, sin presencia de materia orgánica, raíces u otros contaminantes. El espesor de este horizonte es de 3.5 m, es decir, se encuentra entre los 0.40 y los 3.9 m de profundidad.

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago

www.transemel.cl

2.4.4 CALICATA N°4

Horizonte 1: Corresponde a un estrato compuesta por una capa vegetal, de color café oscuro, con un espesor de 0.40 m, con alta presencia de raíces y otros restos de materia orgánica.

Horizonte 2: Corresponde a un estrato relativamente homogéneo de limo inorgánico, de color café oscuro, sin presencia de partículas gruesas mayores a 3/4" y sin presencia de materia orgánica, de compacidad media con baja plasticidad. El espesor de este horizonte es de 3.2 m, es decir, se encuentra entre los 0.4 y los 3.6 m de profundidad.



Figura 2.2 Calicata N°1

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago

www.transemel.cl



Figura 2.3 Calicata N°2

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago

www.transemel.cl



Figura 2.4 Calicata N°3

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago

www.transemel.cl



Figura 2.5 Calicata N°4

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago

www.transemel.cl

3. CLASIFICACIÓN DEL SUELO

En los siguientes puntos se muestra la clasificación de los suelos obtenidos para cada una de las calicatas confeccionadas durante la exploración.

3.1 CALICATA N°1

Para la calicata N°1 se considera que las fundaciones tipo losa y/o tipo zapata pedestal se podrán apoyar en forma directa en el estrato N°2 o en un relleno estructural que tenga características geotécnicas similares a las que se tienen para el estrato N°2. Para el diseño de fundaciones que utilicen micropilotes o pilas de fundación se consideraran los parámetros del suelo asociados al estrato N°2. La clasificación y propiedades del estrato N°2 se indican a continuación.

Clasificación USCS

En función de la distribución granulométrica que muestran las partículas que componen el material de suelo, y de los resultados obtenidos para el límite líquido, se puede establecer que el suelo clasifica (según USCS) dentro del grupo: SM, que corresponden a arenas limosas.

Clasificación ASSHTO

En función de la distribución granulométrica que muestran las partículas que componen el material de suelo, y de los resultados obtenidos para el límite líquido, se puede establecer que el suelo clasifica según ASSHTO en el grupo A 4 (1).

Clasificación según ETG A.0.10

El suelo clasifica como tipo 4F de acuerdo con lo indicado en la ETG A.0.10 de Transelec.

3.2 CALICATA N°2

Para la calicata N°2 se considera que las fundaciones tipo losa y/o tipo zapata pedestal se podrán apoyar en forma directa en el estrato N°2 o en un relleno estructural que tenga características geotécnicas similares a las que se tienen para el estrato N°2. Para el diseño de fundaciones que utilicen micropilotes o pilas de fundación, se consideraran los parámetros del suelo asociados al estrato N°2. La clasificación y propiedades del estrato N°2 se indican a continuación.

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago

www.transemel.cl

Clasificación USCS

En función de la distribución granulométrica que muestran las partículas que componen el material de suelo, y de los resultados obtenidos para el límite líquido, se puede establecer que el suelo clasifica (según USCS) dentro del grupo: ML, que corresponden a limo inorgánico de baja plasticidad.

Clasificación ASSHTO

En función de la distribución granulométrica que muestran las partículas que componen el material de suelo, y de los resultados obtenidos para el límite líquido, se puede establecer que el suelo clasifica según ASSHTO en el grupo A 7 -6 (5)

Clasificación según ETG A.0.10

El suelo clasifica como tipo 4C de acuerdo con lo indicado en la ETG A.0.10 de Transelec.

3.3 CALICATA N°3

Para la calicata N°3 se considera que las fundaciones tipo losa y/o tipo zapata pedestal se podrán apoyar en forma directa en el estrato N°2 o en un relleno estructural que tenga características geotécnicas similares a las que se tienen para el estrato N°2. Para el diseño de fundaciones que utilicen micropilotes y pilas de fundación, se consideraran los parámetros del suelo asociados al estrato N°2. La clasificación y propiedades del estrato N°2 se indican a continuación.

Clasificación USCS

En función de la distribución granulométrica que muestran las partículas que componen el material de suelo, y de los resultados obtenidos para el límite líquido, se puede establecer que el suelo clasifica (según USCS) dentro del grupo: SM, que corresponden a arenas limosas.

Clasificación ASSHTO

En función de la distribución granulométrica que muestran las partículas que componen el material de suelo, y de los resultados obtenidos para el límite líquido, se puede establecer que el suelo clasifica según ASSHTO en el grupo A 2-5 (0)

Clasificación según ETG A.0.10

El suelo clasifica como tipo 4F de acuerdo con lo indicado en la ETG A.0.10 de Transelec.

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago

www.transemel.cl

3.4 CALICATA N°4

Para la calicata N°4 se considera que las fundaciones tipo losa y/o tipo zapata pedestal se podrán apoyar en forma directa en el estrato N°2 o en un relleno estructural que tenga características geotécnicas similares a las que se tienen para el estrato N°2. Para el diseño de fundaciones que utilicen micropilotes se consideraran los parámetros del suelo asociados al estrato N°2. La clasificación y propiedades del estrato N°2 se indican a continuación.

Clasificación USCS
En función de la distribución granulométrica que muestran las partículas que componen el material de suelo, y de los resultados obtenidos para el límite líquido, se puede establecer que el suelo clasifica (según USCS) dentro del grupo: ML, que corresponden a limo inorgánico de baja plasticidad.

Clasificación ASSHTO
En función de la distribución granulométrica que muestran las partículas que componen el material de suelo, y de los resultados obtenidos para el límite líquido, se puede establecer que el suelo clasifica según ASSHTO en el grupo A 7-5 (10)

Clasificación según ETG A.0.10
El suelo clasifica como tipo 4C de acuerdo con lo indicado en la ETG A.0.10 de Transelec.

En general se puede apreciar que, en todos los casos, la clasificación del suelo es igual similar para todas las calicatas, variando de arena limosa a limo inorgánico.

Además, de acuerdo con el ensayo de velocidad de propagación de onda Vs30, la velocidad calculada es de 332 m/s, lo que corresponde a un suelo medianamente denso o firme, suelo tipo D, cumpliendo el requisito de rango de velocidad entre 180 ≤ VS ≤ 350 (m/s), de acuerdo con lo indicado en el Decreto Supremo DS N° 61, noviembre 2011.

Se debe recordar, que la velocidad de propagación de ondas fue determinada utilizando método Remi y método Masw.

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago
www.transemel.cl

4. PROPIEDADES DEL SUBSUELO

A continuación, se presentan las características del suelo que se utilizaran para el diseño de las fundaciones. Para las fundaciones que se ubiquen al lado norte de la subestación se podrán considerar los parámetros para arenas limosas, mientras que para las fundaciones que se encuentren al lado sur de la subestación se podrán considerar los parámetros asociados a limos inorgánicos.

4.1 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

HORIZONTE 2 (arenas limosas)

En el caso de las fundaciones del lado norte de la subestación se considerarán los siguientes parámetros:

- Densidad Total (γ_t) : 1.80 t/m^3
- Angulo de fricción interna ($\emptyset'$) : 30°
- Cono de arrancamiento : 30°
- Cohesión (c') : 0 t/m2
- Módulo de Poisson (ν) : 0.3

HORIZONTE 2 (limo inorgánico)

En el caso de las fundaciones en la zona de la sala de control se considerarán los siguientes parámetros:

- Densidad Total (γ_t) : 1.62 t/m^3
- Angulo de fricción interna ($\emptyset'$) : 25°
- Cono de arrancamiento : 30°
- Cohesión (c') : 7.0 t/m2
- Módulo de Poisson (ν) : 0.3

4.2 PARÁMETROS POR UTILIZAR EN EL DISEÑO DE LAS FUNDACIONES

Para determinar los valores de diseño que se aplicaran a cada uno de los elementos del proyecto, se utilizaran los parámetros indicados en 4.1, dependiendo del sector de emplazamiento de las obras.

4.3 TIPO Y PROFUNDIDAD DE FUNDACIONES

Las características del sistema de fundación a adoptar variarán según sea el tipo de estructura en proyecto. En este caso se podrán utilizar fundaciones tradicionales con zapata y pedestal, fundaciones constituidas por micropilotes y cabezal, o fundaciones con pilas. También se podrán utilizar fundaciones equivalentes a las antes descritas.

En general, no se aceptará el apoyo de una fundación en dos tipos de materiales de diferente rigidez. Esto aplica también para el caso de los micropilotes y pilas que se utilicen para una misma fundación. En este caso, todos los micropilotes y/o pilas que apoyen a una misma fundación deberán estar anclados en el mismo tipo de material en cuanto a su rigidez. En la figura 4.1 se muestra lo anterior.

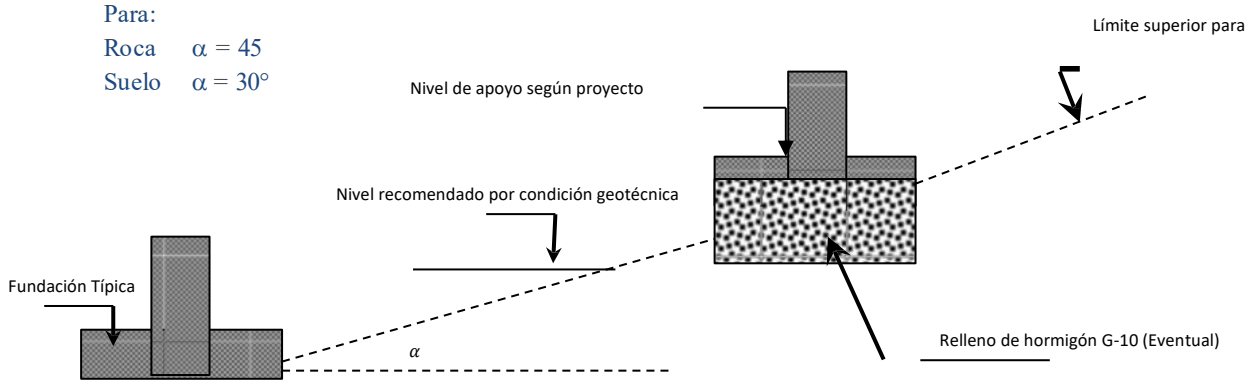


Figura N°4.1 Geometría propuesta para fundaciones a desnivel

Se recomienda que el sello de fundación sobre los estratos antes descritos se encuentre a una profundidad mínima de 1.00 m con respecto al nivel de terreno natural en el caso de utilizar fundaciones tradicionales.

En caso de que se deba realizar un mejoramiento de terreno bajo las fundaciones proyectadas, ya sea por encontrarse algún bolsón de material de otro tipo o por razones de diseño (necesitar mayor capacidad de soporte del suelo) se recomienda colocar 2 capas de base estabilizada compactada, de 20 cm de espesor. El material utilizado como base estabilizada deberá cumplir con las características indicadas en el punto 5.4 de este informe.

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago
www.transemel.cl

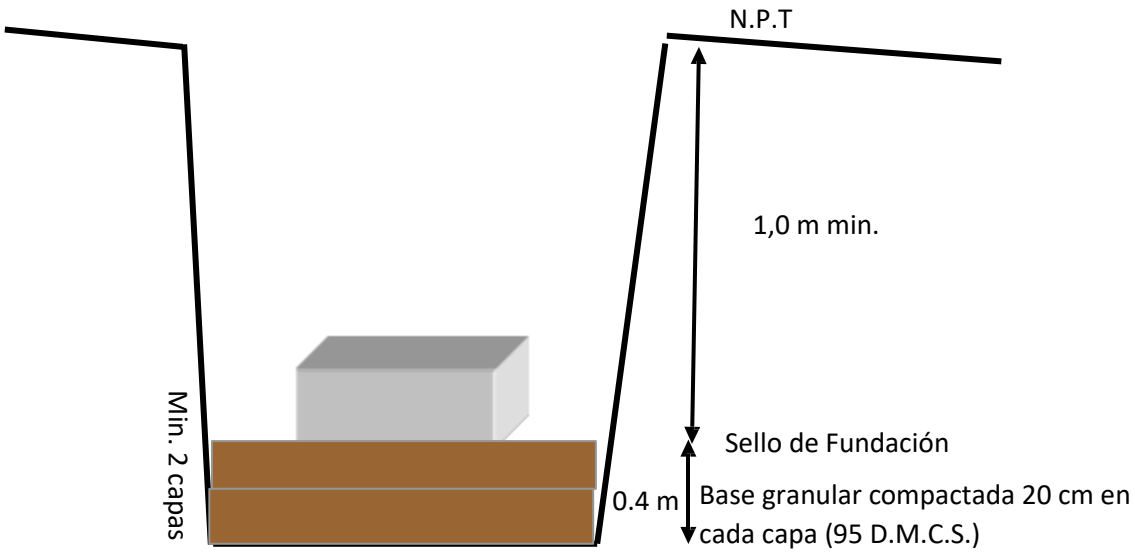
Alternativamente a estas capas de mejoramiento se podrá considerar un relleno de hormigón pobre G-10 de un espesor mínimo de 10 cm. Este mejoramiento de 40 cm de espesor compactado o 10 cm de relleno de hormigón pobre permite mejorar la capacidad de soporte del suelo, homogeneizar el sello y reducir asentamientos diferenciales. La compactación de este mejoramiento deberá alcanzar un 95% del Proctor modificado o 80% de la densidad relativa. Lo anterior aplica solo para el caso de fundaciones tradicionales. En la figura 4.2 se muestra un esquema de las alternativas de mejoramiento indicadas más arriba.

En el caso de realizar el mejoramiento mediante dos capas de base estabilizada, se debera tomar, al menos, 1 muestra de densidad por cada capa, para cada una de las fundaciones donde se realicen rellenos compactados. En el caso de que se realice un relleno común para un conjunto de fundaciones (por ejemplo, para tres transformadores de corriente), se considerara tomar una muestra de densidad por capa para el conjunto.

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago

www.transemel.cl

Alternativa de mejoramiento 1



Alternativa de mejoramiento 2

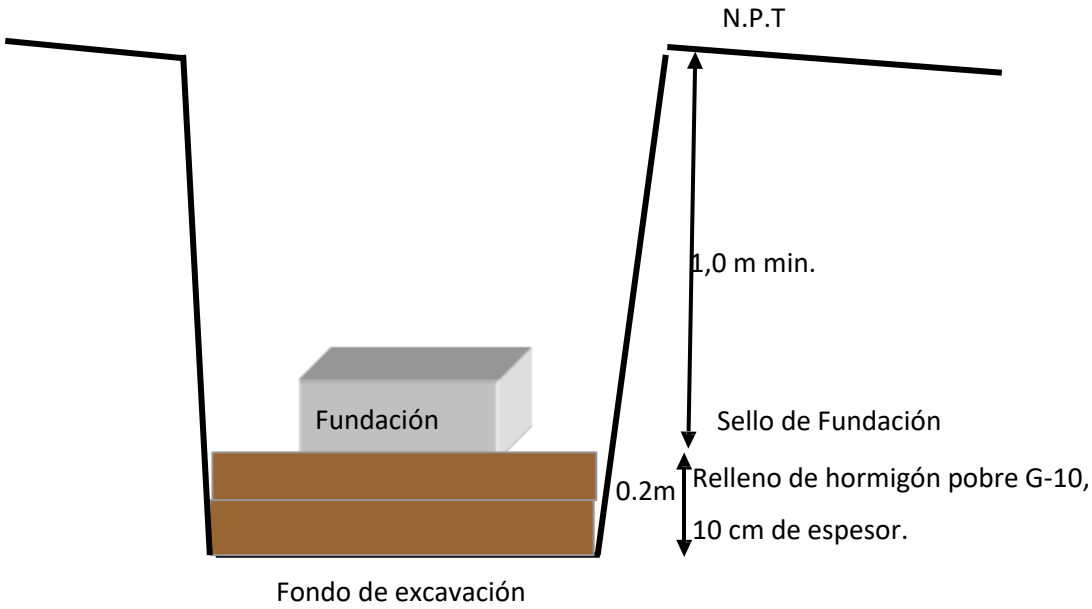


Figura 4.2 Propuestas de mejoramiento.

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago

www.transemel.cl

GRUPO REN

4.4 CAPACIDAD DE SOPORTE ADMISIBLE

Para obtener la tensión admisible del suelo se consideró la más desfavorable entre la obtenida mediante la capacidad de soporte calculada por el método de Terzaghi y la obtenida mediante el asiento máximo del suelo.

4.4.1 ASENTAMIENTO DEL SUELO

Se debe considerar el asentamiento de elástico máximo de 2.50 cm, con este valor y la siguiente expresión, se obtiene la tensión admisible como lo indica la siguiente ecuación:

$$q_{adm} = \frac{\delta_{adm} * E_s}{B * (1 - \nu) * I_f}$$

Solo para efectos de cálculo, se consideró una fundación estándar cuadrada de lado 1.20 m de ancho. La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos para arena limosa y para limo inorgánico respectivamente.

Fundaciones cuadradas Lado B=1.20, considerando arena limosa	
Asentamiento Admisible δ_{adm} (m)	0.025
Módulo de Poisson (ν)	0.30
Módulo de Elasticidad (Es (KN/m^2))	17500
Factor de Forma If (cm/cm)	1.00
Tensión Admisible q adm (Kg/cm2)	**5.20**

Fundaciones cuadradas Lado B=1.20, considerando limo inorgánico	
Asentamiento Admisible δ_{adm} (m)	0.025
Módulo de Poisson (ν)	0.30
Módulo de Elasticidad (Es (KN/m^2))	15000
Factor de Forma If (cm/cm)	1.00
Tensión Admisible q adm (Kg/cm2)	**4.46**

Se obtiene para una fundación estándar cuadrada de 1.2 m de largo una tensión admisible de 5.20 kg/cm^2 para arena limosa y de 4.46 kg/cm^2 para limo inorgánico. Los valores anteriores son aplicables a los sectores de la subestación definidos anteriormente.

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago
www.transemel.cl

4.4.2 CAPACIDAD DE SOPORTE MÉTODO DE TERZAGHI

Las siguientes tablas muestran la metodología de cálculo de la tensión admisible mediante el método de Terzaghi para el suelo del estrato N°2 en suelos constituidos por arenas limosas y para suelos constituidos por limos inorgánicos.

Zapata aislada cuadrada considerando arenas limosas:

$$q_{adm} = \gamma_h * D + \frac{\rho * \gamma_h * N_\gamma + \gamma_h * D * (N_q - 1) + 1.3 * C * N_c}{F.S.}$$

$$q_{adm} = 2.20\ kg/cm^2$$

PARAMETROS DEL SUELO				
Angulo de fricción interna, F:	30	°	30	°
Densidad del suelo,γ_h:	1.88	gr/cm^3	0.00188	Kg/cm^3
Profundidad de fundación, D:	1.20	m	120	cm
Cohesión, C':	0.00	T/m^2	0.00	Kg/cm^2
Factor de seguridad, F:	3		3	
Ancho fundación, B:	1.20	m	120	cm
Longitud de fundación, L:	1.20	m	120	cm

Se tiene un factor de forma de:

$$\rho = \frac{B}{(2 * (1 + (\frac{B}{L}))}$$

$\boldsymbol{\rho = 30.00}$ cm

Los factores de carga a considerar son los siguientes:

- $Factor\ de\ capacidad\ de\ carga\ por\ sobrecarga\ N_q = 22.46$
- $Factor\ de\ capacidad\ de\ carga\ por\ cohesión\ N_c = 37.16$
- $Factor\ de\ capacidad\ de\ carga\ por\ peso\ del\ suelo\ N_\gamma = 19.13$

Luego, se tendrá una tensión admisible de 2.20 kg/cm^2 para cargas normales. Luego:

$q_{adm\ normal} = 2.20\ kg/cm^2$

$q_{adm\ eventual} = 2.90\ kg/cm^2$

Zapata aislada cuadrada considerando limo inorgánico:

$$q_{adm} = \gamma_h * D + \frac{\rho * \gamma_h * N_\gamma + \gamma_h * D * (N_q - 1) + 1.3 * C * N_c}{F.S.}$$

$$q_{adm} = 1.85\ kg/cm^2$$

PARAMETROS DEL SUELO				
Angulo de fricción interna, F:	25	°	25	°
Densidad del suelo,γ_h:	1.62	gr/cm^3	0.00162	Kg/cm^3
Profundidad de fundación, D:	1.20	m	120	cm
Cohesión, C':	7.00	T/m^2	0.70	Kg/cm^2
Factor de seguridad, F:	3		3	
Ancho fundación, B:	1.20	m	120	cm
Longitud de fundación, L:	1.20	m	120	cm

Se tiene un factor de forma de:

$$\rho = \frac{B}{(2 * (1 + (\frac{B}{L}))}$$

$\boldsymbol{\rho = 30.00}$ cm

Los factores de carga a considerar son los siguientes:

- $Factor\ de\ capacidad\ de\ carga\ por\ sobrecarga\ N_q = 12.72$
- $Factor\ de\ capacidad\ de\ carga\ por\ cohesión\ N_c = 25.13$
- $Factor\ de\ capacidad\ de\ carga\ por\ peso\ del\ suelo\ N_\gamma = 8.34$

Luego, se tendrá una tensión admisible de 1.85 kg/cm^2 para cargas normales. Luego:

$q_{adm\ normal} = 1.85\ kg/cm^2$

$q_{adm\ eventual} = 2.46\ kg/cm^2$

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago
www.transemel.cl

4.5 RAZÓN DE SOPORTE (CBR)

El valor de CBR para una condición de densidad equivalente al 95% de la D.M.C.S. y medido a 0,2" de penetración varía entre un 13% a un 15%. Los resultados por cada una de las calicatas es el siguiente:

- CBR calicata N°1: 15%.
- CBR calicata N°2: 13%.
- CBR calicata N°3: 14%
- CBR calicata N°4: 13%.

Estos valores clasifican al suelo como capacidad de soporte regular.

4.6 COEFICIENTE DE BALASTO VERTICAL

El coeficiente de balasto vertical se puede relacionar con el CBR mediante la siguiente ecuación:

$$K\left(\frac{MPa}{m}\right) = 69.78 * \log(CBR) - 10.16$$

Luego, el valor de coeficiente de balasto vertical para cada uno de

- Coeficiente de balasto calicata N°1: 7.2 kg/cm^3.
- Coeficiente de balasto calicata N°2: 6.8 kg/cm^3.
- Coeficiente de balasto calicata N°3: 7.0 kg/cm^3.
- Coeficiente de balasto calicata N°4: 6.8 kg/cm^3.

Se considera el menor valor de los obtenidos y un coeficiente de seguridad de 2, por lo que el valor recomendado para el coeficiente de balasto será de 3.40 kg/cm^3. Para coeficiente de balasto en condición dinámica se considera el coeficiente de balasto estático amplificado por un factor de 1.5, por lo que el coeficiente de balasto dinámico será de 5.1 kg/cm^2.

Además, se considera que el valor del coeficiente de balasto horizontal corresponderá a 2/3 del valor del coeficiente de balasto vertical.

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago

www.transemel.cl

4.7 ADHERENCIA SUELO CEMENTO (PARA DISEÑO DE MICROPILOTES)

De acuerdo con lo indicado en la literatura técnica, en particular en lo indicado en las recomendaciones del Grupo de Trabajo "Pilotes" (EA-Pfähle) de la Sociedad Geotécnica Alemana, para suelos no cohesivos, con resistencia media por punta de 7.5 MN/m^2, el valor asociado al percentil 50, es de 2.1 kg/cm^2. Sin embargo, para el diseño el micropilotes, y en caso de no contar con información de pruebas de arranque, se recomienda utilizar un valor de adherencia mínimo de 1.0 kg/cm^2. En la figura 4.3 se puede ver un extracto de la tabla 5.31 del EA- Pfahle.

Valores empíricos con pilotes tabulares de inyección EA-Pfähle Tabla 5.31 en suelos no cohesivos

Resistencia media por punta q_c del sondeo en MN/m²	Valor de rotura $q_{s,k}$ del fuste en kN/m²*		
	10 %		50 %
7,5	170	-	210
15	255	-	320
≥ 25	305	-	365

Figura 4.3 Valores de adherencia suelo cemento para suelos no cohesivos.

En el caso de suelos cohesivos, en este caso para los suelos clasificados como limo inorgánico, las recomendaciones del Grupo de Trabajo "Pilotes" (EA-Pfähle) de la Sociedad Geotécnica Alemana, para suelos cohesivos, con resistencia a corte sin drenaje de 60 kN/m^2, el valor asociado al percentil 50, es de 0.8 kg/cm^2. Sin embargo, para el diseño el micropilotes, y en caso de no contar con información de pruebas de arranque, se recomienda utilizar un valor de adherencia mínimo de 0.7 kg/cm^2. En la figura 4.4 se puede ver un extracto de la tabla 5.32 del EA- Pfahle.

EA-Pfähle Tabla 5.32 en suelos cohesivos

Resistencia a corte sin drenaje $c_{u,k}$ en kN/m²	Valor de rotura $q_{a,k}$ del fuste en kN/m²*		
	10 %		50 %
60	70	-	80
150	115	-	125
≥ 250	140	-	150

*Se pueden interpolar linealmente valores intermedios.

Figura 4.3 Valores de adherencia suelo cemento para suelos cohesivos.

4.8 COEFICIENTE DE EMPUJE

4.8.1 COEFICIENTE SÍSMICO

De acuerdo con lo establecido en la norma chilena NCh2369 Of.2003, la subestación Coiquen 66 kV se encuentra ubicada en zona sísmica 3, por lo que se considera que la aceleración máxima en este sector del país corresponde a $a_{máx}$ = 0.40 g. En base a lo anterior, se recomienda que el coeficiente de aceleración horizontal a aplicar en el diseño de estructuras enterradas o subterráneas corresponde a k_h = 0.23 (k_h = 0.58 $A_{máx}$/g).

4.8.2 COEFICIENTE DE EMPUJE ESTÁTICOS Y SÍSMICOS

Se recomienda utilizar los coeficientes de empujes estáticos y sísmicos para estructuras de contención, según se indica a continuación:

Material	Empujes Estáticos			Incremento Empujes por Sismo
	Activo (K_a)	Pasivo (K_p)	Reposo (K_o)	Activo (K_a)
Suelo Horizonte 2 arena limosa	0.33	3.00	0.50	0.15
Suelo horizonte 2 limo inorgánico	0.41	2.46	0.57	0.15

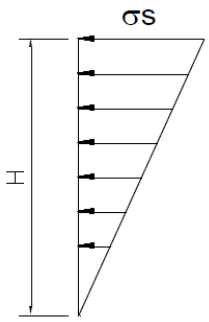
La presión sísmica uniformemente distribuida en toda la altura H de muros subterráneos sería, según Nch 433:

$$\sigma_s = \frac{0.3 * C_r * \gamma * H * A_0}{g}$$

En que:

- A_o/g = 0.40 (Zona sísmica 3).
- Densidad total (γ_t)
- C_R= 0.58 Para rellenos granulares depositados entre el muro y el talud de una excavación practicada en suelo compactado.

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago
www.transemel.cl



En todos los demás casos la presión máxima horizontal a una profundidad H es $\sigma_t = K * \gamma_t * H$, dando origen a un diagrama triangular.

4.8.3 TALUDES

Para la construcción de la obra se han considerado excavaciones que comprometerán la cubierta superior del suelo. Por lo mismo, los taludes de corte recomendados, tanto para cortes temporales como permanentes, se indican a continuación:

Sector	Taludes de Corte (V:H)	
	Construcción	Permanente
Horizonte 2 arena limosa	1:1	1:1.5
Horizonte 2 limo inorgánico	1:1.5	1:2.0

Para excavaciones profundas se deberán realizar las entibaciones correspondientes y respetar las respectivas normas nacionales. Se respetará fundamentalmente la siguiente norma nacional vigente para excavaciones: NCh. 349 Of.99 "Disposiciones de Seguridad en Excavación".

4.9 DISEÑO DE MICROPILOTES

Además, de las fundaciones tradicionales, para el proyecto se considera la posibilidad de utilizar fundaciones con micropilotes. Se debe tener en consideración, al momento de diseñar con micropilotes lo siguiente:

- En el caso de fundaciones de equipos de nivel de tensión 66 kV o menores, o en aquellos casos en que se tengan cargas de tracción poco significativas, se podrá reducir la cantidad de micropilotes, pero siempre considerando al menos 2 micropilotes por fundación. En el

caso de estructuras altas, independiente del nivel de tensión se deberá considerar el uso de al menos 4 micropilotes.

- En el caso de fundaciones que estén sometidas en forma mayoritaria a cargas del tipo axial, ya sean de compresión o tracción, los micropilotes podrán ser instalados en forma vertical, sin inclinación. Cuando las fundaciones sean sometidas a momentos significativos, se deberán instalar los micropilotes con la inclinación que sea definida en la memoria de cálculo respectiva.

- El largo mínimo de los micropilotes será de 3.0 m.

- En el caso de que los micropilotes se apoyen en estratos de suelos distintos, se utilizaran los parámetros geotécnicos del estrato más representativo, es decir, aquel en el cual la mayor parte del micropilote se encuentre apoyado.

- El coeficiente de balasto a utilizar es el indicado en el numeral 4.6 de este informe, mientras que el valor de adherencia a utilizar es el indicado en el numeral 4.7 de este informe.

- Se recomienda utilizar un Factor de seguridad F.S.: 1.54 para el diseño de los micropilotes. Este factor de seguridad se basa en lo indicado en la norma DIN 1054:2010-12. En la figura 4.4 se muestra la tabla A2.3 de la norma DIN 1054:2010-12.

Factor de seguridad parcial γ_R para resistencias
(Extracto de DIN 1054:2010-12, Tabla A2.3)

Resistencia	Símbolo	Hipótesis de cálculo		
		BS-P	BS-T	BS-A
Resistencias del micropilote a partir de ensayos de carga dinámicos y estáticos				
Resistencia por punta	γ_b	1,10	1,10	1,10
Resistencia por fuste (compresión)	γ_s	1,10	1,10	1,10
Resistencia conjunta (compresión)	γ_t	1,10	1,10	1,10
Resistencia por fuste (tracción)	$\gamma_{s,t}$	1,15	1,15	1,15
Resistencias del micropilote basados en la experiencia				
Micropilote a compresión	γ_b, γ_s, γ_t	1,40	1,40	1,40
Micropilote a tracción (sólo en casos excepcionales)	$\gamma_{s,t}$	1,50	1,50	1,50

Figura 4.4 Factores de seguridad para el diseño de micropilotes.

4.10 DISEÑO DE PILAS DE FUNDACIÓN

Se debe tener en consideración, al momento de diseñar con pilas lo siguiente:

- El diseño de las pilas de fundación deberá ser realizado siguiendo lo indicado en la norma IEEE 691-2001 "Guide for Transmission Structure Foundation Design and Testing".

- Las pilas de fundación podrán ser diseñadas como pila recta o como pila acampanada de acuerdo con los requerimientos del proyecto.

- La profundidad mínima de enterramiento de las pilas de fundación será de 2.0 m.

- El diámetro mínimo de las pilas será de 0.9 m.

- En los diseños cuando se utilice campana, el ángulo horizontal-campana no será inferior a 60° y la zona de la campana que sobresale del diámetro D no llevará armadura.

- El diámetro máximo de la campana no excederá tres veces el diámetro del pilote.

- Consideraciones asumidas sobre la superficie de falla:
    - Cuando no se utiliza campana la superficie de falla se produce en la interfaz entre el hormigón y el suelo de contacto.
    - Cuando se utiliza campana la superficie de falla se produce entre la interfaz hormigón-suelo y un cilindro de diámetro máximo igual al de la campana.

- Para relaciones H/D < 5 se considera que la resistencia lateral se desarrolla sobre una superficie vertical que se extiende por encima de la campana hasta el nivel del terreno cuyo perímetro externo es el de la campana.

- Para relaciones H/D > 10 se considerará que la resistencia lateral se desarrolla sobre el diámetro D, despreciando el efecto de la campana en las verificaciones al arrancamiento.

- Para situaciones intermedias, la resistencia lateral se determinará considerando un diámetro intermedio, como promedio ponderado entre las dos situaciones límites señaladas.

- Las pilas podrán ser diseñadas con o sin cabezal, dependiendo los requerimientos del proyecto.

4.11 RADIERES Y PAVIMENTOS

Todos los radieres y/o pavimentos de hormigón deberán apoyarse sobre el horizonte 2, ya sea en la zona de arena limosa o en la zona de limo inorgánico. En cualquier caso, deberá realizarse un relleno compactado de material granular, cuyo espesor recomendado no será menor a 20 cm. La colocación de este material será en una sola capa, la que previo a su compactación se deberá humectar hasta una condición de humedad de ± 2,0% de la humedad óptima determinada mediante el ensayo de Proctor Modificado, posteriormente se procederá a su compactación hasta alcanzar una densificación igual o mayor que el 95% de la D.M.C.S. obtenida del Proctor Modificado o con el 80% de la densidad relativa. El material granular que se utilice como relleno deberá cumplir con los requisitos establecidos en 5.1.

Se recomienda utilizar en el diseño, con un coeficiente de balasto de 9,0 kg/cm^3. En el caso de considerar pavimentos flexibles, se recomienda para su diseño considerar un CBR de la sub-rasante igual a 31%.

5. RECOMENDACIONES GENERALES

5.1 ESCARPE

Se deberá realizar un escarpe de espesor mínimo 40 cm en todo el área proyectada para la subestación. En este escarpe se deberá retirar todos los troncos, raíces y otros rastros de materia orgánica que se puedan encontrar.

5.2 CORTES

Debido a la topografía del lugar, en algunas zonas se deberán realizar cortes para alcanzar la cota de plataforma. Los trabajos de corte podrán ser realizados con medios mecánicos. El material procedente de los cortes podrá ser utilizado para realizar rellenos compactados, siempre y cuando, se encuentren limpios y sin materia orgánica. Los taludes que se generen deberán cumplir con lo indicado 4.8.3, ya sean estos taludes provisorios o taludes permanentes.

Una vez alcanzado el nivel de plataforma, éste se compactará utilizando medios mecánicos hasta alcanzar densidades de terreno mayores o iguales al 95% del Proctor Modificado o al 80% de la Densidad Relativa. Previo a su compactación, las partículas mayores a 3" deberán ser retiradas manualmente, asimismo todo escombro y/o materia orgánica que pudiera encontrarse.

5.3 RELLENOS

Debido a la topografía del lugar, en algunas zonas se deberán realizar rellenos compactados. Antes de comenzar con los trabajos de relleno, se deberá realizar un escarpe de espesor mínimo 40 cm en toda el área de trabajo. En este escarpe se deberá retirar todos los troncos, raíces y otros rastros de materia orgánica que se puedan encontrar. Luego, se deberá compactar el sello de excavación hasta alcanzar densidades de terreno mayores o iguales al 95% del Proctor Modificado o al 80% de la Densidad Relativa.

Para el relleno se podrán utilizar el material proveniente de las excavaciones, siempre y cuando este se encuentre limpio, sin presencia de materia orgánica, raíces u otros elementos similares. En caso de no poder utilizar el material proveniente de los cortes realizados, se podrá utilizar material granular, proveniente de empréstito y que cumpla con lo indicado en el numeral 5.4 de este documento. Para asegurar la calidad del material de relleno, este deberá ser ensayado por laboratorio acreditado y posteriormente los resultados aprobados por la ITO.

El material de relleno deberá ser colocado en capas de 30 cm de espesor suelto máximo, sobre el sello de excavación compactado. Para la colocación del material de relleno se deberá humectar hasta una condición de humedad de ± 2,0% de la humedad óptima determinada mediante el ensayo de Proctor Modificado. Este material será compactado hasta alcanzar una densidad del 95% de la D.M.C.S. obtenida del Proctor Modificado o con el 80% de la densidad relativa, en cada una de las capas. La compactación será controlada por medio del método del cono de arena (NCh 1516) o densímetro nuclear (ASTM D 6938), el cual previamente debe estar contrastado con el cono de arena de acuerdo con la profundidad de control y al material que se esté utilizando. Los ensayos de densidad Proctor o densidad relativa deberá ser realizado por laboratorio acreditado y posteriormente los resultados aprobados por la ITO.

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago

www.transemel.cl

5.4 MEJORAMIENTOS DE SUELOS A NIVEL DE FUNDACIONES

En caso de que se requiera realizar un mejoramiento de terreno bajo una fundación en particular, se deberá considerar lo siguiente:

- Una vez alcanzado el fondo de excavación éste se compactará utilizando medios mecánicos hasta alcanzar densidades de terreno mayores o iguales al 90% del Proctor Modificado o al 75% de la Densidad Relativa. Previo a su compactación, las partículas mayores a 3" deberán ser retiradas manualmente, asimismo todo escombro y/o materia orgánica que pudiera encontrarse.

- Si el proyecto de ingeniería de fundaciones lo considera necesario, se deberá instalar una membrana tipo geotextil o similar que impida el afloramiento de la napa de agua.

- Posteriormente, el material que ha sido seleccionado como base granular será colocado en capas de 30 cm de espesor suelto sobre el sello de excavación compactado. Para la colocación de la base granular se deberá humectar hasta una condición de humedad de ± 2,0% de la humedad óptima determinada mediante el ensayo de Proctor Modificado. Este material será compactado hasta alcanzar una densidad del 95% de la D.M.C.S. obtenida del Proctor Modificado o con el 80% de la densidad relativa, en cada una de las capas. La compactación será controlada por medio del método del cono de arena (NCh 1516) o densímetro nuclear (ASTM D 6938), el cual previamente debe estar contrastado con el cono de arena de acuerdo con la profundidad de control y al material que se esté utilizando. Los ensayos de densidad Proctor o densidad relativa deberá ser realizado por laboratorio acreditado y posteriormente los resultados aprobados por la ITO.

- La base granular debe cumplir con las especificaciones que a continuación se indican:
    a. Banda Granulométrica (basada en lo indicado en Volumen 8 de manual de carreteras).

Tamiz		% Que Pasa		
(plg)	(mm)			
2"	50	70-100		
1 ½"	40	55 –70	100	
1"	25	50 – 65	70 – 100	100

¾"	20	45 – 55	60 – 90	70 – 100
3/8"	10	35 – 45	40 – 75	50 – 80
# 4	5	25 – 55	30 – 60	35 – 65
# 10	2	15 – 35	15 – 45	25 – 50
# 40	0,5	5 – 25	10 – 30	10 – 30
#200	0,08	0 – 10	0 – 15	0 – 15

Se deberá elegir una de las 3 bandas especificadas de acuerdo con las características de los pozos de empréstito disponible en la zona. Una vez determinada aquella Banda Granulométrica que mejor se acomoda a las disponibilidades de materiales, ella deberá mantenerse para asegurar la homogeneidad de la Base, salvo expresa autorización de Ingeniería para cambiar la banda.

b. Índice de Plasticidad (IP) < 6
c. Porcentaje de Chancado > 50
d. CBR ≥ 60

5.5 CONTROL EN SITIO

El control de calidad de los rellenos compactados lo ejecutará un laboratorio acreditado bajo la norma NCh. 1534 Of. 2008 para la compactación según el método Proctor Modificado, la NCh. 1726/1 Of. 2009, NCh. 1726/2 Of. 2009 y NCh. 1726 Of. 1980 para compactación según densidad relativa. La cantidad y frecuencia de los controles sobre el material y su compactación deberán efectuarse de acuerdo con lo siguiente:

Ensayos	Cantidad	Frecuencia
Granulometría, IP, Proctor Modificado y/o Densidades Máxima y Mínima	1	5.000 m3
Densidad In Situ	1	400 m2

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago
www.transemel.cl

6. RECOMENDACIONES ESPECIALES

6.1 PROTECCIÓN DE FUNDACIONES Y ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Para la protección de los elementos estructurales de hormigón armado que se encuentren en contacto con el suelo se deben seguir las siguientes indicaciones:

a) Usar recubrimientos, en los elementos de hormigón armado, no inferiores a 5 cm en elementos enterrados o expuestos en forma directa a la acción del suelo. Para elementos sobre el nivel de terreno, pero expuestos a la intemperie se deberá considerar un recubrimiento mínimo de 5 cm. Para elementos en zonas no expuestas a la intemperie ni expuestos en forma directa a la acción del suelo se podrá utilizar un recubrimiento mínimo de 3 cm.
b) Utilizar en las fundaciones hormigones densos (> 2,35 t/m^3).
c) En caso de ser necesario, se deberá aplicar a la superficie del hormigón de fundaciones pinturas protectoras especiales contra cualquier tipo de substancias o materias que pudieran atacar al hormigón y dañarlo.

Se debe indicar que el suelo donde se emplazara la subestación Coiquen 66 kV es del tipo forestal. En general, en los suelos forestales la presencia de sales o cloruros es mínima o inexistente, ya que de contrario no se pueden utilizar para el cultivo de bosques. Debido a lo anterior, se asume que los suelos de la subestación no son agresivos para el hormigón, por lo que se podrá utilizar hormigón G30 en forma general para elementos estructurales y G25 para hormigones no estructurales, hormigones asociados a radieres o similares.

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago

www.transemel.cl

7. HIDROLOGÍA DEL SECTOR

7.1 CURSOS DE AGUA SUPERFICIALES

Como se ha indicado anteriormente, el sector donde se emplazará la subestación Coiquen 66 kV se encuentra ubicada en la parte superior de un cerro sin nombre, aproximadamente a 4 km al sur poniente de la ciudad de Quirihue. Dada la topografía del lugar, no se tiene el riesgo de inundaciones por crecidas o desbordes de cursos de aguas superficiales.

En estricto rigor, el único curso de agua relevante en las cercanías de la subestación Coiquen 66 kV es el rio San Juan, el cual se ubica a aproximadamente a 10 km al norponiente de la subestación, y a una cota 10 m más baja que el punto más alto de la subestación. En la figura 7.1 se muestra lo anterior.



Figura 7.1 Posición de subestación con relación al rio San Juan.

7.2 QUEBRADAS

No se presentan quebradas en las inmediaciones de la subestación.

7.3 ANEGAMIENTO DEBIDO A AGUAS LLUVIA

El lugar de emplazamiento de la subestación Coiquen 66 kV se encuentra en la región del Ñuble, a 4 km al sur poniente de la ciudad de Quirihue. El clima del sector es mediterráneo lluvioso, con un promedio anual de lluvias de 670 mm anuales. En los últimos 25 años, el año más lluvioso alcanzo los 828 mm en el años 2015.

Se debe tener presente que, de acuerdo con lo indicado en el levantamiento topográfico, el terreno del lugar de emplazamiento de la subestación se tienen pendientes pronunciadas, las cuales varían desde el 8% al 15 %, tanto en el sentido norte – sur, como en el sentido oriente- poniente, por lo que se espera no tener anegamientos debido a aguas lluvia, mientras que el proyecto de plataforma considere pendiente de al menos 0.5% y se disponga de un buen sistema de drenaje que conduzca las aguas lluvia fuera de la subestación. Además, dado que la subestación se emplazará en el punto alto de un cerro, no se corre el peligro de que aguas procedentes de los alrededores inunden la subestación.

En la actualidad, el suelo presente en el predio donde se emplazará la subestación contiene una capa superior de espesor aproximado de 40 cm de tierra vegetal con una pobre tasa de infiltración del agua (suelos limosos). El estrato siguiente también presente suelos con baja tasa de infiltración, ya que se componen de arenas limosas o limos inorgánicos, según el sector de la subestación en estudio. En la tabla 7.1 se muestran valores referenciales de tasa de infiltración para distintos tipos de suelos. Los valores mostrados en la tabla 7.1 pueden ser utilizados para el diseño de sistemas de drenajes. Los valores de referencia se basan en ensayos porchet realizados en la zona y en otros lugares con suelos como los descritos.

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago

www.transemel.cl

Velocidad de infiltración para distintos tipos de suelos	
Tipo de suelo	Velocidad de infiltración (mm/hr)
Gravas	20-25
Arenas	15-20
Limo – Arenoso	10-15
Limo - Arcilloso	8-15
Arcilloso	<8

Tabla 7.1 Velocidad de infiltración para distintos tipos de suelos.

En vista de todo lo anterior, se deberá proyectar un sistema de drenaje adecuado, que permita evacuar las aguas lluvias hasta un punto fuera de la subestación y desde ahí hacia los desagües naturales que se tenga en las cercanías de la subestación (tales como la quebrada adyacente).

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago

www.transemel.cl
GRUPO REN

8. REGISTRO FOTOGRAFICO



Figura 8.1 Trabajos de confección de calicata N°1



Figura 8.2 Trabajos de confección de calicata N°2

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago

www.transemel.cl



Figura 8.3 Trabajos de confección de calicata N°3

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago

www.transemel.cl



Figura 8.4 Trabajos de confección de calicata N°4

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago

www.transemel.cl



Figura 8.5 Material procedente de la calicata N°1

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago

www.transemel.cl



Figura 8.6 Material procedente de la calicata N°2

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago

www.transemel.cl



Figura 8.7 Material procedente de la calicata N°3



Figura 8.8 Material procedente de la calicata N°4

Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A.
Isidora Goyenechea 3000 - Piso 24
Las Condes, Santiago

www.transemel.cl

9. ANEXOS: RESULTADOS DE ENSAYOS

9.1 ENSAYOS A MATERIAL EXTRAIDO DE CALICATA N°1

INN - CHILE
Acreditación
LE 540, LE 541, LE 542, LE 544.

PAMPA AUSTRAL

INFORME DE ENSAYO OFICIAL ANALISIS DE MATERIAL - AREA SUELO - R-L-004-6, v8
(Resolución MINVU N°4884, 13 Diciembre 2022)
Correlativo de Obra N° 1974/2025

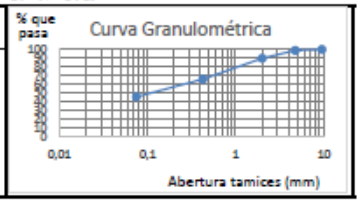
MANDANTE	: Ingeniería Agrosonda SpA.
OBRA	: Nueva S/E Coiquén y Nueva Línea 2X66 KV Las Delicias - Coiquén - Comuna de Quirihue - Región de Ñuble.
DIRECCIÓN DE OBRA	: Quirihue
EMPRESA Y/O CLIENTE	: Palma y Wenten Ltda.
ATENCIÓN	: Sr. Martin Palma
CONTACTO	: mpalma@pw-ing.com
DIRECCIÓN CLIENTE	: Almagro 250 Of. 1512 - Los Ángeles.
CÓDIGO MUESTRA	: N° 191904 - Área Suelo
ORDEN DE TRABAJO	: N° 0129563
ITEM	: Sin Denominación (mecánica de suelo)
ENSAYO SOLICITADO	: Granulometría, Proctor, Limite Atterberg, Densidad de Partículas Sólidas, Humedad y Densidad Natural, CBR y Clasificación de Suelo.
FECHA DE MUESTREO	: 23 de septiembre de 2025
FECHA DE EMISIÓN	: 6 de octubre de 2025

A. IDENTIFICACION DE LA MUESTRA

MUESTRA	: M-01
MATERIAL	: Arena limosa
PROCEDENCIA	: Calicata N° 1
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA	: ---
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL	: ---
MUESTREADO POR	: Sr. Jonathan Sepúlveda C. - Laboratorio Pampa Austral Ltda.
MUESTREADO SEGÚN NORMA	: (*) NCh164-2009-Áridos para morteros y hormigones-Extracción y preparación de muestras

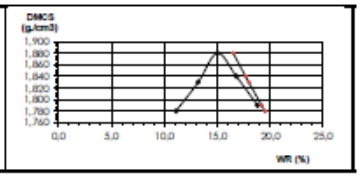
B. Granulometría (% en peso que pasa) Según Norma 8.102.1, Junio 2022, MC-V8
Fecha de inicio de ensayo: 24-09-2025 Fecha término de ensayo: 26-09-2025

TAMIZ	TAMIZ (mm)	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.
3/8"	9,5	100	---
N° 4	4,75	99	---
N° 10	2	90	---
N° 40	0,425	66	---
N° 200	0,075	46	---



C. CONSTANTES FÍSICAS E HÍDRICAS.
Relaciones humedad/densidad-parte 2, Según Norma NCh 1534/2.Of1979

W. ÓPTIMA (%)	15,0
D.M.C.S. (g./cm³)	1,88
Método de ensayo empleado	B
Descripción del pisón	Manual
Descripción del material utilizado	SM
Porcentaje material retenido en 20 mm.(%)	---
Corrección del sobre tamaño (%)	Sin Corrección
Fecha de inicio ensayo	26-09-2025
Fecha de término de ensayo	27-09-2025



Deter. del Límite Líquido y Límite Plástico, Según Norma NCh 1517/1.Of79, NCh 1517/2.Of79

Límite Líquido (%)	34
Límite Plástico (%)	28,3
Índice de Plasticidad (%)	5,7
Fecha inicio ensayo 24-09-2025 Fecha término de ensayo 26-09-2025	---
Tipo de Acanalador Empleado	ASTM
Método de Ensayo Empleado	Mecánico

RESULTADOS. Densidad de Partículas Sólidas, Según NCh 1532 Of.80 - Según NCh 1117.Of2010

Densidad de Partículas Sólidas (g/cm3)	2,73
Fecha de inicio ensayo	25-09-2025
Fecha término ensayo	27-09-2025

Página 1/2

Este Informe ha sido Firmado Digitalmente, para verificar comuníquese con el Laboratorio Pampa Austral Limitada
Declaración: Este informe no debe ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación escrita del responsable de su emisión
Santa Blanca 51 - Chillán Fono/Fax: (42)2238290 - (42)2240255 - gerencia@pampaustral.cl - www.pampaustral.cl

INN - CHILE
Acreditación
LE 540, LE 541, LE 542, LE 544.

PAMPA AUSTRAL

INFORME DE ENSAYO OFICIAL ANALISIS DE MATERIAL - AREA SUELO - R-L-004-6, v8
(Resolución MINVU N°4884, 13 Diciembre 2022)
Correlativo de Obra N° 1974/2025

MANDANTE	: Ingeniería Agrosonda SpA.
OBRA	: Nueva S/E Coiquén y Nueva Línea 2X66 KV Las Delicias - Coiquén - Comuna de Quirihue - Región de Ñuble.
CÓDIGO MUESTRA	: N° 191904 - Área Suelo
ORDEN DE TRABAJO	: N° 0129563

RESULTADOS. Humedad Natural, Según Norma NCh 1515 / Of.79

Humedad Natural (%)	15,7
Fecha de inicio ensayo	25-09-2025
Fecha término ensayo	26-09-2025

RESULTADOS. Densidad Natural Húmeda, Según ASTM D7263-21, Método A (Desplazamiento de agua).

(*) Densidad Natural Húmeda (Kg/m³)	1591
Fecha de inicio ensayo	24-09-2025
Fecha término ensayo	24-09-2025

Determinación de la Razón de Soporte de Suelos Compactados, Según Norma NCh 1852.Of81

			Espec. Técnicas
C.B.R. Razón de soporte de la muestra a 0,2" (sumergida) (%)	15		---
Número de Golpes	56	25	10
Método Empleado para preparar y compactar la probeta	B	B	B
Acondicionamiento de la Muestra	Sumergida	Sumergida	Sumergida
Densidad seca de la muestra antes de la inmersión (Kg./L)	1,87	1,74	1,70
Densidad seca de la muestra después de la inmersión (Kg./L)	1,86	1,73	1,69
Porcentaje de humedad antes de la compactación (%)	15,0	15,2	15,1
Porcentaje de humedad después de la compactación (%)	14,9	14,8	15,0
Capa superior de 25 mm después de la inmersión (%)	17,1	17,2	17,1
% Altura Total después de la inmersión	16,6	16,7	16,8
Promedio de humedad después de la inmersión (%)	16,9	17,0	17,0
% Expansión (% de Altura Inicial)	0,3	0,9	1,2
Sobre carga (Kg.)	5,075	5,060	5,117
Razón de soporte de la muestra (sumergida) (%)	15		
Información específica del material o procedimiento de ensayo	Sin Observación		
Fecha de inicio ensayo	27-09-2025		
Fecha de término ensayo	02-10-2025		

CLASIFICACION Según Departamentos de caminos Públicos de USA-Sistema AASHTO y ASTM D2487 - 11

(*) USCS	SM
(*) AASHTO	A 4 (1)

OBSERVACIONES: Sin Observaciones.

Nota:
- Material según su clasificación AASHTO corresponde a un suelo limoso.
- Los ensayos marcados con (*) Clasificación USCS-AASHTO Según Departamentos de caminos Públicos de USA-Sistema AASHTO y NCh164-2009-Áridos para morteros y hormigones-Extracción y preparación de muestras; Densidad Natural Húmeda, Según ASTM D7263-21, Método A (Desplazamiento de agua) no forma parte del alcance de nuestra acreditación según convenio INN - MINVU.
- Laboratorio Pampa Austral Ltda, asegura la veracidad de los resultados del ensayo y/o control solicitado y NO la información declarada por el solicitante.
- Los Resultados del presente informe se refieren únicamente al Ítem ensayado.
- Este informe no es válido sin firma y sello

LUIS ANTONIO RUIZ LARTIGA
Ingeniero Construcción
Profesional Responsable Área Mecánica de Suelo y Hormigón
Laboratorio Pampa Austral Ltda

Página 2/2

Este Informe ha sido Firmado Digitalmente, para verificar comuníquese con el Laboratorio Pampa Austral Limitada
Declaración: Este informe no debe ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación escrita del responsable de su emisión
Santa Blanca 51 - Chillán Fono/Fax: (42)2238290 - (42)2240255 - recepcion@pampaustral.cl - www.pampaustral.cl

9.2 ENSAYOS A MATERIAL EXTRAIDO DE CALICATA N°2

INN - CHILE
Acreditación
LE 540, LE 541, LE 542, LE 544.

PAMPA AUSTRAL

INFORME DE ENSAYO OFICIAL ANALISIS DE MATERIAL - AREA SUELO - R-L-004-6, v8
(Resolución MINVU N°4884, 13 Diciembre 2022)
Correlativo de Obra N° 1974/2025

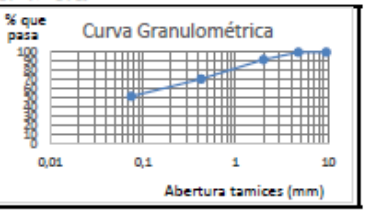
MANDANTE	: Ingeniería Agrosonda SpA.
OBRA	: Nueva S/E Coiquén y Nueva Línea 2X66 KV Las Delicias - Coiquén - Comuna de Quirihue - Región de Ñuble.
DIRECCIÓN DE OBRA	: Quirihue
EMPRESA Y/O CLIENTE	: Palma y Wenten Ltda.
ATENCIÓN	: Sr. Martin Palma
CONTACTO	: mpalma@pw-ing.com
DIRECCIÓN CLIENTE	: Almagro 250 Of. 1512 - Los Ángeles.
CÓDIGO MUESTRA	: N° 191905 - Área Suelo
ORDEN DE TRABAJO	: N° 0129563
ITEM	: Sin Denominación (mecánica de suelo)
ENSAYO SOLICITADO	: Granulometría, Proctor, Limite Atterberg, Densidad de Partículas Sólidas, Humedad y Densidad Natural, CBR y Clasificación de Suelo.
FECHA DE MUESTREO	: 23 de septiembre de 2025
FECHA DE EMISIÓN	: 6 de octubre de 2025

A. IDENTIFICACION DE LA MUESTRA

MUESTRA	: M-02
MATERIAL	: Limo inorganico de baja plasticidad
PROCEDENCIA	: Calicata N° 2
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA	: ---
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL	: ---
MUESTREADO POR	: Sr. Jonathan Sepúlveda C. - Laboratorio Pampa Austral Ltda.
MUESTREADO SEGÚN NORMA	: (*) NCh164-2009-Áridos para morteros y hormigones-Extracción y preparación de muestras

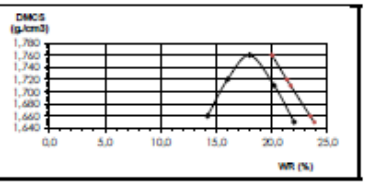
B. Granulometría (% en peso que pasa) Según Norma 8.102.1, Junio 2022, MC-V8
Fecha de inicio de ensayo: 24-09-2025 Fecha término de ensayo: 26-09-2025

TAMIZ	TAMIZ (mm)	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.
3/8"	9,5	100	---
N° 4	4,75	100	---
N° 10	2	92	---
N° 40	0,425	71	---
N° 200	0,075	52	---



C. CONSTANTES FÍSICAS E HÍDRICAS.
Relaciones humedad/densidad-parte 2, Según Norma NCh 1534/2.Of1979

W. ÓPTIMA (%)	18,0
D.M.C.S. (g/cm³)	1,76
Método de ensayo empleado	B
Descripción del pisón	Manual
Descripción del material utilizado	ML
Porcentaje material retenido en 20 mm.(%)	---
Corrección del sobre tamaño (%)	Sin Corrección
Fecha de inicio ensayo	26-09-2025
Fecha de término de ensayo	27-09-2025



Deter. del Límite Líquido y Límite Plástico, Según Norma NCh 1517/1.Of79, NCh 1517/2.Of79

Límite Líquido (%)			41
Límite Plástico (%)			26,4
Índice de Plasticidad (%)			14,6
Fecha inicio ensayo	24-09-2025	Fecha término de ensayo	26-09-2025
Tipo de Acanalador Empleado			---
Método de Ensayo Empleado			ASTM
			Mecánico

RESULTADOS. Densidad de Partículas Sólidas, Según NCh 1532 Of.80 - Según NCh 1117.Of2010

Densidad de Partículas Sólidas (g/cm3)	2,72
Fecha de inicio ensayo	29-09-2025
Fecha término ensayo	01-10-2025

Página 1/2

Este Informe ha sido Firmado Digitalmente, para verificar comuníquese con el Laboratorio Pampa Austral Limitada
Declaración: Este informe no debe ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación escrita del responsable de su emisión
Santa Blanca 51 - Chillán Fono/Fax: (42)2238290 - (42)2240255 - gerencia@pampaustral.cl - www.pampaustral.cl

INN - CHILE
Acreditación
LE 540, LE 541, LE 542, LE 544.

PAMPA AUSTRAL

INFORME DE ENSAYO OFICIAL ANALISIS DE MATERIAL - AREA SUELO - R-L-004-6, v8
(Resolución MINVU N°4884, 13 Diciembre 2022)
Correlativo de Obra N° 1974/2025

MANDANTE	: Ingeniería Agrosonda SpA.
OBRA	: Nueva S/E Coiquén y Nueva Línea 2X66 KV Las Delicias - Coiquén - Comuna de Quirihue - Región de Ñuble.
CÓDIGO MUESTRA	: N° 191905 - Área Suelo
ORDEN DE TRABAJO	: N° 0129563

RESULTADOS. Humedad Natural, Según Norma NCh 1515 / Of.79

Humedad Natural (%)	18,0
Fecha de inicio ensayo	29-09-2025
Fecha término ensayo	30-09-2025

RESULTADOS. Densidad Natural Húmeda, Según ASTM D7263-21, Método A (Desplazamiento de agua).

(*) Densidad Natural Húmeda (Kg/m³)	1558
Fecha de inicio ensayo	29-09-2025
Fecha término ensayo	29-09-2025

Determinación de la Razón de Soporte de Suelos Compactados, Según Norma NCh 1852.Of81

			Espec. Técnicas
C.B.R. Razón de soporte de la muestra a 0,2" (sumergida) (%)	13		---
Número de Golpes	56	25	10
Método Empleado para preparar y compactar la probeta	B	B	B
Acondicionamiento de la Muestra	Sumergida	Sumergida	Sumergida
Densidad seca de la muestra antes de la inmersión (Kg./L)	1,75	1,63	1,59
Densidad seca de la muestra después de la inmersión (Kg./L)	1,74	1,62	1,58
Porcentaje de humedad antes de la compactación (%)	18,0	18,1	18,2
Porcentaje de humedad después de la compactación (%)	17,8	17,9	17,8
Capa superior de 25 mm después de la inmersión (%)	20,0	20,2	20,1
% Altura Total después de la inmersión	19,9	19,8	19,7
Promedio de humedad después de la inmersión (%)	20,0	20,0	19,9
% Expansión (% de Altura Inicial)	0,5	1,7	2,0
Sobre carga (Kg.)	4990	5060	5117
Razón de soporte de la muestra (sumergida) (%)	13		
Información especifica del material o procedimiento de ensayo	Sin Observación		
Fecha de inicio ensayo	27-09-2025		
Fecha de término ensayo	02-10-2025		

CLASIFICACION Según Departamentos de caminos Públicos de USA-Sistema AASHTO y ASTM D2487 - 11

(*) USCS	ML
(*) AASHTO	A 7-6 (5)

OBSERVACIONES: Sin Observaciones.

Nota:
- Material según su clasificación AASHTO corresponde a un suelo arcilloso.
- Los ensayos marcados con (*) Clasificación USCS-AASHTO Según Departamentos de caminos Públicos de USA-Sistema AASHTO y NCh164-2009-Áridos para morteros y hormigones-Extracción y preparación de muestras; Densidad Natural Húmeda, Según ASTM D7263-21, Método A (Desplazamiento de agua) no forma parte del alcance de nuestra acreditación según convenio INN - MINVU.
- Laboratorio Pampa Austral Ltda, asegura la veracidad de los resultados del ensayo y/o control solicitado y NO la información declarada por el solicitante.
- Los Resultados del presente informe se refieren únicamente al Ítem ensayado.
- Este informe no es válido sin firma y sello

LABORATORIO OFICIAL ACREDITADO PAMPA AUSTRAL LTDA.

LUIS ANTONIO RUIZ LARTIGA
Ingeniero Constructor
Profesional Responsable Area Mecanica de Suelo y Hormigón
Laboratorio Pampa Austral Ltda

Página 2/2

Este Informe ha sido Firmado Digitalmente, para verificar comuníquese con el Laboratorio Pampa Austral Limitada
Declaración: Este informe no debe ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación escrita del responsable de su emisión
Santa Blanca 51 - Chillán Fono/Fax: (42)2238290 - (42)2240255 - gerencia@pampaustral.cl - www.pampaustral.cl

9.3 ENSAYOS A MATERIAL EXTRAIDO DE CALICATA N°3

INN - CHILE
Acreditación
LE 540, LE 541, LE 542, LE 544.

PAMPA AUSTRAL

INFORME DE ENSAYO OFICIAL ANALISIS DE MATERIAL - AREA SUELO - R-L-004-6, v8
(Resolución M|NVU N°4884, 13 Diciembre 2022)
Correlativo de Obra N° 1974/2025

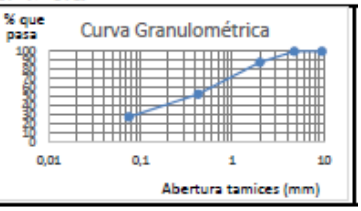
MANDANTE	: Ingeniería Agrosonda SpA.
OBRA	: Nueva S/E Coiquén y Nueva Línea 2X66 KV Las Delicias - Coiquén - Comuna de Quirihue - Región de Ñuble.
DIRECCIÓN DE OBRA	: Quirihue
EMPRESA Y/O CLIENTE	: Palma y Wenten Ltda.
ATENCIÓN	: Sr. Martin Palma
CONTACTO	: mpalma@pw-ing.com
DIRECCIÓN CLIENTE	: Almagro 250 Of. 1512 - Los Ángeles.
CÓDIGO MUESTRA	: N° 191906 - Área Suelo
ORDEN DE TRABAJO	: N° 0129563
ITEM	: Sin Denominación (mecánica de suelo)
ENSAYO SOLICITADO	: Granulometría, Proctor, Límite Atterberg, Densidad de Partículas Sólidas, Humedad y Densidad Natural, C.B.R y Clasificación de Suelo.
FECHA DE MUESTREO	: 23 de septiembre de 2025
FECHA DE EMISIÓN	: 6 de octubre de 2025

A. IDENTIFICACION DE LA MUESTRA

MUESTRA	: M-03
MATERIAL	: Arena limosa
PROCEDENCIA	: Calicata N° 3
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA	: ---
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL	: ---
MUESTREADO POR	: Sr. Jonathan Sepúlveda C. - Laboratorio Pampa Austral Ltda.
MUESTREADO SEGÚN NORMA	: (*) NCh164-2009-Áridos para morteros y hormigones-Extracción y preparación de muestras

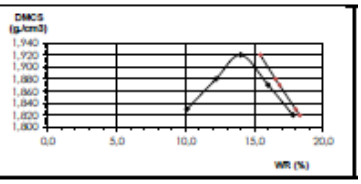
B. Granulometría (% en peso que pasa) Según Norma 8.102.1, Junio 2022, MC-V8
Fecha de inicio de ensayo: 24-09-2025 Fecha término de ensayo: 26-09-2025

TAMIZ	TAMIZ (mm)	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.
3/8"	9,5	100	---
N° 4	4,75	100	---
N° 10	2	88	---
N° 40	0,425	53	---
N° 200	0,075	28	---



C. CONSTANTES FÍSICAS E HÍDRICAS.
Relaciones humedad/densidad-parte 2, Según Norma NCh 1534/2.Of1979

W. ÓPTIMA (%)	14,0
D.M.C.S. (g./cm³)	1,92
Método de ensayo empleado	B
Descripción del pisón	Manual
Descripción del material utilizado	SM
Porcentaje material retenido en 20 mm.(%)	---
Corrección del sobre tamaño (%)	Sin Corrección
Fecha de inicio ensayo	26-09-2025
Fecha de término de ensayo	27-09-2025



Deter. del Límite Líquido y Límite Plástico, Según Norma NCh 1517/1.Of79, NCh 1517/2.Of79

Límite Líquido (%)			42
Límite Plástico (%)			33,9
Índice de Plasticidad (%)			8,1
Fecha inicio ensayo	24-09-2025	Fecha término de ensayo	27-09-2025
Tipo de Acanalador Empleado			---
Método de Ensayo Empleado			ASTM
			Mecánico

RESULTADOS. Densidad de Partículas Sólidas, Según NCh 1532 Of.80 - Según NCh 1117.Of2010

Densidad de Partículas Sólidas (g/cm3)	2,73
Fecha de inicio ensayo	29-09-2025
Fecha término ensayo	01-10-2025

Página 1/2

Este Informe ha sido Firmado Digitalmente, para verificar comuníquese con el Laboratorio Pampa Austral Limitada
Declaración: Este informe no debe ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación escrita del responsable de su emisión
Santa Blanca 51 - Chillán Fono/Fax: (42)2238290 - (42)2240255 - gerencia@pampaustral.cl - www.pampaustral.cl

INN - CHILE
Acreditación
LE 540, LE 541, LE 542, LE 544.

PAMPA AUSTRAL

INFORME DE ENSAYO OFICIAL ANALISIS DE MATERIAL - ÁREA SUELO - R-L-004-6, v8
(Resolución MINVU N°4884, 13 Diciembre 2022)
Correlativo de Obra N° 1974/2025

MANDANTE	: Ingeniería Agrosonda SpA.
OBRA	: Nueva S/E Coiquén y Nueva Línea 2X66 KV Las Delicias - Coiquén - Comuna de Quirihue - Región de Ñuble.
CÓDIGO MUESTRA	: N° 191906 - Área Suelo
ORDEN DE TRABAJO	: N° 0129563

RESULTADOS. Humedad Natural, Según Norma NCh 1515 / Of.79

Humedad Natural (%)	12,0
Fecha de inicio ensayo	29-09-2025
Fecha término ensayo	30-09-2025

RESULTADOS. Densidad Natural Húmeda, Según ASTM D7263-21, Método A (Desplazamiento de agua).

(*) Densidad Natural Húmeda (Kg/m³)	1642
Fecha de inicio ensayo	29-09-2025
Fecha término ensayo	29-09-2025

Determinación de la Razón de Soporte de Suelos Compactados. Según Norma NCh 1852.Of81

			Espec. Técnicas
C.B.R. Razón de soporte de la muestra a 0,2" (sumergida) (%)	14		---
Número de Golpes	56	25	10
Método Empleado para preparar y compactar la probeta	B	B	B
Acondicionamiento de la Muestra	Sumergida	Sumergida	Sumergida
Densidad seca de la muestra antes de la inmersión (Kg./L)	1,91	1,79	1,75
Densidad seca de la muestra después de la inmersión (Kg./L)	1,90	1,77	1,73
Porcentaje de humedad antes de la compactación (%)	14,0	14,1	14,2
Porcentaje de humedad después de la compactación (%)	13,8	13,7	13,9
Capa superior de 25 mm después de la inmersión (%)	16,1	16,1	16,3
% Altura Total después de la inmersión	15,8	15,7	15,9
Promedio de humedad después de la inmersión (%)	16,0	15,9	16,1
% Expansión (% de Altura Inicial)	0,5	1,4	1,9
Sobre carga (Kg.)	5,003	5,006	5,075
Razón de soporte de la muestra (sumergida) (%)	14		
Información específica del material o procedimiento de ensayo	Sin Observación		
Fecha de inicio ensayo	27-09-2025		
Fecha de término ensayo	02-10-2025		

CLASIFICACION Según Departamentos de caminos Públicos de USA-Sistema AASHTO y ASTM D2487 - 11

(*) USCS	SM
(*) AASHTO	A 2-5 (0)

OBSERVACIONES: Sin Observaciones.

Nota:
- Material según su clasificación AASHTO corresponde a gravas y arenas limosas o arcillosas.
- Los ensayos marcados con (*) Clasificación USCS-AASHTO Según Departamentos de caminos Públicos de USA-Sistema AASHTO y NCh164-2009-Áridos para morteros y hormigones-Extracción y preparación de muestras; Densidad Natural Húmeda, Según ASTM D7263-21, Método A (Desplazamiento de agua) no forma parte del alcance de nuestra acreditación según convenio INN - MINVU.
- Laboratorio Pampa Austral Ltda, asegura la veracidad de los resultados del ensayo y/o control solicitado y NO la información declarada por el solicitante.
- Los Resultados del presente informe se refieren únicamente al Ítem ensayado.
- Este informe no es válido sin firma y sello

LABORATORIO OFICIAL ACREDITADO PAMPA AUSTRAL LTDA.

LUIS ANTONIO RUZ LARTIGA
Ingeniero Constructor
Profesional Responsable Área Mecánica de Suelo y Hormigón
Laboratorio Pampa Austral Ltda

Página 2/2

Este Informe ha sido Firmado Digitalmente, para verificar comuníquese con el Laboratorio Pampa Austral Limitada
Declaración: Este informe no debe ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación escrita del responsable de su emisión
Santa Blanca 51 - Chillán Fono/Fax: (42)2238290 - (42)2240255 - gerencia@pampaustral.cl - www.pampaustral.cl

9.4 ENSAYOS A MATERIAL EXTRAIDO DE CALICATA N°4

INN - CHILE
Acreditación
LE 540, LE 541, LE 542, LE 544.

PAMPA AUSTRAL

INFORME DE ENSAYO OFICIAL ANALISIS DE MATERIAL - AREA SUELO - R-L-004-6, v8
(Resolución MINVU N°4884, 13 Diciembre 2022)
Correlativo de Obra N° 1974/2025

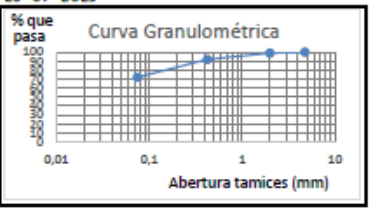
MANDANTE	: Ingeniería Agrosonda SpA.
OBRA	: Nueva S/E Coiquén y Nueva Línea 2X66 KV Las Delicias - Coiquén - Comuna de Quirihue - Región de Ñuble.
DIRECCIÓN DE OBRA	: Quirihue
EMPRESA Y/O CLIENTE	: Palma y Wenten Ltda.
ATENCIÓN	: Sr. Martin Palma
CONTACTO	: mpalma@pw-ing.com
DIRECCIÓN CLIENTE	: Almagro 250 Of. 1512 - Los Ángeles.
CÓDIGO MUESTRA	: N° 191907 - Área Suelo
ORDEN DE TRABAJO	: N° 0129563
ITEM	: Sin Denominación (mecánica de suelo)
ENSAYO SOLICITADO	: Granulometría, Proctor, Límite Atterberg, Densidad de Partículas Sólidas, Humedad y Densidad Natural, C.B.R y Clasificación de Suelo.
FECHA DE MUESTREO	: 23 de septiembre de 2025
FECHA DE EMISIÓN	: 6 de octubre de 2025

A. IDENTIFICACION DE LA MUESTRA

MUESTRA	: M-04
MATERIAL	: Limo inorgánico de baja plasticidad
PROCEDENCIA	: Calicata N° 4
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA	: ---
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL	: ---
MUESTREADO POR	: Sr. Jonathan Sepúlveda C. - Laboratorio Pampa Austral Ltda.
MUESTREADO SEGÚN NORMA	: (*) NCh164-2009-Áridos para morteros y hormigones-Extracción y preparación de muestras

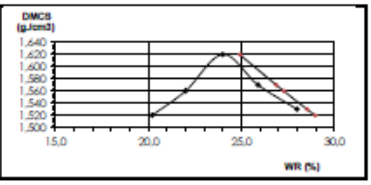
B. Granulometría (% en peso que pasa) Según Norma 8.102.1, Junio 2022, MC-V8
Fecha de inicio de ensayo: 24-09-2025 Fecha término de ensayo: 26-09-2025

TAMIZ	TAMIZ (mm)	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.
N° 4	4,75	100	---
N° 10	2	99	---
N° 40	0,425	92	---
N° 200	0,075	72	---



C. CONSTANTES FÍSICAS E HÍDRICAS.
Relaciones humedad/densidad-parte 2. Según Norma NCh 1534/2.Of1979

W. ÓPTIMA (%)	24,0
D.M.C.S. (g./cm³)	1,62
Método de ensayo empleado	B
Descripción del pisón	Manual
Descripción del material utilizado	ML
Porcentaje material retenido en 20 mm.(%)	---
Corrección del sobre tamaño (%)	Sin Corrección
Fecha de inicio ensayo	26-09-2025
Fecha de término de ensayo	27-09-2025



Deter. del Límite Líquido y Límite Plástico. Según Norma NCh 1517/1.Of79, NCh 1517/2.Of79

Límite Líquido (%)			46
Límite Plástico (%)			33,6
Índice de Plasticidad (%)			12,4
Fecha inicio ensayo	24-09-2025	Fecha término de ensayo	27-09-2025
Tipo de Acanalador Empleado			---
Método de Ensayo Empleado			ASTM
			Mecánico

RESULTADOS. Densidad de Partículas Sólidas, Según NCh 1532 Of.80 - Según NCh 1117.Of2010

Densidad de Partículas Sólidas (g/cm3)	2,72
Fecha de inicio ensayo	29-09-2025
Fecha término ensayo	01-10-2025

Página 1/2

Este Informe ha sido Firmado Digitalmente, para verificar comuníquese con el Laboratorio Pampa Austral Limitada
Declaración: Este informe no debe ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación escrita del responsable de su emisión
Santa Blanca 51 - Chillán Fono/Fax: (42)2238290 - (42)2240255 - gerencia@pampaustral.cl - www.pampaustral.cl

INN - CHILE
Acreditación
LE 540, LE 541, LE 542, LE 544.

PAMPA AUSTRAL

INFORME DE ENSAYO OFICIAL ANALISIS DE MATERIAL - AREA SUELO - R-L-004-6, v8
(Resolución MINVU N°4884, 13 Diciembre 2022)
Correlativo de Obra N° 1974/2025

MANDANTE	: Ingeniería Agrosonda SpA.
OBRA	: Nueva S/E Coiquén y Nueva Línea 2X66 KV Las Delicias - Coiquén - Comuna de Quirihue - Región de Ñuble.
CÓDIGO MUESTRA	: N° 191907 - Área Suelo
ORDEN DE TRABAJO	: N° 0129563

RESULTADOS. Humedad Natural, Según Norma NCh 1515 / Of.79

Humedad Natural (%)	17,8
Fecha de inicio ensayo	29-09-2025
Fecha término ensayo	30-09-2025

RESULTADOS. Densidad Natural Húmeda, Según ASTM D7263-21, Método A (Desplazamiento de agua).

(*) Densidad Natural Húmeda (Kg/m³)	1410
Fecha de inicio ensayo	29-09-2025
Fecha término ensayo	29-09-2025

Determinación de la Razón de Soporte de Suelos Compactados, Según Norma *NCh* 1852.Of81

			Espec. Técnicas
C.B.R. Razón de soporte de la muestra a 0,2" (sumergida) (%)	13		---
Número de Golpes	56	25	10
Método Empleado para preparar y compactar la probeta	B	B	B
Acondicionamiento de la Muestra	Sumergida	Sumergida	Sumergida
Densidad seca de la muestra antes de la inmersión (Kg/L)	1,61	1,50	1,45
Densidad seca de la muestra después de la inmersión (Kg/L)	1,60	1,48	1,44
Porcentaje de humedad antes de la compactación (%)	24,0	24,1	24,2
Porcentaje de humedad después de la compactación (%)	23,9	23,8	23,7
Capa superior de 25 mm después de la inmersión (%)	26,2	26,3	26,2
% Altura Total después de la inmersión	25,8	25,7	25,9
Promedio de humedad después de la inmersión (%)	26,0	26,0	26,1
% Expansión (% de Altura Inicial)	0,4	1,6	2,0
Sobre carga (Kg)	5,001	5,432	5,019
Razón de soporte de la muestra (sumergida) (%)	13		
Información específica del material o procedimiento de ensayo	Sin Observación		
Fecha de inicio ensayo	27-09-2025		
Fecha de término ensayo	02-10-2025		

CLASIFICACION Según Departamentos de caminos Públicos de USA-Sistema AASHTO y ASTM D2487 - 11

(*) USCS	ML
(*) AASHTO	A 7-5 (10)

OBSERVACIONES: Sin Observaciones.

Nota:
- Material según su clasificación AASHTO corresponde a un suelo arcilloso.
- Los ensayos marcados con (*) Clasificación USCS-AASHTO Según Departamentos de caminos Públicos de USA-Sistema AASHTO y NCh164-2009-Áridos para morteros y hormigones-Extracción y preparación de muestras; Densidad Natural Húmeda, Según ASTM D7263-21, Método A (Desplazamiento de agua) no forma parte del alcance de nuestra acreditación según convenio INN - MINVU.
- Laboratorio Pampa Austral Ltda, asegura la veracidad de los resultados del ensayo y/o control solicitado y NO la información declarada por el solicitante.
- Los Resultados del presente informe se refieren únicamente al Ítem ensayado.
- Este informe no es válido sin firma y sello

Página 2/2

Este Informe ha sido Firmado Digitalmente, para verificar comuníquese con el Laboratorio Pampa Austral Limitada
Declaración: Este informe no debe ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación escrita del responsable de su emisión
Santa Blanca 51 - Chillán Fono/Fax: (42)2238290 - (42)2240255 - gerencia@pampaustral.cl - www.pampaustral.cl