

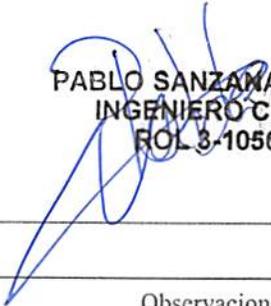
**MUNICIPALIDAD DE LAJA**

**PROYECTO LA SEÑORAZA**

**LIC – 3735-21-L119**

**LAJA**

**ESTUDIO PRELIMINAR DE  
MECÁNICA DE SUELOS - REV B**

  
**PABLO SANZAMA JARA  
INGENIERO CIVIL  
ROL 3-1056**

B	05/07/19	Revisión	Observaciones Forma
A	05/07/19	Revisión	-
<b>REVISIÓN</b>	<b>FECHA</b>	<b>EMITIDO PARA</b>	<b>COMENTARIO</b>

CONTENIDO	
1	RESUMEN..... 3
2	INTRODUCCIÓN..... 4
3	DESCRIPCIÓN GENERAL..... 5
4	ANTECEDENTES DE BASE..... 5
5	ANTECEDENTES DEL TERRENO..... 6
5.1	GEOLOGÍA..... 6
5.2	TOPOGRAFÍA Y SITUACIÓN ACTUAL..... 12
6	CAMPAÑA DE EXPLORACIÓN..... 12
6.1	GENERAL..... 12
6.2	SONDAJE..... 13
7	DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA..... 15
7.1	ESTRATIGRAFÍA..... 15
7.2	NIVEL FREÁTICO..... 15
7.3	RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO..... 16
7.4	RESULTADOS ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR..... 20
7.4.1	Corrección por confinamiento..... 21
7.4.2	Corrección por energía..... 21
7.4.3	Corrección por longitud de barras de perforación..... 21
7.4.4	Corrección por diámetro de la perforación..... 22
7.4.5	Corrección por uso de tubo guía..... 23
7.4.6	Índice de penetración estándar corregido $(N_1)_{60}$ ..... 23
7.5	ANÁLISIS DE POTENCIAL DE LICUACIÓN..... 25
8	ANÁLISIS DE RESULTADOS..... 28
9	CONCLUSIONES..... 29
10	CLASIFICACIÓN SÍSMICA DEL SITIO..... 30
11	FUNDACIONES RECOMENDADAS..... 31
11.1	MEJORAMIENTO DE SUELOS..... 31
11.1.1	Especificaciones técnicas para fundación de viviendas..... 32
11.1.2	Especificaciones técnicas para fundación de edificios..... 34
11.2	RELLENO INTERIOR BAJO RADIERES..... 36
11.3	RELLENO EXTERIOR SOBRE EL NIVEL DE FUNDACIÓN..... 36
12	RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS..... 37
12.1	GENERACIÓN DE PLATAFORMA DE TRABAJO..... 37
12.2	RELLENO ESTRUCTURAL..... 38
12.3	PROPIEDADES GEOTÉCNICAS PARA PAVIMENTOS..... 40
13	CÁLCULO DE CAPACIDAD DE SOPORTE..... 41
13.1	PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO..... 41
13.2	EXPRESIONES PARA EL CÁLCULO DE TENSIONES ADMISIBLES..... 42
14	EXPRESIONES PARA EL CÁLCULO DE ASENTAMIENTO..... 45
14.1	ASENTAMIENTO ELÁSTICO INSTANTÁNEO PARA CARGAS PERMANENTES..... 45
14.2	EXPRESIONES PARA EL CÁLCULO DE ASENTAMIENTO DINÁMICO..... 47
15	COEFICIENTES DE EMPUJE..... 49
15.1	MUROS DE SUBTERRÁNEOS ARRIOSTRADOS POR LOSAS..... 49
15.2	MUROS DE CONTENCIÓN NO ARRIOSTRADOS..... 50
16	REFERENCIAS..... 52
ANEXO A	
ANEXO B	
ANEXO C	

## 1 RESUMEN.

Se llevó a cabo un estudio de mecánica de suelos preliminar para el terreno que contempla el proyecto LA SEÑORAZA, LAJA, el que contempla edificios de hasta 5 niveles, ubicado en la comuna de Laja, Región del Biobío, de acuerdo a lo solicitado por la Municipalidad de Laja, en el marco de la Licitación identificada como LIC 3735-21-L119.

La campaña de exploración contempló un sondaje rotativo con registro SPT de 15 metros de profundidad, con sus respectivos ensayos de laboratorio.

Con los datos obtenidos se recomiendan sistemas de fundaciones, junto con mejoramientos de suelos posibles.

## 2 INTRODUCCIÓN.

El presente informe geotécnico se refiere al estudio preliminar de mecánica de suelos para el terreno que contempla el proyecto "LA SEÑORAZA", ubicado en la comuna de Laja, Región del Biobío, de acuerdo a lo solicitado por la Municipalidad e Laja.

Dicho proyecto corresponde a un estudio con carácter de informe técnico preliminar, que tiene relación con el análisis de lo observado en las prospecciones que constituyen la exploración geotécnica, los resultados de los ensayos de laboratorio, el análisis de ingeniería y los antecedentes disponibles, los cuales permitieron identificar las características del suelo de fundación del lugar explorado y sentar las bases para las recomendaciones del sistema de fundaciones de las estructuras proyectadas.

El sitio explorado se encuentra en el sector urbano de la comuna de Laja y posee una superficie aproximada de 24.000 m<sup>2</sup>. La Figura 2.1 muestra la ubicación y en la Figura 2.2 se entrega la delimitación del terreno.



Figura 2.1: Ubicación del terreno en estudio.



Figura 2.2: Delimitación del terreno (proporcionada por el mandante)

### 3 DESCRIPCIÓN GENERAL.

El objetivo general de este estudio de mecánica de suelos preliminar es dar factibilidad geotécnica al suelo de fundación donde se proyecta construir edificios de hasta 5 niveles, mediante la entrega de una solución técnica y recomendaciones para el diseño del sistema de fundaciones de las estructuras.

Como objetivos específicos se tiene: conocer y analizar las características y propiedades geotécnicas del suelo de fundación donde se emplazará cada edificio en función de los resultados de ensayos de laboratorio, de manera tal, que el presente estudio sirva de base para la elaboración del proyecto estructural y mecánica de suelos definitiva.

### 4 ANTECEDENTES DE BASE.

Para el desarrollo del presente informe se consideraron los siguientes antecedentes:

- a) Decreto supremo N°61 MINVU 2011, reglamento que fija el diseño sísmico de edificios
- b) NCh1508 Of.2014 Geotecnia, estudios de mecánica de suelo
- c) Anteproyecto La Señoraza.

## 5 ANTECEDENTES DEL TERRENO

### 5.1 GEOLOGÍA

El Mapa geológico de Chile (publicación digital Sernageomin, 2003), sitúa el terreno en la unidad CPg y Q3av, según lo que se muestra en la Figura 5.1.

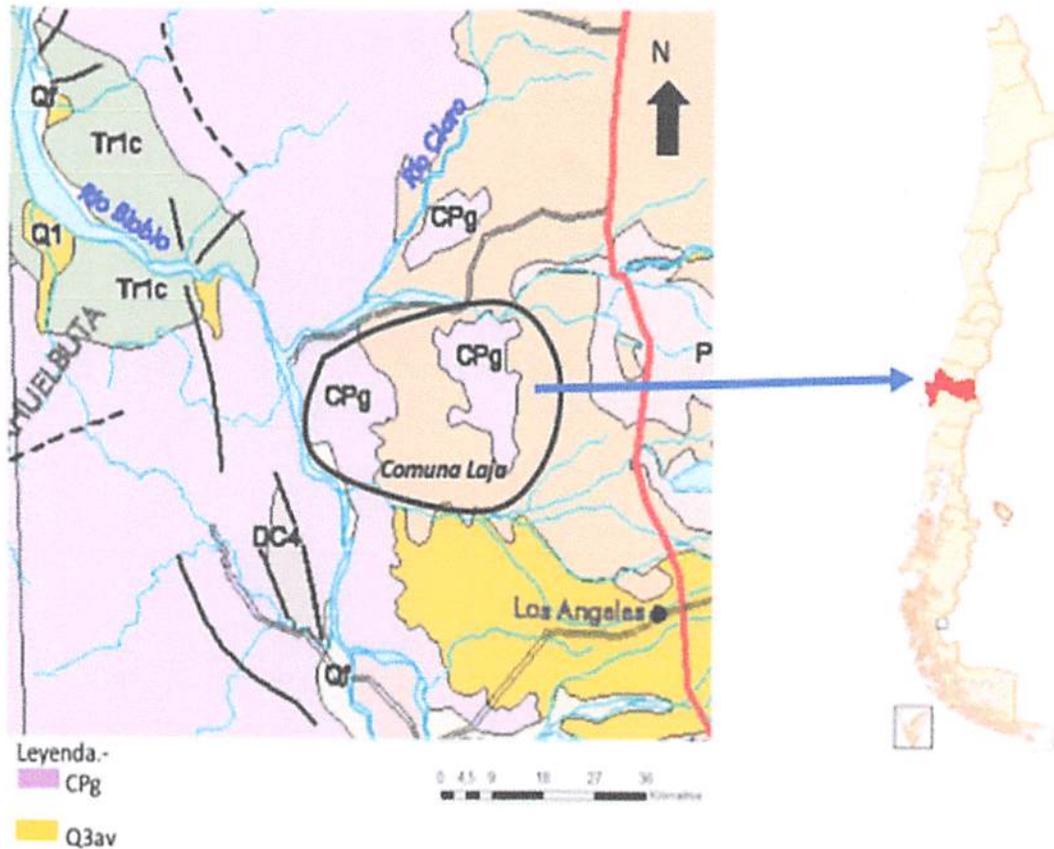


Figura 5.1: Mapa geológico del área de estudio (adaptado de Sernageomin, 2003)

De acuerdo a lo indicado en el mapa, se observa la geología de la comuna de Laja, el cual se caracteriza principalmente por dos grupos las cuales son CPg y Q3av, las que se describen a continuación;

**CPg:** Carbonífero- Pérmico (328-235 Ma). Se compone principalmente por granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas, de hornblenda y biotita, localmente de muscovita.

**Q3av:** Cuaternario. Depósitos de avalancha volcánica, asociados a colapso parcial de edificios volcánicos.

### Historia geológica

La historia geológica del Cuaternario en el tramo superior del valle del río Laja corresponde a una compleja interrelación entre volcanismo, procesos de remoción en masa y sedimentarios aluvio-fluviales. El valle fue modelado inicialmente por la acción glaciaria del Pleistoceno inferior en rocas de las formaciones terciarias Cura-Mallín y Trapa-Trapa, además de rocas plutónicas, sobre las cuales se disponen en discordancia cuatro grandes unidades cuaternarias; el cono poligénico de Quilleco, una secuencia de rocas volcánicas pleistocenas, el volcán Antuco y el depósito de avalancha volcánica de Antuco. Los depósitos del cono poligénico de Quilleco representan a facies mixtas volcano-sedimentarias intermedias y distales de los estratovolcanes que originaron las secuencias de rocas volcánicas pleistocenas con las cuales engranan lateralmente. El colapso gravitacional del volcán Antuco fue el resultado de una actividad eruptiva freatomagmática de tipo Bandai-San la que produjo, casi simultáneamente, flujos piroclásticos turbulentos, de tipo de oleadas de base húmeda, compuestos de cenizas basálticas negras cuyos depósitos primarios se han denominado Arenas Negras de Trupán-Laja. El volcán actual (Antuco 2) incluye un cono principal de lavas y escorias y la emisión de, al menos, tres flujos piroclásticos importantes de poco espesor, localmente separados por depósitos de corrientes de barro y coluvios. Posteriormente, debido a la ruptura del represamiento del lago del Laja, las cenizas negras fueron removidas hasta la Depresión Central, donde formaron un gran abanico aluvial de aproximadamente 50 x 60 km<sup>2</sup>. (Thiele et al., 2015).

En el sector andino del valle del río Laja se ha determinado una serie de unidades geológicas de relleno cuaternarias que controlan sus principales características geomorfológicas. Estas unidades corresponden, esencialmente, a depósitos volcanoclásticos, tanto consolidados como no consolidados, gran parte de los cuales conforman un gran abanico desde el tramo superior del valle hasta bien al oeste dentro de la Depresión Central. La mayoría de estos materiales están asociados a una intensa actividad volcánica pleistocena y se interdigitan hacia el oriente con bancos de lavas, ignimbritas escoriáceas y depósitos laháricos ligados a los diferentes centros de emisión.

Entre las grandes unidades geológico-geomorfológicas del valle superior del río Laja se distinguen: 1- las rocas volcánicas pleistocenas de los Estratos de la Cordillera Lagunillas, del Cerro Pan de Azúcar y del Complejo Volcánico Sierra Velluda; 2- el cono poligénico de Quilleco; 3- el volcán Antuco y, 4- el depósito de avalancha volcánica de este último. Estas cuatro unidades configuran los rasgos morfológicos mayores del área, y se disponen en discordancia sobre un relieve abrupto y un valle Laja primigenio, labrado por glaciaciones y erosión fluvial, tanto en rocas estratificadas terciarias (formaciones Cura-Mallín y Trapa-Trapa) como en rocas graníticas terciarias (Niemeyer y Muñoz, 1983).

También, se reconocen otras unidades de relleno menores, conformadas por materiales detríticos y volcanoclásticos no consolidados, que revelan la ocurrencia de otros importantes procesos volcánicos y fluviales postglaciales, ligados a la evolución prehistórica del volcán Antuco, el cual se edificó en las nacientes del valle del río Laja.

Las unidades cuaternarias reconocidas han sido definidas considerando su posición cronoestratigráfica relativa, los constituyentes, la geomorfología y los eventos o procesos dinámicos con los cuales están genéticamente asociados. Las descripciones de las diversas unidades, tanto de las cuatro grandes unidades como de las unidades de relleno menores, se realiza en un orden cronoestratigráfico decreciente. (Niemeyer y Muñoz, 1983)

- Cono poligénico de Quilleco:

Fue definido por Varela y Moreno (1982) y corresponde a un extenso abanico que se prolonga hacia el oeste dentro de la Depresión Central, el cual está formada por materiales que representan las facies mixtas volcanoclásticas y sedimentarias de engrane con las secuencias de rocas volcánicas pleistocenas descritas anteriormente. Es decir, se presume una edad tentativa Pleistoceno medio. (Thiele et al., 2015).

Está integrado por dos unidades: una inferior eminentemente volcanoclástica (QPcq1) y una superior constituida por depósitos fluviales e intercalaciones volcanoclásticas distases (QPcq2). La unidad inferior (QPcq1) corresponde a un conjunto de ignimbritas escoriáceas, con intercalaciones de tobas, brechas y conglomerados consolidados (probablemente facies laháricas distases) que, localmente, muestran inclinaciones primarias de hasta 12°. (Thiele et al., 2015).

En la Figura 5.2 se observa la columna estratigráfica de Mirrihue, ya que hay cuatro "estratos de Laja", que corresponden a flujos piroclásticos escoriáceos consolidados alternados con conglomerados volcánicos de origen lahárico, oleada de piroclastos y gravas de bolones intercalados. Alcanza un espesor de más de 40 m (150 km al suroeste).

Por otra parte, el afloramiento de Mirrihue es muy similar a la secuencia basal del cerro La Meseta, ubicada al oeste de la confluencia del río Laja, formada por una serie de estratos volcanoclásticos, constituidos por ignimbritas y brechas conglomerádicas laháricas. Hacia el este de La Meseta y al suroeste de Mirrihue, en el cerro Llanqui se observa un afloramiento de 100 m de espesor, donde aparece la secuencia volcanoclástica basal (Opq1) engranando con un mayor número de facies fluviales (ambiente deposicional más lateral), las cuales aumentan su predominancia hacia arriba. En la base y con ca. 20m expuestos, aparece la típica secuencia consolidada del 'banco del Laja', formada esencialmente por material piroclástico (clastos subredondeados a angulosos en una matriz de ceniza gris). Este sector está formado por gravas gruesas de bolones fluviales (ca. 25 m) intercalados con niveles que poseen una matriz piroclástica que, incluso, contiene pómez. Hacia arriba continúa un horizonte delgado de ceniza ocre (1- 0,5 m), sobre el cual se desarrolla una secuencia netamente volcanoclástica de 30 m de espesor, que comprende niveles tobáceos bastante competentes de color blanquecino. Hay gravas fluviales intercaladas dentro de esta masa tobácea volcanoclástica. En la parte superior, afloran depósitos elásticos estratificados de 25 m de espesor, a manera de un sombrero de gravas de bolones fluviales. Estos últimos niveles corresponden a la unidad o secuencia superior del Cono de Quilleco (QPcq2). (Thiele et al., 2015).

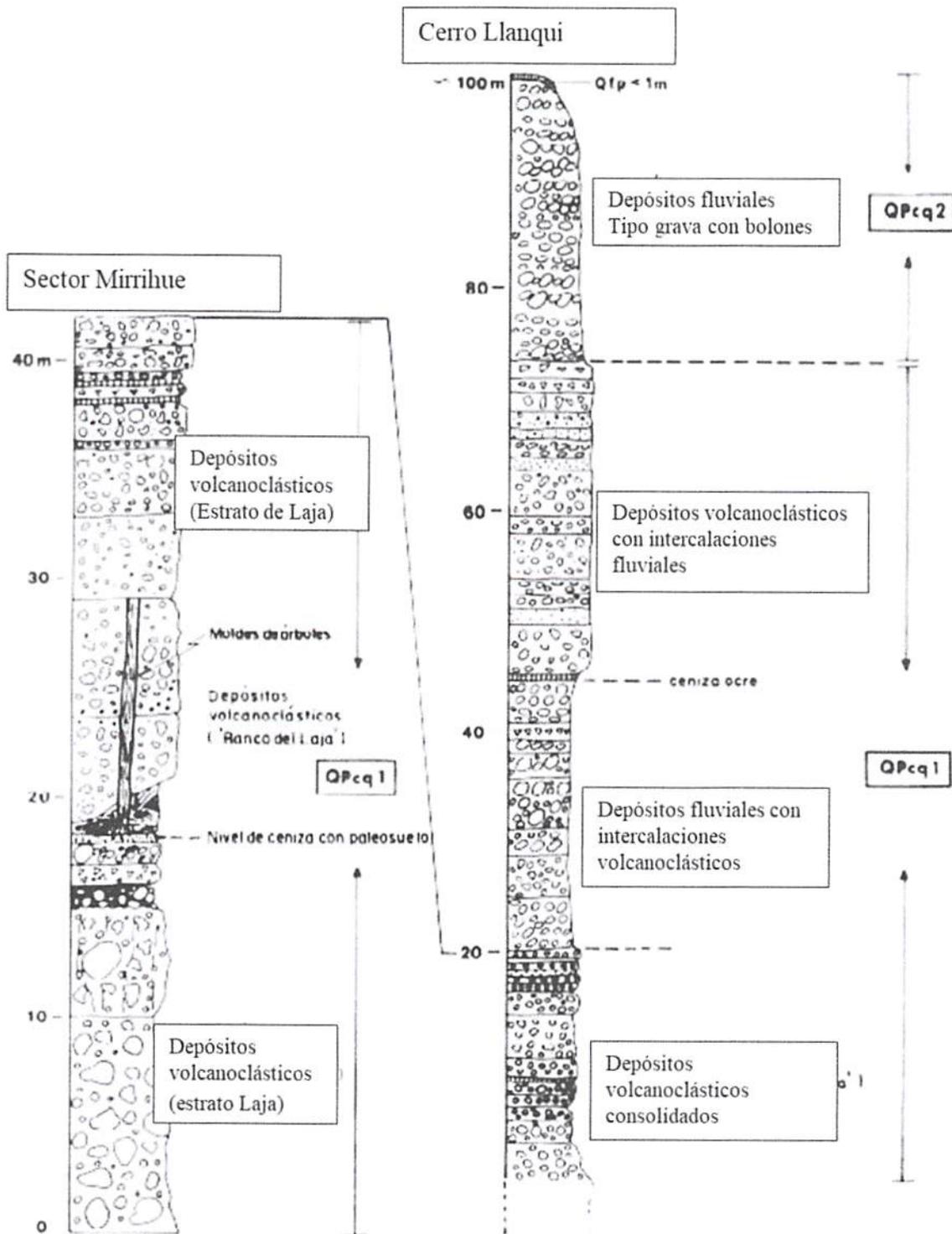


Figura 5.2: Columnas estratigráficas comparadas de la Unidad del Cono Poligénico de Quilleco.

Fuente: Thiele et al., 2015

- Los depósitos de Arenas Negras de Trupán- Laja (Qantl)

En el tramo superior del valle del río Laja destaca un notable horizonte de arenas basálticas y gravas muy finas angulosas, moderadamente consolidadas, de color gris oscuro, intercaladas con niveles de gravas aluvionales, que alcanzan hasta 40 m de espesor, cuyo techo está cubierto hasta por tres horizontes de flujos piroclásticos descompuestos. Estos depósitos son primarios y han sido denominados, en el área estudiada, Arenas Negras de Trupán-Laja.

Brüggen (1914) las denominó 'las arenas oscuras del valle del Laja' y las atribuyó al volcán Antuco. En el llano, la actividad cólica las habría retransportado formando extensos campos de dunas. Posteriormente, estas arenas fueron conocidas como el 'Abanico Aluvional' del curso medio de los ríos Itata, Laja.

Estas arenas basálticas se interpretan como los depósitos de flujos piroclásticos turbulentos tipo oleadas piroclásticas húmedas, dirigidas lateralmente, que acompañaron a la erupción freatomagmática que provocó la avalancha volcánica de Antuco y cuyos productos invadieron gran parte del tramo superior del valle del Laja. Estos materiales fueron removidos posteriormente, hacia la Depresión Central y tramo del valle del río Laja. Por enormes volúmenes de agua que generaron flujos de arena hiperconcentrados. En Trupán, camino al cementerio, la oleada del Laja remontó la pequeña cuenca del río homónimo. Aquí el horizonte de arenas y gravas muy finas angulosas alcanza una potencia del orden de los 6 m. Comprende tres niveles arenosos de 1 a 1,5 m de espesor cada uno, separados por dos depósitos de cenizas finas ocreas de menos de 0,5 m cada uno. Las gravas arenosas contienen líticos angulosos imbricados de 2 a 30 mm de diámetro (aunque ocasionalmente se observaron bloques aislados e imbricados de hasta 30 cm de diámetro de rocas volcánicas modernas y líticos accidentales descompuestos), con una típica estructura ondeada y de estratificación entrecruzada, en una matriz de arenas gruesas, angulosas, compuestas por fragmentos de plagioclasa, olivino, piroxeno y vidrio escoriáceo basáltico. Los niveles de cenizas ocreas son de grano fino, comprenden algunos clastos angulosos tamaño lapilli que presentan pequeñas vesículas.

Los contactos entre las gravas arenosas y las cenizas son, aparentemente, transicionales, sugiriendo pulsos alternados sucesivos dentro de un solo y violento episodio deposicional. (Thiele et al., 2015).

- Orden secuencial de los sucesivos episodios Cuaternarios.
- 1) El primer gran episodio volcano aluvio-fluvial conocido en el Cuaternario habría generado el Cono Poligénico de Quilleco (QPcq), asociado con las facies distases volcanoclásticas de la actividad temprana de los complejos volcánicos pleistocenos de Cordillera Lagunillas y Cerro Pan de Azúcar. Sucesivos flujos piroclásticos y laháricos, combinados con procesos sedimentológicos sin-volcánicos, condicionan la acumulación de secuencias volcanoclásticas medias y distases, hoy muy consolidadas (parte inferior del cono; uno o varios "Estrato de Laja" QPcq1). Flujos de corrientes con un régimen de alta energía, generan depósitos fluviales con intercalaciones volcanoclásticas distases (parte superior del cono, QPcq2). La parte alta del cono (unidad superior), se mantuvo hasta la actualidad expuesta a la intemperización, provocando una avanzada alteración del material y formando lo que en la literatura geológica se conoce como 'rodados multicolores' (Hauser, 1986).

- 2) Se desarrolla a continuación un episodio deposicional inter-eruptivo, que genera las terrazas poligénicas de Altos de Antuco (Qtaa), en el que el volcanismo tuvo poca o ninguna influencia sobre el sistema sedimentario. Corresponderían a las terrazas fluviales más altas y antiguas conocidas en el valle del río Laja, compuestas por gravas de bolones, gravas gruesas arenosas, con intercalaciones de arenas moderadamente consolidadas.
- 3) Asociado a una violenta erupción freatomagmática del volcán Antuco ancestral, se produce el colapso gravitacional del cono del volcán Antuco 1, y la formación de un 'anfiteatro' de 4 km de diámetro abierto hacia el oeste, que provocó una voluminosa avalancha (Gava) que descendió, a lo menos, 40 km por el valle del Laja. Los depósitos de este episodio catastrófico, ocurrido  $9.700 \pm 600$  a.A.P., alcanzan a remontar las terrazas poligénicas de Altos de Antuco. El lago del Laja fue represado por parte del material de la avalancha volcánica y su nivel subió *ca.* 100 m por sobre su cota actual.  
Casi simultáneamente con la avalancha volcánica (Qava), o inmediatamente después de ella, se producen sucesivas descargas de oleadas o flujos piroclásticos turbulentos, de tipo oleadas húmedas, compuestas por cenizas basálticas, confinadas lateralmente, que dieron origen a los horizontes de Arenas Negras de Trupán-Laja (Qant1). Estas se mezclan con grava fina angulosa y se depositan encima del material de la avalancha y, también, sobre la terraza poligénica de Altos de Antuco, encajada en los flancos del valle.
- 4) A partir de la evolución del volcán Antuco 2 (actual) se produce la emisión de, a lo menos, tres flujos piroclásticos sucesivos (paleosuelos y depósitos de corrientes de barro locales entre ellos), los que acumularon depósitos de variados espesores encima de las unidades morfológicas preexistentes. Los depósitos de estos flujos piroclásticos son homogéneos, sin ordenamiento interno y con un régimen de tipo flujo laminar. Ellos se reconocen cubriendo tanto a la roca fundamental (Formación Cura-Mallín) como a depósitos del cono poligénico de Quilleco, de la avalancha volcánica Antuco, de las terrazas poligénicas Altos de Antuco y de las Arenas Negras de Trupán-Laja. Actualmente, aparecen muy intemperizados, formando suelos residuales arcillosos tipo 'trumao'.
- 5) Se produce la ruptura del represamiento primitivo del lago del Laja, que había sido provocado por la avalancha volcánica de Antuco (Antuco I), y se descarga un torrente que generó, a lo menos, 3 flujos de detritos, que se encauzaron por el valle del río Laja. Estos flujos alcanzaron a remontar la terraza poligénica baja de Antuco (Tba), que tiene *ca.* 20 m sobre el lecho actual, y a los niveles de Arenas Negras de Trupán-Laja (Qant1) en aquellos lugares más encajonados (Mirrihue y el cementerio de Trupán), pero donde alcanzan desniveles superiores a 30 m sobre el cauce del río.
- 6) Finalmente, la constante actividad en el sistema deposicional de la subcuenca superior del Laja en períodos sin-eruptivos posteriores, es la responsable de las demás unidades cuaternarias observadas en el área, como serían los depósitos de terrazas fluviales recientes y actuales de los ríos Laja, Rucúe y Manco.

## 5.2 TOPOGRAFÍA Y SITUACIÓN ACTUAL

La topografía del terreno es irregular, sin accidentes topográficos en su interior, se observa un talud de gran altura cercano al límite de la propiedad. Dentro de ella se observa vegetación y pendientes considerables que se desarrollan desde calles aledañas hasta el interior del terreno.

Actualmente el sitio se encuentra en calidad de eriazo presenta poca vegetación, junto con montículos de escombros acumulados superficialmente en distintas partes del terreno. Luego, para la habilitación del terreno, es necesario considerar un ítem de remoción de escombros y basuras superficiales.

## 6 CAMPAÑA DE EXPLORACIÓN

### 6.1 GENERAL.

La exploración geotécnica realizada en el terreno se detalla a continuación. Cabe señalar que esta se definió en conjunto con el mandante:

- Un sondaje de tipo rotación de 15 m de profundidad, con ensayo SPT cada 1 m y análisis de muestras en laboratorio.

Inicialmente, la propuesta técnica para el programa de ensayos de laboratorio de calicatas es la que se detalla a continuación:

- Estratigrafía detallada de sondaje.
- Toma de muestras para ensayos de clasificación completa (granulometría, límites de Atterberg, contenido de humedad natural, gravedad específica y clasificación USCS).

## 6.2 SONDAJE.

En terreno se materializó la ejecución de 1 sondeaje con sonda rotativa de 15 m de profundidad. La ubicación se presenta en la Figura 6.1. Las muestras obtenidas del sondeaje se analizaron en el laboratorio Idiem, de la ciudad de Concepción. Cabe destacar que dicha empresa cuenta con acreditación por parte del INN y MINVU.



Figura 6.1: Ubicación Sondeaje de 15 m de profundidad.

Tabla 6.1: Coordenadas Sondeaje

SONDAJE	PROFUNDIDAD DE EXPLORACIÓN (m)	ESTE	NORTE
S-01	15	703536	5872073

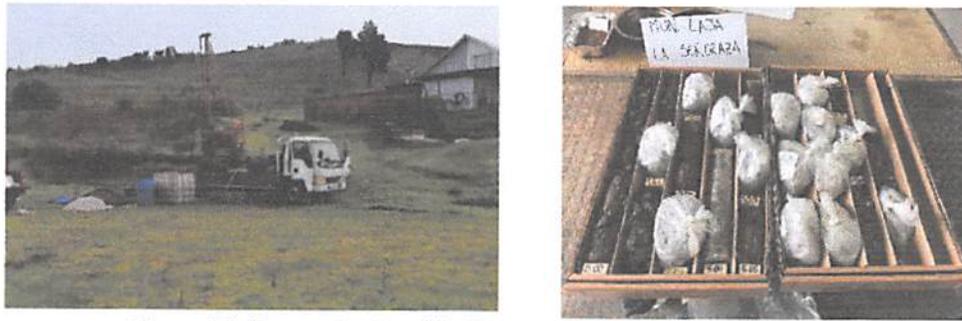


Figura 6.2: Fotografías Sondaje S-01 de 15 m de profundidad.

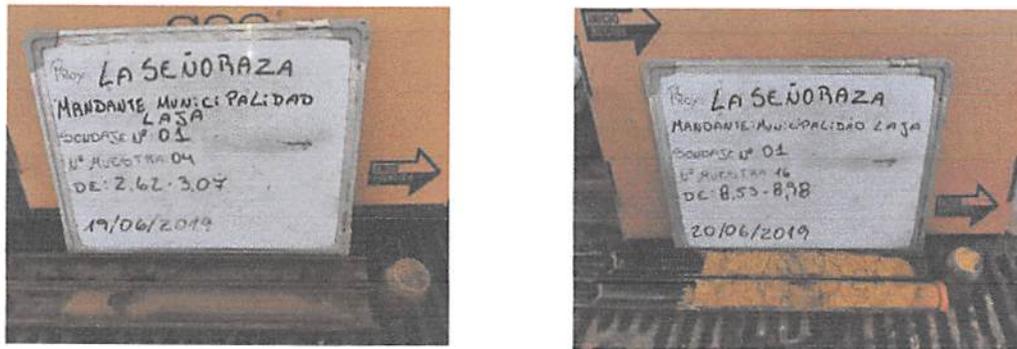


Figura 6.3: Fotografías Muestras Sondaje S-01 de 15 m de profundidad.

## 7 DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA.

De acuerdo a la información proporcionada por las prospecciones ejecutadas y los ensayos de laboratorio, el presente capítulo entrega el modelo estratigráfico del sitio explorado, junto con los resultados de ensayos de laboratorio realizados

### 7.1 ESTRATIGRAFÍA.

Tabla 7.1: Modelo estratigráfico

Horizonte	Profundidad	Descripción
H-1	0,00 m – 1,00 m (máximo)	Capa vegetal, Relleno antrópico.
H-2	1.00 m – 15.00 m	<p><b>Predominan Arcillas.</b> Estratos de color café claro, con plasticidad baja a media, humedad media a alta y compacidad alta.</p> <p>Presenta Intercalaciones de Limos Arenosos de color café, de plasticidad alta, humedad alta.</p> <p>De acuerdo al sistema de clasificación USCS, se obtienen clasificaciones C, ML y CL-ML</p>

### 7.2 NIVEL FREÁTICO.

A la fecha de ejecución de la exploración, esto es, junio 2019, se detectó nivel freático en el sondaje 01 a 1.50m de profundidad. Se realizó una segunda medición en julio de 2016 detectando el nivel freático a 2.00m de profundidad. Se dejó instalado un tubo de PVC para controlar variación de nivel freático en el tiempo.

Tabla 7.2: Medición Nivel Freático.

PROSPECCIÓN	NIVEL FREÁTICO (m)	FECHA
S-01	1.50	20-06-2019
S-01	2.00	02-07-2017

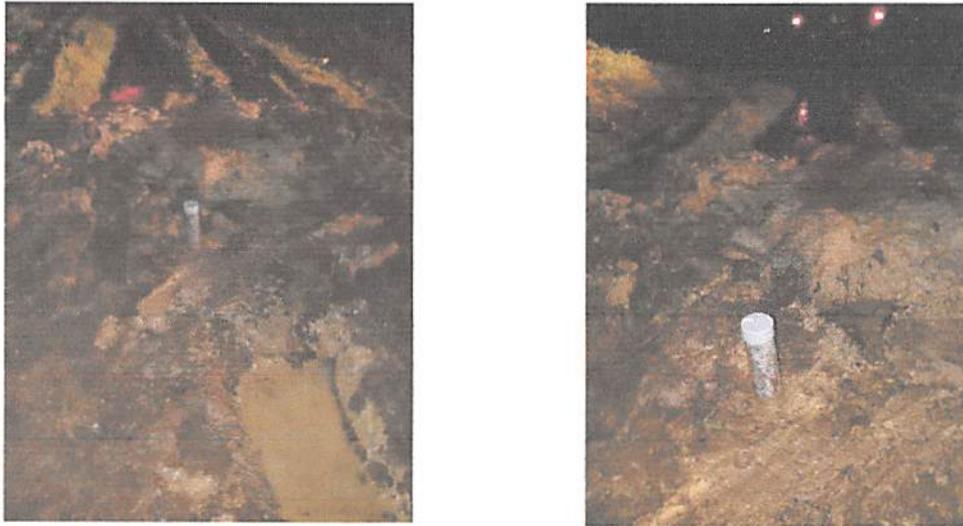


Figura 7.1: Fotografías Muestras Sondaje S-01 de 15 m de profundidad.

### 7.3 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO.

Se entregan los resultados de ensayos de laboratorio ejecutados a las muestras obtenidas del sondaje. Se presentan los ensayos de clasificación completa.

Tabla 7.3: Resultados de ensayos de clasificación completa Sondaje.

MUESTRA	PROFUNDIDAD DE MUESTREO (m)		UCSC	AASHTO	% Tamiz N°200	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Humedad natural (%)	Gs
M-02	1.63	2.08	CL	A-6(11)	94	35	24	11	33.7	2.60
M-04	2.62	3.07	ML	A-6(14)	96	38	25	13	34.5	2.62
M-06	3.59	4.04	CL	A-6(13)	94	36	23	13	33.5	2.58
M-08	4.60	5.05	CH	A-7-6(39)	92	62	25	27	35.7	2.64
M-10	5.55	6.00	CL	A-6(13)	86	36	20	16	26.4	2.57
M-12	6.59	7.04	CL	A-6(13)	85	39	24	15	25.8	2.71
M-14	7.54	7.99	CL	A-6(11)	89	36	24	12	30.3	2.70
M-16	8.59	8.98	CL	A-6(11)	72	39	22	17	26.0	2.71
M-18	9.57	10.20	ML	A-4(8)	86	33	24	9	23.8	2.70
M-20	10.56	11.01	ML	A-4(2)	58	33	27	6	22.4	2.74
M-22	11.59	12.04	ML	A-4(1)	55	29	23	6	18.7	2.73
M-24	12.61	13.00	SM	A-4(0)	45	26	23	3	23.9	2.76
M-26	13.56	13.83	ML	A-4(0)	50	27	23	4	20.2	2.73
M-28	14.57	14.82	CL-ML	A-4(1)	59	25	20	5	17.6	2.75

En la Figura 7.2 se presenta a la distribución granulométrica de las muestras obtenidas del sondaje 01. En ella se puede observar que predominan los suelos finos.

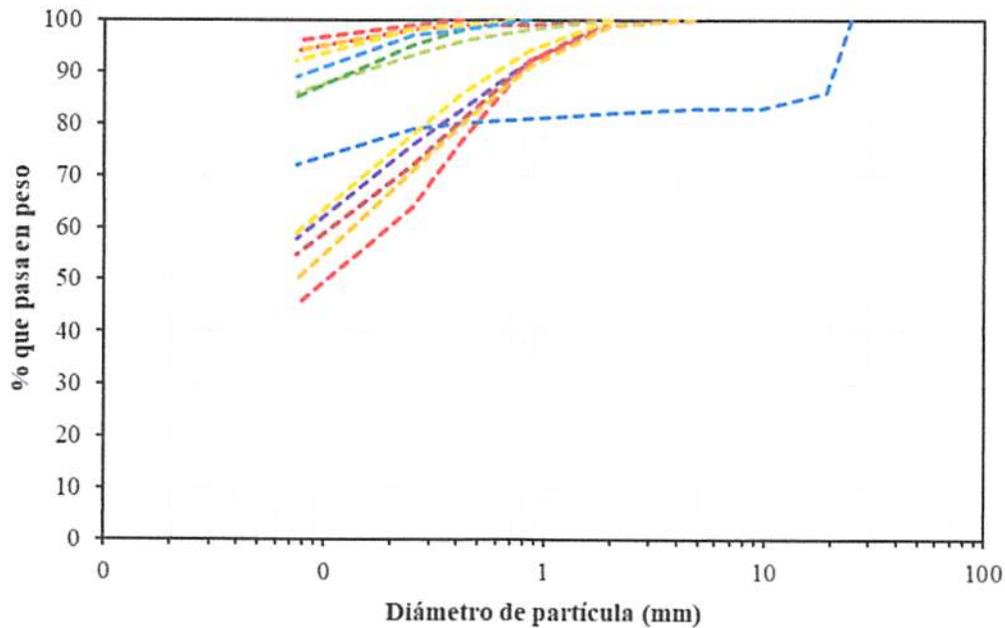


Figura 7.2: Distribución granulométrica de las muestras obtenidas de Sondaje 01.

En la Figura 7.3 se presenta la carta de plasticidad, donde se obtiene el tipo de suelo al cual pertenecen las muestras a partir del Límite líquido vs Índice de Plasticidad.

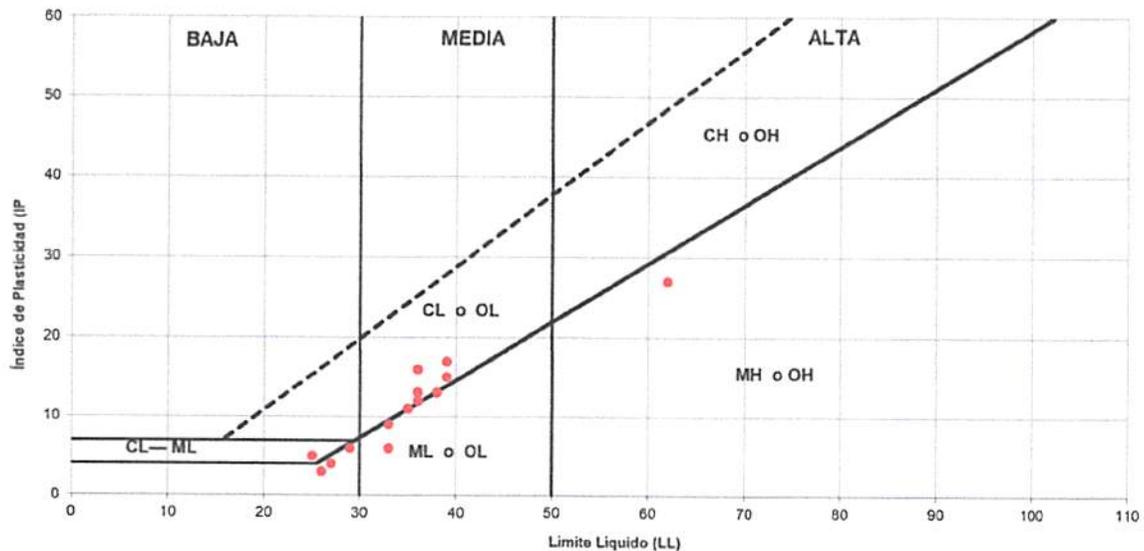


Figura 7.3 Carta Plasticidad Muestras Sondaje 01

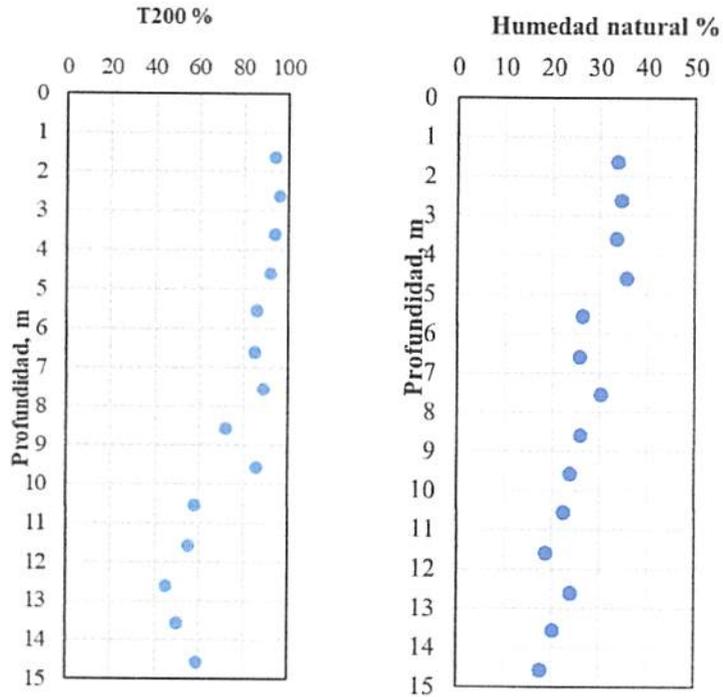


Figura 7.4: Variación del Contenido de finos y Humedad Natural con la profundidad

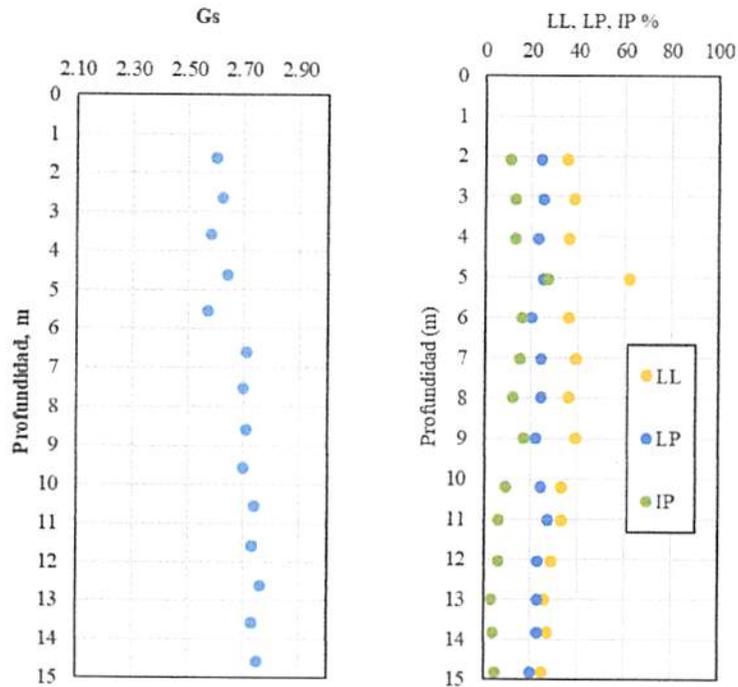


Figura 7.5: Variación de Gs, Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad con la profundidad.

En general, de la clasificación completa se obtiene mayoritariamente una denominación USCS tipo CL (Arcilla de Baja Plasticidad) junto con ML (Limo Arenosos de Baja Plasticidad) las que presentan un contenido de finos máximo de 96% y mínimo de 45% , Índice de plasticidad que varía entre 3% y 27%, humedad variable entre 35.70 y 17.60 %.

Por otro lado, de la Figura 7.2, resulta evidente que el tipo de suelo muestreado es homogéneo, pues la distribución granulométrica que se obtuvo es similar en todos los casos.

#### 7.4 RESULTADOS ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

En el sondaje realizado se ejecutó ensayo SPT (ASTM D1586, 2011; NCh3364, 2014), donde fue posible obtener, de forma parcial, el registro de penetración en profundidad. A continuación se presenta el registro obtenido.

Tabla 7.4: Registro SPT de Sondaje 01.

PROFUNDIDAD DESDE	HASTA	N1	N2	N3	N	USCS
0.00	1.63		ROTACIÓN			
1.63	2.08	3	4	4	8	CL
2.08	2.62		ROTACIÓN			
2.62	3.07	3	6	6	12	ML
3.07	3.59		ROTACIÓN			
3.59	4.04	4	6	8	14	CL
4.04	4.60		ROTACIÓN			
4.60	5.05	5	5	8	13	CH
5.05	5.55		ROTACIÓN			
5.55	6.00	5	7	9	16	CL
6.00	6.59		ROTACIÓN			
6.59	7.04	6	8	11	19	CL
7.04	7.57		ROTACIÓN			
7.54	7.99	5	7	10	17	CL
7.99	8.53		ROTACIÓN			
8.53	8.98	7	10	12	22	CL
8.98	9.57		ROTACIÓN			
9.57	10.02	7	13	13	26	ML
10.02	10.56		ROTACIÓN			
10.53	11.01	12	19	27	46	ML
11.01	11.59		ROTACIÓN			
11.59	12.04	15	26	34	60	ML
12.04	12.61		ROTACIÓN			
12.61	13.00	27	43	50/9	R	SM
13.00	13.55		ROTACIÓN			
13.55	13.83	32	50/13	-	R	ML
13.88	14.57		ROTACIÓN			
14.57	15.00	37	50/10	-	R	CL-ML

Los datos que entrega el SPT deben ser corregidos por múltiples factores, los cuales consideran el diámetro de la perforación, el uso de tubo guía, longitud de barras que penetran el suelo y el nivel de energía aplicado durante el ensayo. La energía que se proporciona durante el ensayo es, teóricamente dependiente de la masa que golpea las barras y su altura de caída, sin embargo, estos valores se encuentran afectados a reducciones debido a la manipulación misma que ofrece el operador, por lo que diferentes niveles de energía pueden ser efectivamente aplicadas a la penetración de la cuchara.

Es por estos motivos, que el índice de penetración estándar medido en terreno debe ser corregido por una serie de factores que se detallan a continuación, con el fin de obtener el parámetro  $(N_1)_{60}$ .

#### 7.4.1 CORRECCIÓN POR CONFINAMIENTO

De acuerdo a lo establecido en DS N°61 "Diseño Sísmico de Edificios" (MINVU, 2011), el índice  $C_N$  correspondiente al índice de penetración normalizado por presión de confinamiento de  $1 \text{ kg/cm}^2$  o  $0.1 \text{ Mpa}$ , aplicable solo a suelos que clasifican como arenas (SM, SP, SW, SP-SM, SW-SM) y cuya expresión se detalla a continuación:

$$C_N = \frac{2.2}{1.2 + \frac{\sigma'_v}{P_a}}$$

Dónde:

$C_N$ : Factor de corrección por confinamiento, según Kayen et al (1992)

$P_a$ : Presión atmosférica.

$\sigma'_v$ : Tensión efectiva de confinamiento.

La expresión anterior se encuentra acotada a un valor máximo de  $C_N = 1.7$

#### 7.4.2 CORRECCIÓN POR ENERGÍA.

Dada la variabilidad que hoy existe entre los tipos de martillos utilizados en el SPT y el equipamiento (barras, uniones, cabeza de golpe, etc.), así como también la experiencia del operador y el tipo de suelo, es que este factor de corrección toma en cuenta todos estos aspectos y realiza la corrección del número de golpes registrado en terreno, mediante el factor:

$$C_E = \frac{E\tau}{60}$$

Donde corresponde al porcentaje de energía aplicado en el ensayo, por el martillo. La normalización a 60%, nace a partir de la recomendación de Seed et al. (1985) y Skempton (1986) sobre la necesidad de normalizar el índice de penetración medido en terreno a un valor de referencia del 60% de la energía potencial que entrega el martillo, esto debido a la variabilidad de razones de energía aplicadas con distintos martillos.

#### 7.4.3 CORRECCIÓN POR LONGITUD DE BARRAS DE PERFORACIÓN.

Aoki et al. (2007) encontraron que la energía aplicada durante el ensayo, disminuye (número de golpes aumenta) considerablemente para longitudes de barra  $L < 10 \text{ m}$ , por lo que era necesario corregir el índice de penetración por este efecto rigidizante que produce una corta longitud de barras.

Para el presente estudio se han considerado los factores de corrección de Youd *et al.* (2001), que se indican en la Tabla 7.5.

Tabla 7.5: Factores de corrección por longitud de barra.

Longitud de barras (m)	C <sub>R</sub>
> 10	1.00
6 - 10	0.95
4 - 6	0.85
3 - 4	0.80
< 3	0.75

#### 7.4.4 CORRECCIÓN POR DIÁMETRO DE LA PERFORACIÓN.

Existe también un efecto del diámetro de la perforación, el cual al aumentar más allá de los 100 mm produce un efecto de relajación de tensiones en el fondo de la perforación en una forma similar a lo que ocurre en el caso de hincado de pilotes. La muestra los valores del factor de corrección por diámetro de la perforación sugeridos por Skempton (1986).

Tabla 7.6: Factores de corrección por diámetro de la perforación (Skempton, 1986)

Diámetro de la Perforación (mm)	C <sub>B</sub>
65-115	1.00
150	1.05
200	1.15

#### 7.4.5 CORRECCIÓN POR USO DE TUBO GUÍA.

Si se usa un tubo tomamuestras (*liner*) el índice de penetración estándar medido en terreno aumenta considerablemente debido a la disminución del diámetro por el cual se introduce el suelo, además del efecto rigidizador. Seed *et al.* (2001) sugieren un factor de corrección por uso de cuchara normal sin *liner*, como:

$$C_S = 1 + \frac{(N_1)_{60}}{100}$$

Sin embargo, ninguno de los sondajes realizados utilizó *liner*, por lo tanto se ha considerado un factor  $C_S = 1.0$ .

#### 7.4.6 INDICE DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR CORREGIDO $(N_1)_{60}$

Con todo lo anterior, el índice de penetración estándar medido de terreno es corregido por todos los factores antes mencionados, dando a lugar al índice de penetración corregido, como:

$$(N_1)_{60} = N_1 * C_E * C_B * C_R * C_S$$

Dónde:

$(N_1)_{60}$  : Índice de penetración estándar corregido al 60% de la energía efectiva.

$N_1$  : Índice de penetración estándar corregido por confinamiento.

$C_E$  : Corrección por energía aplicada.

$C_B$  : Corrección por diámetro de perforación.

$C_R$  : Corrección por longitud de barras.

$C_S$  : Corrección para muestreadores con o sin tubo guía.

Se presenta a continuación el registro corregido de golpes/pie obtenido del Sondaje S-01

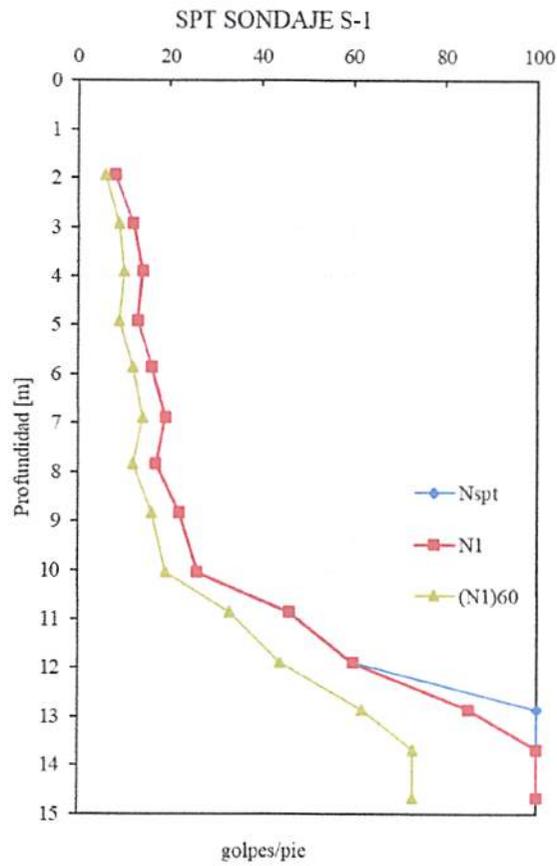


Figura 7.6 Registro de Sondaje.

## 7.5 ANÁLISIS DE POTENCIAL DE LICUACIÓN

El análisis de potencial de licuación se realiza mediante el software **LiquefyPro 5.8** de la firma **CIVILTECH**, Software que utiliza las recomendaciones del Workshop de NCEER 1998.

Para el caso de suelos con contenido de finos, se realiza una corrección del valor  $N_{SPT}$ , de acuerdo a las recomendaciones de Idris & Seed (1997).

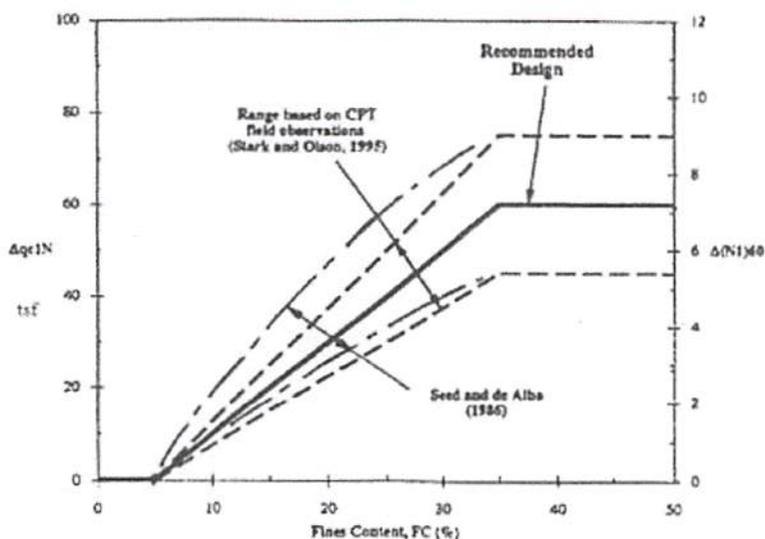


Figura 7.7: Factor de Corrección de SPT y CPT por contenido de finos (después de Seed, 1996).

Para el análisis de licuación realizado al sondaje 01 se utilizó un sismo de magnitud 8.5 grados Richter, aceleración 0.4g.

El análisis de asentamiento por licuación se llevó a cabo mediante la metodología de Tokimatsu (M-Correction) modificación hecha a lo presentado el año 1987.

Se presenta a continuación el resultado del análisis de licuación, Figura 7.8, y un resumen de resultados del análisis de asentamiento acumulado en superficie.

# LIQUEFACTION ANALYSIS

## LA SEÑORAZA

Hole No.=01 Water Depth=2 m

Magnitude=8.8  
 Acceleration=0.45g

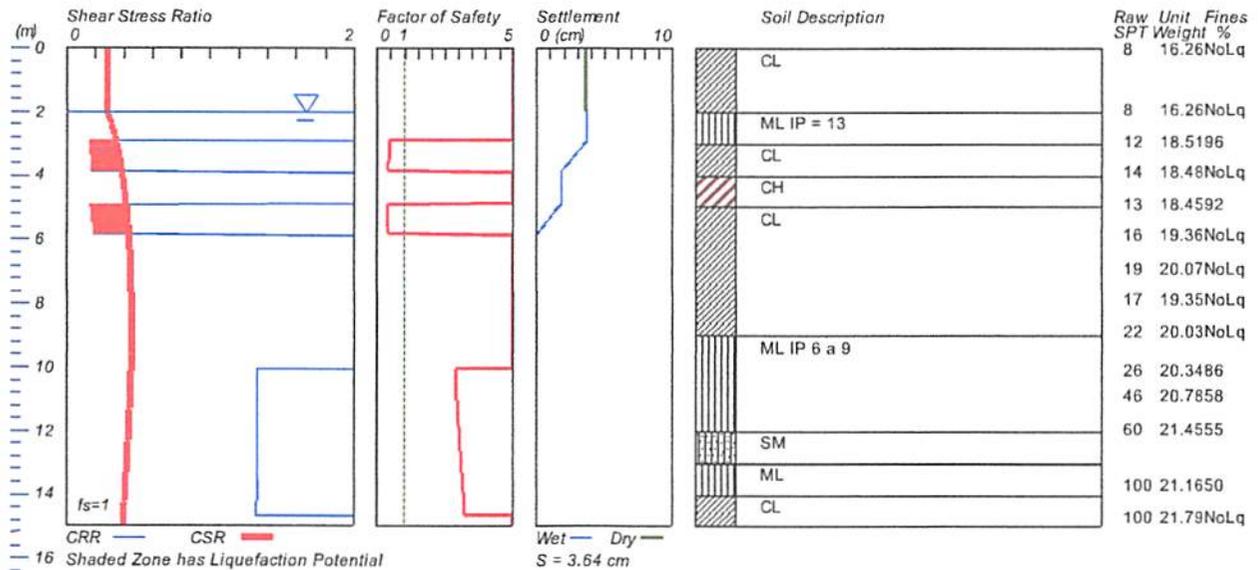


Figura 7.8 Análisis de Licuación

Tabla 7.7 Asentamiento acumulado en superficie por licuación.

Profundidad (m)	F.S.	Asentamiento Acumulado (cm)
0	5.00	3.6
1	5.00	3.6
2	5.00	3.6
3	0.47*	3.5
4	5.00	1.8
5	0.40*	1.6
6	5.00	0.0
7	5.00	0.0
8	5.00	0.0
9	5.00	0.0
10	5.00	0.0
11	2.96	0.0
12	3.03	0.0
13	3.11	0.0
14	3.21	0.0
15	5.00	0.0

Si bien el análisis de licuación presenta que se podría generar este fenómeno bajo un sismo de magnitud 8.5 y aceleración 0.4, cabe destacar que dicho análisis no considera ciertas características de los materiales.

Se debe tener en cuenta que los materiales encontrados desde 0.00 hasta 6.00 metros corresponden a suelos finos con  $IP \geq 13$  descartando la ocurrencia del fenómeno.

Por lo expuesto anteriormente, el asentamiento posible generado en superficie debido a licuación quedaría descartado.

## 8 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

De los antecedentes obtenidos en terreno, producto de la exploración geotécnica y los resultados de los ensayos de laboratorio ejecutados a las muestras, se destacan los siguientes aspectos:

- La condición estratigráfica del suelo de fundación da cuenta de dos horizontes; H-1, la capa vegetal y relleno antrópico, con un espesor máximo de 1.00 m; H-2 una intercalación de Arcillas con baja y media plasticidad Junto con Limos Arenosos de Alta plasticidad, de consistencia media a alta, que se detectan hasta 15.0 m de profundidad, de acuerdo a la información de sondaje.

El contenido de humedad natural detectado es Bajo.

Considerando lo antes expuesto y teniendo presente que se proyecta la construcción de casas y edificios, la solución de fundación para cada tipo de estructura debe ser diferenciada, es decir, las casas pueden considerar un mejoramiento de suelos de menor extensión bajo fundación, en tanto que los edificios deben obligatoriamente contemplar una solución de mejoramiento que abarque mayor profundidad.

- Del índice de penetración se observa claramente que hasta los 5.0 m de profundidad, el sondaje arroja valores inferiores a 15 golpe/pie, lo cual da cuenta de arcillas y limos de consistencia media. Sobre los 5.0 m se observa un aumento considerable de consistencia del suelo, detectando estratos de arcilla con índice de golpes mayores a 15 golpes/pie, lo que podríamos considerar como un estrato aceptable para fundar edificios. Inclusive se obtienen continuos rechazos en el SPT a mayores profundidades.
- Se observa del análisis de potencial de licuación que frente a un sismo de magnitud 8.8 y aceleración 0.45g, dicho fenómeno, de acuerdo a los datos obtenidos de laboratorio, no se desarrollaría
- Se deberá tener precaución con el sector achurado en imagen presentada a continuación, si bien este corresponde a un corte que está fuera del sitio, se deberá tener precaución ya que se detectó indicios de desplazamientos y derrumbes los cuales podrían tener efecto sobre construcciones aledañas.



## 9 CONCLUSIONES.

Finalmente, en base a todos los antecedentes expuestos en el presente informe, producto de los trabajos de terreno realizados, los resultados de laboratorio y el análisis de gabinete, es posible concluir lo siguiente:

Dado el perfil estratigráfico, el índice de golpes obtenido del SPT, se concluye que es imperante mejorar la calidad estructural del suelo de fundación, en función del tipo de estructura que se proyecta:

### VIVIENDAS DE HASTA 2 NIVELES:

- i. Para el caso de viviendas de hasta 2 niveles, se sugiere un mejoramiento de suelo en base a un relleno compactado bajo fundación, esto con el fin de aislar las fundaciones del suelo Arcilloso (horizonte H-2) dadas las características presentadas anteriormente. Para ello, se propone un mejoramiento de al menos 1 metro bajo la fundación incluyendo geomallas para así mitigar asentamientos diferenciales. Las características finales de dicho mejoramiento deberán ser definidas por la entidad o persona que desarrolle la solución.

### EDIFICIOS DE HASTA 5 NIVELES SIN SUBTERRANEO:

- i. Como primera opción, se sugiere un mejoramiento de suelo del tipo retiro y reemplazo bajo fundación (relleno estructural compactado), el cual deberá alcanzar 5.0 m de profundidad obligatoriamente, con el fin de traspasar el horizonte de suelo Arcilloso de consistencia blanda. Con todo lo anterior, se asegura un correcto traspaso de cargas al suelo de fundación, con un buen control de asentamientos y adecuada capacidad de soporte. Para esta solución se deberá estudiar con mayor detención las características de la arcilla detectada a 5 metros de profundidad.
- ii. Como segunda opción, se sugiere un mejoramiento de suelo profundo, en base a columnas de grava o similar, con el fin de traspasar el horizonte de suelo arcilloso de consistencia blanda hasta aproximadamente 5 metros. Con todo lo anterior, se asegura un correcto traspaso de cargas al suelo de fundación, con un buen control de asentamientos y adecuada capacidad de soporte. Las características y dimensiones del mejoramiento deberán ser definidas por la entidad que desarrolle la solución.
- iii. Se podrá analizar un mejoramiento de suelos en base a reemplazo de al menos 1,5 metros de profundidad bajo las fundaciones, el cual contemple geomallas, con el fin de disminuir el traspaso de cargas y así controlar posibles asentamientos generados por consolidación.

Se recomienda que, para la mecánica de suelos definitiva del proyecto, se lleve a cabo al menos un ensayo de consolidación para conocer el comportamiento de la arcilla encontrada en terreno, frente a cargas inducidas por las estructuras proyectadas. Esto permitirá ajustar de mejor manera el mejoramiento de suelos a utilizar.

## 10 CLASIFICACIÓN SÍSMICA DEL SITIO

De acuerdo a lo indicado por el DS MINVU N°61, Diseño sísmico de Edificios (2011), y en función del tipo de suelo analizado, es necesario justificar la medición del valor de Vs30 (estudio de velocidad de ondas de corte), junto con un sondaje de 30 metros para cumplir con lo solicitado para dar clasificación sísmica al sitio.

Junto con lo anterior se deberá cumplir con la cantidad de exploraciones que exige la NCh 1508.

	Suelo Tipo	V <sub>s30</sub> (m/s)	RQD	q <sub>u</sub> (MPa) (e <sub>qu</sub> ≤ 2%)	(N <sub>1</sub> ) (golpes/pie)	S <sub>u</sub> (MPa)
A	Roca, suelo cementado	≥ 900	≥ 50%	≥ 10 (e <sub>qu</sub> ≤ 2%)		
B	Roca blanda o fracturada, suelo muy denso o muy firme	≥ 500		≥ 0,40 (e <sub>qu</sub> ≤ 2%)	≥ 50	
C	Suelo denso o firme	≥ 350		≥ 0,30 (e <sub>qu</sub> ≤ 2%)	≥ 40	
D	Suelo medianamente denso, o firme	≥ 180			≥ 30	≥ 0,05
E	Suelo de compactidad, o consistencia mediana	< 180			≥ 20	< 0,05
F	Suelos Especiales	*	*	*	*	*

Figura 10.1: Clasificación sísmica del terreno de fundación (DS 61 MINVU 2011).

## 11 FUNDACIONES RECOMENDADAS.

### 11.1 MEJORAMIENTO DE SUELOS

En base a los antecedentes descritos, para el caso de viviendas, se sugiere el uso de fundaciones superficiales y un mejoramiento en base a un paquete estructural en base a geomallas utilizando relleno estructural, sobre los cuales se funden las estructuras. Por otro lado, en el caso de edificios, se deberá obligatoriamente mejorar la condición existente de suelo hasta los 5.0 m de profundidad, para luego elaborar un relleno estructural compactado para alcanzar el nivel de fundación requerido por proyecto o considerar la utilización de columnas de grava o similar. Sin perjuicio de lo anterior, será el ingeniero estructural quien determine la utilización de fundaciones corridas o fundaciones aisladas conectadas con vigas de fundación.

Previo a la ejecución de rellenos y mejoramientos sobre el nivel de terreno natural, se deberá considerar obligatoriamente la extracción de una capa de 15 cm, con el fin de eliminar el suelo vegetal existente.

**VIVIENDAS DE HASTA 2 NIVELES:** Las viviendas se deberán fundar como mínimo a  $D_f=60$  cm del nivel de terreno natural, previo tratamiento del sello de excavación mediante relleno estructural compactado de espesor mínimo  $H=100$  cm con sobrecancho  $H/2=50$  cm bajo fundación y por todo el perímetro de las fundaciones. Finalizada esta etapa, se procederá a la construcción de un emplantillado con hormigón tipo G04, en un espesor mínimo de 5 cm.

**EDIFICIOS DE HASTA 5 NIVELES SIN SUBTERRÁNEO:** Los edificios se fundarán como mínimo a  $D_f=1.20$  m del nivel de terreno natural, previo tratamiento mediante relleno estructural compactado de espesor mínimo  $H=3.80$  m con sobrecancho  $H/2=1.90$  m bajo fundación y por todo el perímetro de las fundaciones. Finalizado el relleno estructural compactado, se procederá a la construcción de un emplantillado con hormigón tipo H-5, en un espesor mínimo de 5 cm.

Tabla 11.1: Definición de sellos de excavación y fundación

Estructura	Sello de fundación	Sello de excavación
Viviendas hasta 2 niveles	0.60 m	1.65 m
Edificios de hasta 5 niveles sin subterráneo	1.20 m	5.05 m

### 11.1.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA FUNDACIÓN DE VIVIENDAS

El procedimiento a seguir para el tipo de fundación de viviendas se describe en las siguientes especificaciones:

- a) Se deberá excavar, al menos, hasta alcanzar el sello de excavación definido, de tal forma de obtener una excavación equivalente al ancho y largo de la planta de la estructura más el sobreancho  $H/2$  por todo su perímetro. Para esta etapa se podrá utilizar taludes de excavación vertical.
- b) Se deberá controlar el material que se utilizará para realizar el relleno, como mínimo se debe ejecutar un Corte directo, clasificación completa, Proctor o densidad y CBR cada  $2.000 \text{ m}^3$
- c) Una vez alcanzado el sello de excavación, se procederá a compactar la superficie, hasta alcanzar una densidad del 95% de la DMCS del Proctor Modificado, controlando a razón de 1 control por cada  $500 \text{ m}^2$  de área excavada. Esta etapa deberá ser recepcionada por un ingeniero civil con 3 años de experiencia en mecánica de suelos y registrada en el libro de obras del proyecto.
- d) Recepcionado el sello de excavación, se procederá a la ejecución del relleno estructural. El material de relleno debe ser un material granular bien graduado, con contenido máximo de finos (bajo tamiz 200) no superior al 12% y tamaño máximo no superior a 50 mm (Tamiz 2"), en capas horizontales de 25 cm cada una, en estado suelto. Se compactará mecánicamente hasta obtener  $DR = 80\%$  o un 95% de la DMCS del Proctor Modificado, según corresponda. Se deberá realizar como mínimo 1 control por cada vivienda. El material de relleno estructural deberá cumplir los requisitos establecidos en la Tabla 11.2. El proceso de compactación del relleno deberá ser controlado por un laboratorio de mecánica de suelos acreditado bajo el convenio MINVU-INN, avalado y recepcionado por un ingeniero civil con 3 años de experiencia en mecánica de suelos, dejando registro de su recepción en el libro de obras del proyecto.

Tabla 11.2: Requisito del material para relleno estructural

TAMIZ	% que pasa en peso
2"	100
Nº4	100-90
Nº10	75-90
Nº40	40-60
Nº200	0-12
IP%	<6%

- e) Recepcionado el sello de fundación, se deberá confeccionar un emplantillado con hormigón G05, de espesor mínimo 5 cm., sellando de esta manera el relleno estructura
- f) Realizado todo lo anterior, se procederá a la construcción de las fundaciones de las viviendas.

El esquema de fundación se ilustra en las Figuras 11.1 y 11.2, tanto para fundaciones aisladas como fundaciones corridas.

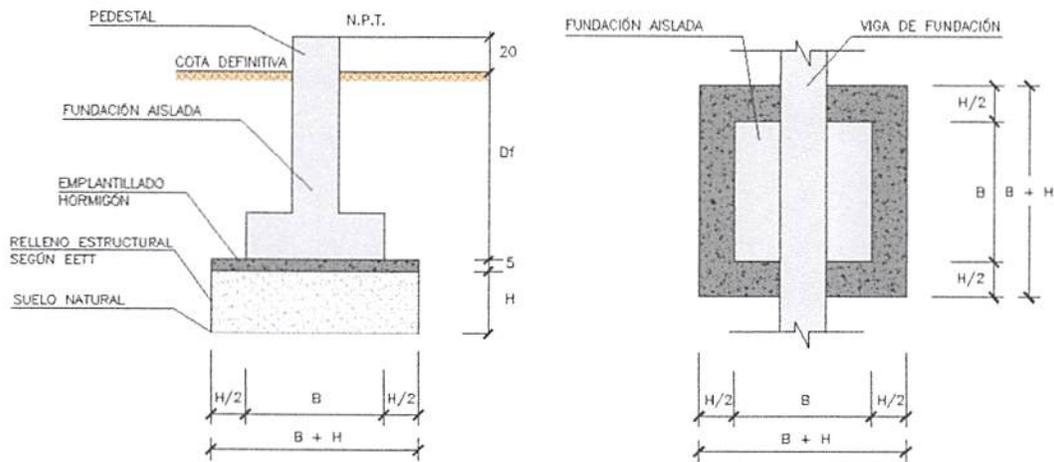


Figura 11.1: Esquema de fundación aislada sobre mejoramiento de suelo para el caso de viviendas

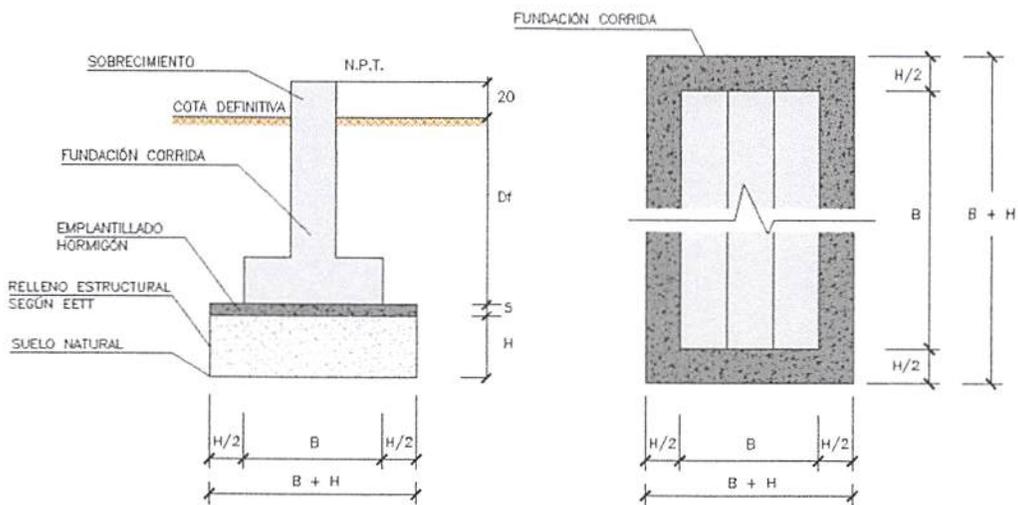


Figura 11.2: Esquema de fundación corrida sobre mejoramiento de suelo para el caso de viviendas

### 11.1.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA FUNDACIÓN DE EDIFICIOS

El procedimiento a seguir para el tipo de fundación de Edificios se describe en las siguientes especificaciones:

- a) Se deberá excavar, al menos, hasta alcanzar el sello de excavación definido, de tal forma de obtener una excavación equivalente al ancho y largo de la planta de la estructura más el sobreebanco  $H/2$  por todo su perímetro. Para taludes de excavación se sugiere utilizar pendiente a razón  $H:V=1:2$
- b) Una vez alcanzado el sello de excavación, se deberá compactar mecánicamente sin dejar material suelto, mediante vibropisón o equipo similar, a razón de 5 pasadas por cada punto.
- c) Luego se debe rellenar hasta el sello de fundación definido en la Tabla 11.1. El material de relleno debe ser un material granular bien graduado, con contenido máximo de finos (bajo tamiz 200) del 12% y tamaño máximo 2", en capas horizontales de 25 cm cada una, en estado suelto. Se compactará mecánicamente hasta lograr una densidad relativa igual o superior al 80% o al 95% de la DMCS del Proctor Modificado, según corresponda, se deberá realizar 1 control cada 30 ml de fundación corrida por cada capa y/o 1 control por cada fundación aislada por capa. La banda granulométrica del material de relleno debe cumplir con lo establecido en la Tabla 11.3. En cada capa del relleno se deberán controlar las densidades a razón de 1 control por cada 30 ml de relleno y por cada capa. Esta etapa deberá ser controlada por un laboratorio de mecánica de suelos, avalada y recepcionada por un ingeniero civil o por el ITO del proyecto para la aprobación de la etapa.
- d) Una vez que se hayan recepcionado los sellos de fundación, se deberá realizar un emplantillado con hormigón H-5, en un espesor no inferior a 5 cm., sellando de esta manera el relleno bajo cada fundación corrida o fundación aislada.
- e) Realizado todo lo anterior, se procederá a la construcción de las fundaciones de las estructuras.

Todo el control del proceso de colocación y compactación por capas del relleno granular, deberán ser efectuados por un laboratorio acreditado ante MINVU e INN.

Tabla 11.3: Banda granulométrica material de relleno estructural

TAMIZ	% que pasa en peso
2"	100
N°10	75-90
N°40	40-60
N°200	0-12

El esquema de fundación se ilustra en las Figuras 11.3 y 11.4, tanto para fundaciones aisladas como fundaciones corridas.

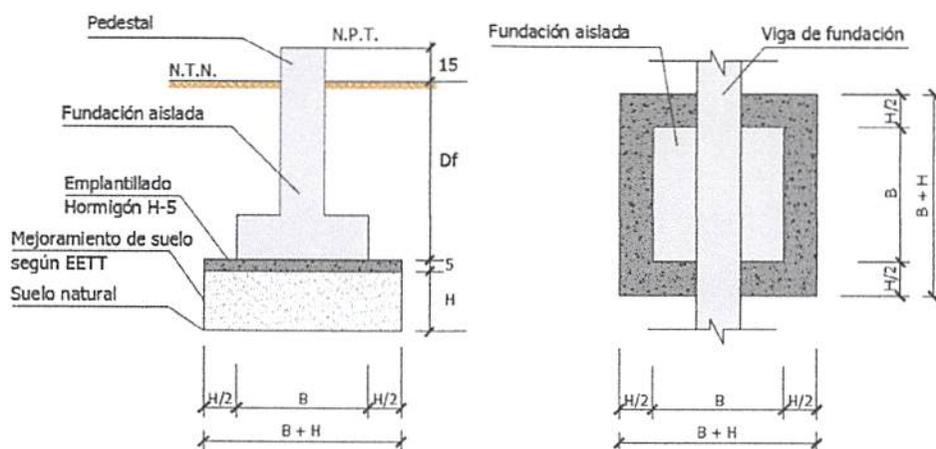


Figura 11.3: Esquema de fundación aislada sobre mejoramiento de suelo para el caso de edificios

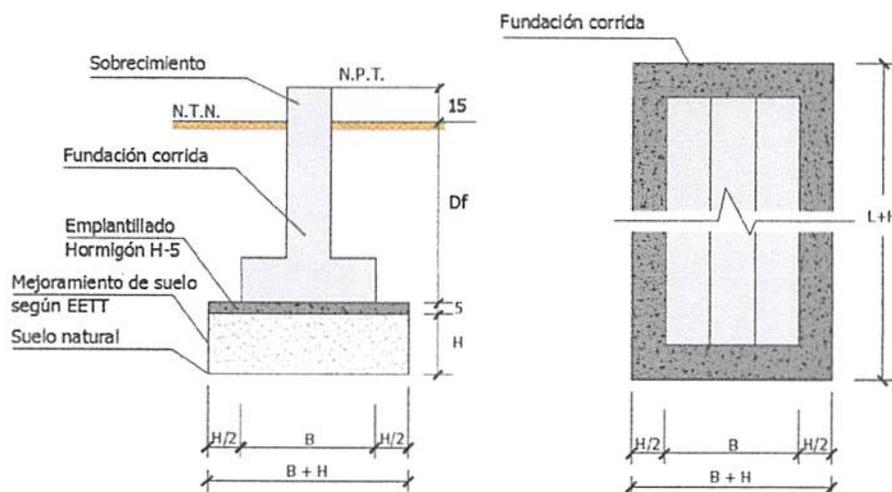


Figura 11.4: Esquema de fundación corrida sobre mejoramiento de suelo para el caso de edificios

### **11.2 RELLENO INTERIOR BAJO RADIERES**

Una vez compactado el sello de excavación, se deberá rellenar hasta el sello de fundación de radieres, con un suelo arenoso con no más de un 12% de material fino bajo el tamiz 200 y acotado a un tamaño máximo de 2". Se rellenará en capas de espesor suelto de 25 cm. hasta llegar al nivel de sello de los radieres, compactándose de forma mecánica, mediante placa compactadora hasta alcanzar DR=75% o al 90% de la DMCS del Proctor Modificado, según corresponda.

### **11.3 RELLENO EXTERIOR SOBRE EL NIVEL DE FUNDACIÓN**

Los rellenos exteriores, donde no se funden estructuras definitivas, podrán ejecutarse con un material del tipo arenoso con un 12% de finos bajo tamiz 200. Rellenar en capas de 25 cm. de espesor en estado suelto y pasar placa compactadora para lograr una densidad adecuada.

## 12 RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS

### 12.1 GENERACIÓN DE PLATAFORMA DE TRABAJO

Para la generación de la plataforma de trabajo, pudieran darse 3 casos. El primero de ellos es que la rasante se mantenga al nivel actual de terreno, el segundo, que la rasante se encuentre bajo el nivel actual de terreno y tercero, que la rasante se encuentre sobre el nivel actual de terreno.

#### a) RASANTE AL NIVEL DE TERRENO ACTUAL O BAJO EL NIVEL ACTUAL

Se debe considerar que el espesor mínimo del relleno estructural, bajo la capa de base estabilizada, será  $e = 30 \text{ cm}$  con sobrecanto de 30 cm, medido desde el borde de la carpeta de rodado. La excavación se hará en todo el ancho de la faja proyectada, con el propósito de retirar la capa vegetal y/ cualquier otro material no apto estructuralmente. En casos donde se detecte la existencia de escombros u otro similar, se deberá profundizar dicho escarpe hasta eliminar completamente el material no competente. Todo material extraído de este escarpe deberá ser llevado a botadero autorizado.

#### b) RASANTE SOBRE EL NIVEL ACTUAL

En este caso, se deberá eliminar la capa vegetal existente y nivelar la plataforma, con el fin de prepararla para proveer un relleno estructural con el fin de alcanzar el nivel requerido para sub-base. Dicho relleno deberá tener un espesor mínimo  $e = 30 \text{ cm}$  y sobrecanto de 30 cm mínimo, medido desde el borde de la carpeta de rodado y alcanzar el nivel requerido.

El relleno estructural deberá ser realizado según las especificaciones definidas en el punto 12.2.

## 12.2 RELLENO ESTRUCTURAL

A continuación se presentan las especificaciones técnicas relleno estructural, así como también las condiciones para el control de calidad.

- a) Recepcionado el sello de excavación, se procederá a rellenar en capas de espesor 20 cm en estado suelto (con el fin de generar capas de control de 15 cm aproximadamente), con material granular (según los requisitos indicados en la Tabla 12.1) limpio que contenga a lo más un 20% de suelo fino bajo el tamiz 200 y acotado a partículas de tamaño máximo 50 mm (Tamiz 2"). Se procederá a rellenar hasta el nivel requerido. Cada capa deberá ser compactada hasta alcanzar  $DR \geq 80\%$  o  $95\%$  de la DMCS del Proctor Modificado. Se controlará el relleno mediante ensayos a razón de 1 control por cada 300 m<sup>2</sup> de faja (o según lo indicado por normativa) y por capa. El proceso de verificación de densidades debe ser realizado vía ensayos, por un laboratorio de mecánica de suelos acreditado MINVU e INN, quién emitirá los certificados correspondientes.
- b) El constructor solicitará a un ingeniero civil o al ITO del proyecto, la recepción del relleno, para así poder continuar con la construcción de la base y carpeta de rodado, quien dejará registro de su cometido en el libro de obras, en caso que corresponda.

Tabla 12.1: Banda granulométrica para material de relleno

TAMIZ	% que pasa en peso
2"	100
Nº10	75-90
Nº40	40-60
Nº200	0-12

Las Figuras 12.1 y 12.2 muestran un esquema general de fundación de pavimentos y mejoramiento de suelos.

**En el caso de pavimentos de vereda, el espesor de relleno estructural, será de  $e = 10 \text{ cm}$ .**

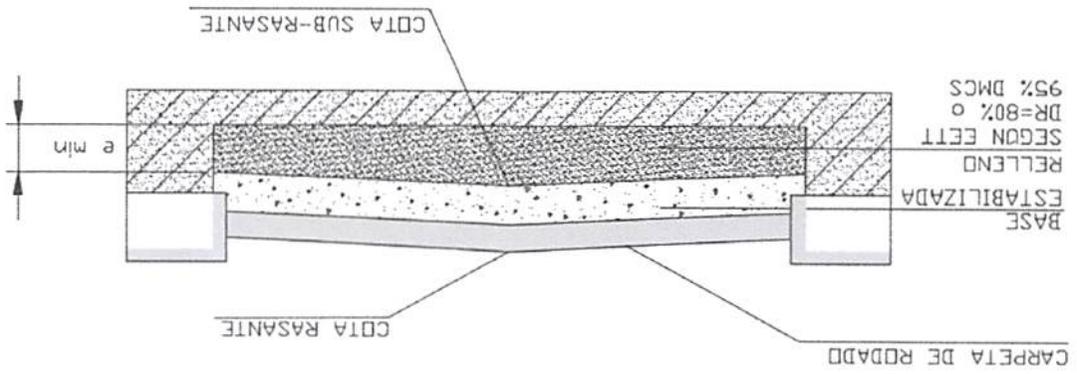


Figura 12.1: Esquema general sobre relleno estructural para condición a) y b)

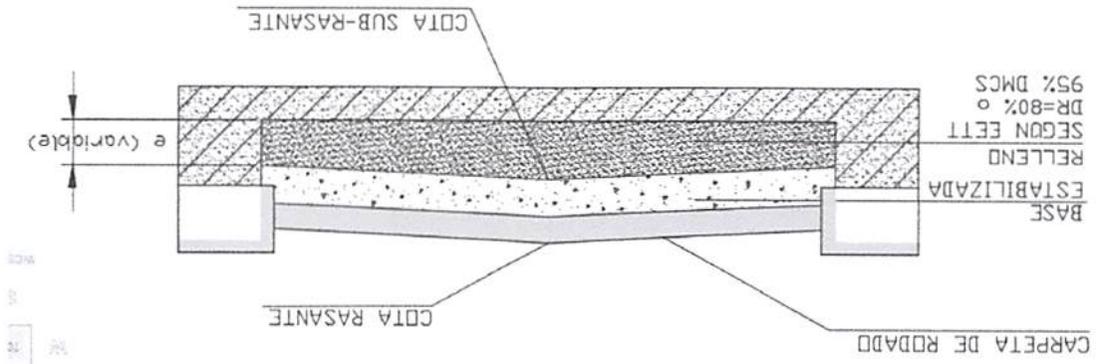


Figura 12.2: Esquema general sobre relleno estructural de espesor variable para condición c)

### 12.3 PROPIEDADES GEOTÉCNICAS PARA PAVIMENTOS

Para el tipo de suelo analizado, es decir arenas limosa, se define el coeficiente de balasto, según L'Herminier (1968), de acuerdo a lo indicado en la Tabla 12.2.

Tabla 12.2: Parámetros geotécnicos para pavimentos

PARÁMETRO	SÍMBOLO	LIMO ALTA PLASTICIDAD	RELLENO GRANULAR COMPACTADO
Razón de Poisson	$\nu$	0,28	0,35
Coficiente de balasto (B en cm, L'Herminier 1968)	$K_s$	$\frac{30}{B} \text{ kg/cm}^3$	$10 \left( \frac{B + 30}{2B} \right)^2 \text{ kg/cm}^3$
CBR sub-rasante	CBR	12%	30%

Para el caso dinámico el valor del coeficiente de balasto se amplifica en un 30%.

### 13 CÁLCULO DE CAPACIDAD DE SOPORTE.

Se entrega a continuación el cálculo de tensiones admisibles a nivel de sello de fundación, considerando las alternativas de mejoramiento de suelos mencionadas, tanto para viviendas como para edificios.

#### 13.1 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO.

Schnaid (2009), en su libro sobre los principales ensayos in situ, entrega una recopilación de diversos autores donde se define el ángulo de fricción para distintos tipos de suelo, el cual se muestra en la Figura 13.1

<i>Material</i>	<i>Bolton (1979)</i>	<i>Bolton (1979)</i>	<i>Robertson and Hughes (1986)</i>
	$\phi'_p$ (degrees)	$\phi'_{cv}$ (degrees)	$\phi'_{cv}$ (degrees)
Dense, well-graded sand or gravel	55	35	40
Uniform, medium-dense/ coarse sand	40	32	34-37
Dense, sandy silt with some clay	47	32	
Fine sand and sandy, silty clay	35	30	30-34
Clay-shale or partings	35	25	
Clay (London)	25	15	

Figura 13.1: Ángulos de fricción típicos (Tomado de Schnaid 2009)

En función de lo indicado en la Figura 13.1, se opta por considerar lo señalado por Bolton para una arena densa bien graduada, esto es, un ángulo de fricción de 32° para el suelo definido como relleno estructural, tanto para viviendas como para edificios.

La Tabla 13.1 define además los parámetros considerados en el cálculo de tensiones admisibles para el relleno estructural compactado.

Tabla 13.1: Propiedades mecánicas del suelo de fundación

Parámetro	Símbolo	Relleno estructural
Cohesión	$C$	$0 \left( \frac{\text{Tonf}}{\text{m}^2} \right)$
Ángulo de fricción	$\phi$	$32^\circ$
Peso unitario	$\gamma$	$1.85 \left( \frac{\text{Tonf}}{\text{m}^3} \right)$
Módulo de elasticidad (Braja 1999)	$E$	$400 \left( \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \right)$
Razón de Poisson	$\nu$	0.30
Coefficiente de balasto (B en cm) (L'Herminier 1968)	$K$	$10 \left( \frac{B + 30}{2B} \right)^2 \text{ kg/cm}^3$

### 13.2 EXPRESIONES PARA EL CÁLCULO DE TENSIONES ADMISIBLES.

Para el cálculo de la tensión admisible se considera la expresión propuesta por Terzaghi (Bowles 1982) considerando un factor de seguridad igual a 3 y cuyas expresiones son las siguientes:

- Expresión de capacidad de soporte admisible para fundación cuadrada

$$q_{adm} = \frac{1}{FS} (0.4\gamma B N_\gamma + \gamma D_f N_q + 1.3c N_c)$$

- Expresión de capacidad de soporte admisible para fundación corrida

$$q_{adm} = \frac{1}{FS} (0.5\gamma B N_\gamma + \gamma D_f N_q + c N_c)$$

Dónde:

- $\gamma$  = Peso específico del suelo.
- $C$  = Cohesión del suelo.
- $FS$  = Factor de seguridad.
- $D_f$  = Espesor del estrato sobre el sello de fundación.
- $B$  = Ancho de fundación.

- $L$  = Largo de fundación.
- $N_\gamma, N_q, N_c$  = Factores de capacidad de carga adimensionales que están únicamente en función del ángulo  $\phi$  de fricción del suelo.

Los factores de capacidad de carga, para el mejoramiento de suelo bajo fundación, corresponden a los siguientes:

Tabla 13.2: Factores de capacidad de carga (Terzaghi y  $N_\gamma$  según Kumbhojkar, 1993)

Tipo de suelo	$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
Relleno compactado	32°	44.04	28.52	26.87

Luego, evaluando las expresiones de capacidad de soporte mostradas anteriormente, para el caso de fundar la estructura sobre un mejoramiento de suelos en el sello de fundación definido previamente (0.6 m mínimo para viviendas), se tiene que las tensiones admisibles son:

- a) Tensión admisible para viviendas de hasta 2 niveles con  $D_f = 0.60 \text{ m}$

- Fundación cuadrada

$$Q_{adm} = 6.63 \cdot B + 10.55 \left( \frac{Ton_f}{m^2} \right)$$

- Fundación corrida

$$Q_{adm} = 8.28 \cdot B + 10.55 \left( \frac{Ton_f}{m^2} \right)$$

- b) Tensión admisible para edificios de hasta 5 niveles sin subterráneo  $D_f = 1.20 \text{ m}$

- Fundación cuadrada

$$Q_{adm} = 6.63 \cdot B + 21.10 \left( \frac{Ton_f}{m^2} \right)$$

- Fundación corrida

$$Q_{adm} = 8.28 \cdot B + 21.10 \left( \frac{Ton_f}{m^2} \right)$$

Tabla 13.3: Capacidad de soporte mejoramiento de suelo para viviendas de hasta 2 niveles

TENSIONES ADMISIBLES		
B (m)	Fundación cuadrada	Fundación corrida
0,4	1,32	1,39
0,6	1,45	1,55
0,8	1,59	1,72
1,0	1,72	1,88

Se recomienda, de forma conservadora, acotar la capacidad de soporte para viviendas, a un valor máximo de  $1.3 \text{ kg/cm}^2$ , tanto para el caso de fundación corrida como el caso de fundación cuadrada.

Tabla 13.4: Capacidad de soporte mejoramiento de suelo para edificios de hasta 5 niveles

TENSIONES ADMISIBLES		
B (m)	Fundación cuadrada	Fundación corrida
0,4	2,38	2,44
0,6	2,51	2,61
0,8	2,64	2,77
1,0	2,77	2,94

Se recomienda, de forma conservadora, acotar la capacidad de soporte para edificios, a un valor máximo de  $2.3 \text{ kg/cm}^2$ , tanto para el caso de fundación corrida como el caso de fundación cuadrada.

## 14 EXPRESIONES PARA EL CÁLCULO DE ASENTAMIENTO

Debido a que el proyecto contempla la ejecución mejoramientos de suelo en base a compactación dinámica o columnas de grava, no realizará el cálculo de asentamientos, pues estos quedan en manos de los profesionales competentes encargados de proyectar cada una de las soluciones, sin embargo se presentan a continuación expresiones para cálculo de asentamiento elástico para cargas permanentes y para asentamiento dinámico.

### 14.1 ASENTAMIENTO ELÁSTICO INSTANTÁNEO PARA CARGAS PERMANENTES.

El cálculo de asentamiento se puede llevar a cabo sumando dos tipos de asentamientos. El primero es el asentamiento elástico o también llamado inmediato. Por otra parte el segundo es producto del fenómeno de consolidación llamado asentamiento por consolidación o asentamiento a largo plazo.

Según la teoría de la elasticidad se tiene:

$$S_I = \frac{B * q}{E} (1 - \mu^2) * \frac{\alpha}{2} \quad (\text{Esquina de la fundación flexible})$$

$$S_I = \frac{B * q}{E} (1 - \mu^2) * \alpha \quad (\text{Centro de fundación flexible})$$

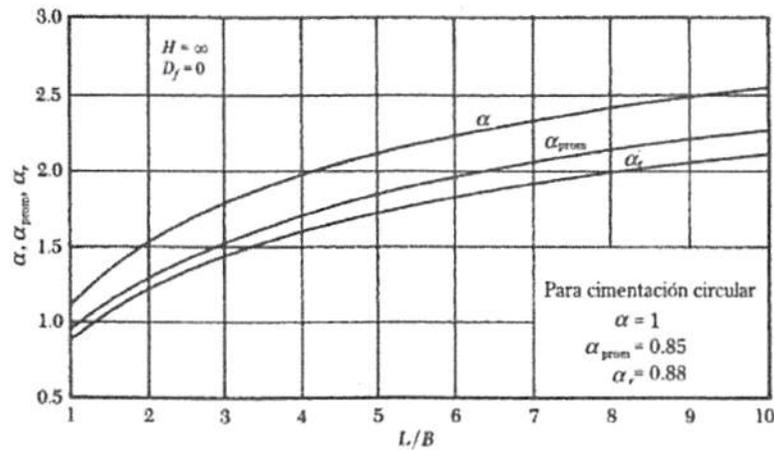


Figura 14.1: Valores de  $\alpha$

$S_I$  = Asentamiento probable (cm)

$\mu$  = Relación de Poisson

E = Módulo de elasticidad kgf/cm<sup>2</sup>

q = Tensión admisible, kgf/cm<sup>2</sup>

B = Ancho de la fundación, cm

Los parámetros de rigidez utilizados para el cálculo de asentamientos son los indicados en el apartado 13.1 del presente informe.

Luego, evaluando las expresiones anteriores, para un largo de fundación  $L=8$  m y ancho de fundación variable, donde el factor de forma de la fundación, se calcula como:

$$\alpha = \frac{1}{\pi} \left[ \ln \left( \frac{\sqrt{1+m_1^2} + m_1}{\sqrt{1+m_1^2} - m_1} \right) + m \ln \left( \frac{\sqrt{1+m_1^2} + 1}{\sqrt{1+m_1^2} - 1} \right) \right]$$

$$m_1 = L/B$$

$B$  = ancho de la cimentación  
 $L$  = longitud de la cimentación

Donde

$m = 1$  en la esquina de la fundación y  $m=4$  en el centro de la fundación.

Tabla 14.1: Cálculo de asentamiento por carga permanente para viviendas de hasta 2 niveles

$B$ (m)	FUND. CUADRADA - Asentamiento elástico		FUND. CORRIDA - Asentamiento elástico	
	Esquina $Se$ (mm)	Centro $Se$ (mm)	Esquina $Se$ (mm)	Centro $Se$ (mm)
0,4	1	1	2	4
0,6	1	2	2	5
0,8	1	3	3	6
1,0	2	3	4	7

Tabla 14.2: Cálculo de asentamiento por carga permanente para edificios de hasta 5 niveles sin subterráneo

$B$ (m)	FUND. CUADRADA - Asentamiento elástico		FUND. CORRIDA - Asentamiento elástico	
	Esquina $Se$ (mm)	Centro $Se$ (mm)	Esquina $Se$ (mm)	Centro $Se$ (mm)
0,4	1	2	3	6
0,6	2	4	4	9
0,8	2	5	5	11
1,0	3	6	6	13

Como se observa, en ambos tipos de estructuras, los asentamientos elásticos son menores a 1", con lo cual se asegura una correcta relación carga/asentamiento.

#### 14.2 EXPRESIONES PARA EL CÁLCULO DE ASENTAMIENTO DINÁMICO

En algunos casos las fundaciones superficiales pueden sufrir asentamientos adicionales debido a cargas sísmicas (dinámicas), por lo tanto en caso de ser necesario, dicho asentamiento se podrá calcular mediante la metodología desarrollada por Richards et al. (1993), válida para zapatas corridas en suelos granulares, según la cual se tiene:

$$S_{eq} = 0.174 \frac{V^2}{A \cdot g} \left( \frac{k_h^*}{A} \right)^{-4} \tan \alpha_{AE}$$

Dónde:

- $S_{eq}$  : Asentamiento elástico instantáneo para cargas dinámicas (m)
- $V$  : Velocidad máxima para el sismo de diseño (m/s)
- $A$  : Coeficiente de aceleración para el sismo de diseño
- $g$  : Aceleración de gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)
- $k_h^*$  : Coeficiente de aceleración horizontal durante un sismo, en función de  $D_f/B$  y  $\phi$
- $\tan \alpha_{AE}$ : Coeficiente que varía en función de  $k_h^*$  y  $\phi$

Los parámetros involucrados en el cálculo del asentamiento dinámico se incorporan en las siguientes figuras:

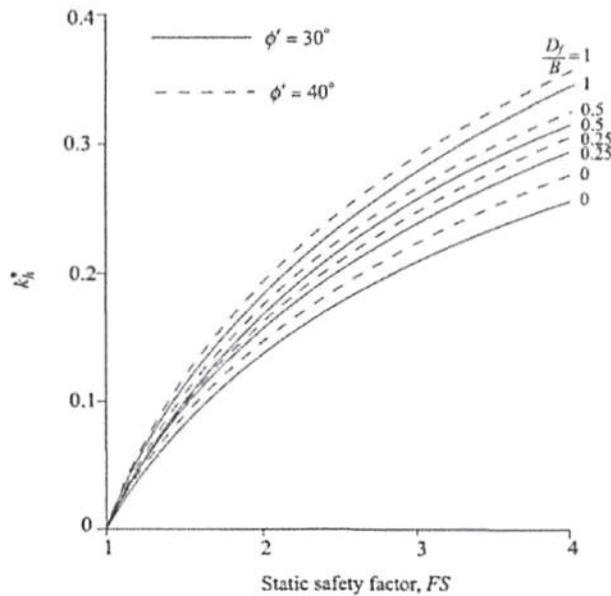


Figura 14.2: Aceleración crítica  $k_h^*$  para  $k_v = 0$  (Tomado de Braja 2010)

$k_h^*$	$\tan \alpha_{AE}$				
	$\phi' = 20^\circ$	$\phi' = 25^\circ$	$\phi' = 30^\circ$	$\phi' = 35^\circ$	$\phi' = 40^\circ$
0.05	1.10	1.24	1.39	1.57	1.75
0.10	0.97	1.13	1.26	1.44	1.63
0.15	0.82	1.00	1.15	1.32	1.48
0.20	0.71	0.87	1.02	1.18	1.35
0.25	0.56	0.74	0.92	1.06	1.23
0.30		0.61	0.77	0.94	1.10
0.35		0.47	0.66	0.84	0.98
0.40		0.32	0.55	0.73	0.88
0.45			0.42	0.63	0.79
0.50			0.27	0.50	0.68
0.55				0.44	0.60
0.60				0.32	0.50

Figura 14.3: Variación de  $\tan \alpha_{AE}$  con  $K_h^*$  y ángulo de fricción del suelo  $\phi$  (Tomado de Braja 2010)

La elección de los parámetros involucrados en el cálculo del asentamiento dinámico será de cargo del ingeniero estructural en caso que se requiera necesario determinar asentamiento por carga dinámica. No obstante, se entrega a continuación el cálculo:

$V$ (m/s)	$A$	$g$ (m/s <sup>2</sup> )	$k_h$	$\tan \alpha_E$	$S_{eq}$ (cm)
0.3	0.4	9.81	0.25	1.02	2.67

Para el cálculo, se asumió un factor de seguridad estático FS=3, ángulo de fricción  $\phi = 32^\circ$  y una velocidad máxima para el sismo de diseño igual a 0.3 m/s. Con éstos datos, el asentamiento por carga dinámica es del orden de 1 pulgada, el cual se considera en el rango tolerable para el tipo de estructura analizada.

## 15 COEFICIENTES DE EMPUJE.

Para el cálculo de los coeficientes de empuje, se consideró el ángulo de fricción informado anteriormente (32°).

### 15.1 MUROS DE SUBTERRÁNEOS ARRIOSTRADOS POR LOSAS.

Los empujes laterales que actuarán sobre las obras, tendrán las siguientes magnitudes.

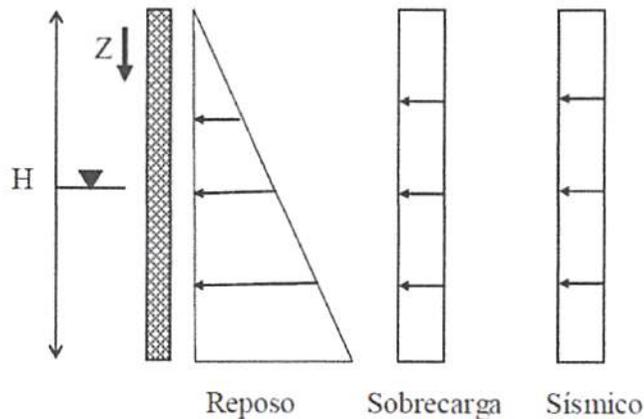


Figura 15.1: Esquema de empujes arriostrados por losas

#### a) Empuje estático:

$$\text{Coeficiente de empuje estático} : K_0 = \frac{1 - \sin \phi'}{1 + \sin \beta}$$

$$\text{Presión en reposo (z)} : \sigma_0 = \gamma \cdot K_0 \cdot z$$

$$\text{Sobrecarga} : \sigma_q = K_0 \cdot q$$

Donde:

$K_0$  : Coeficiente de empuje en reposo

$z$  : Profundidad a la que se evalúa el empuje

$q$  : Sobrecarga

$\gamma$  : Peso unitario húmedo del suelo

#### b) Empuje sísmico

$$\text{Coeficiente de empuje sísmico} : \sigma_S = 0.3 \cdot C_r \cdot \gamma \cdot H \cdot A_0 / g$$

Donde:

$\sigma_S$  : Empuje sísmico

$H$  : Altura del muro

$C_r$  : Coeficiente sísmico NCh433

$A_0$  : Aceleración efectiva de acuerdo a NCh433

15.2 MUROS DE CONTENCIÓN NO ARRIOSTRADOS.

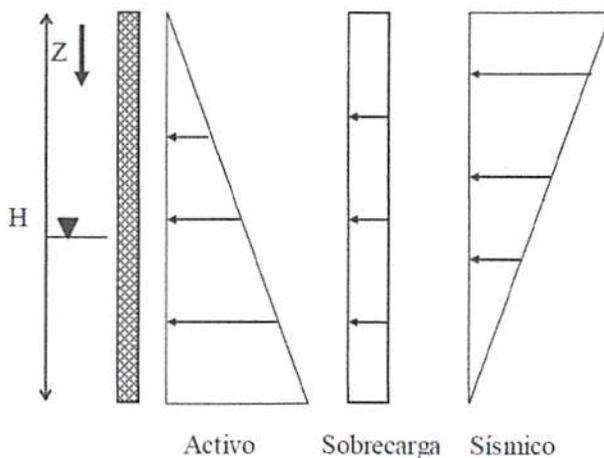


Figura 15.2: Esquema de empujes en muros no arriestrados

a) Empuje activo.

Coefficiente de empuje activo :

$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \phi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

Presión activa (z) :  $\sigma_0 = \gamma \cdot K_a \cdot z$

Sobrecarga :  $\sigma_q = K_a \cdot q$

Donde:

- $K_a$  : Coeficiente de empuje activo
- $z$  : Profundidad a la que se evalúa el empuje
- $q$  : Sobrecarga
- $\gamma$  : Peso unitario húmedo del suelo

**b) Empuje pasivo**

El empuje pasivo a considerar en la zona enterrada de los muros de contención se calculará de acuerdo a la siguiente formulación:

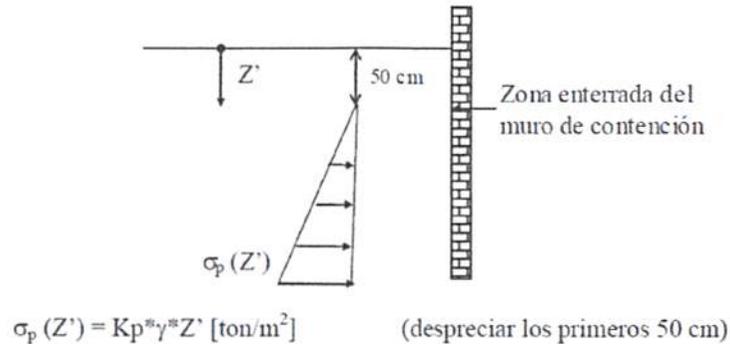


Figura 15.3: Distribución del empuje pasivo.

Coefficiente de empuje pasivo :

$$K_p = \frac{\sin^2(\alpha - \phi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha + \delta) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi + \beta)}{\sin(\alpha + \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

Presión en reposo (z) :  $\sigma_p = \gamma \cdot K_p \cdot z$

Sobrecarga :  $\sigma_q = K_p \cdot q$

Donde:

$\sigma_p(z')$  : Empuje pasivo (Tonf/m<sup>2</sup>)

$K_p$  : Coeficiente de empuje pasivo

$z'$  : Profundidad de enterramiento del muro (m) (No considerar los primeros 50 cm)

$\gamma$  : Peso unitario húmedo del suelo.

**PABLO SANZANA JARA**  
 INGENIERO CIVIL  
 ROL 3-1056

**PABLO SANZANA JARA**  
 Ingeniero Civil  
 Magister en Ingeniería Geotécnica

julio de 2019

## 16 REFERENCIAS

- [1] ASTM D1586 (2011). Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils
- [2] Braja M. Das (1999) Principios de Ingeniería de cimentaciones
- [3] FHWA (2002) Geotechnical Engineering Circular No. 6. Shallow Foundations
- [4] INN (1996) NCh433 Of.1996 Mod.2009 "Diseño sísmico de edificios"
- [5] INN (2014) Norma chilena NCh. 1508 Of. 2014: Geotecnia "Estudio de Mecánica de Suelos"
- [6] L'Herminier (1968) Mecánica del suelo y dimensionamiento de firmes
- [7] Louie (2001) Faster, Better: Shear-Wave Velocity to 100 Meters Depth From Refraction Microtremor Arrays
- [8] MINVU (2011) Reglamento que fija el diseño sísmico de edificios
- [9] Schnaid (2009) In situ testing in geomechanics. The main tests
- [10] Sernageomin (2003) Mapa geológico de Chile: Versión digital, Publicación geológica digital N°4
- [11] Skempton (1986) Standard Penetration Test Procedures and the Effects in Sands of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Ageing and Over Consolidation", *Geotechnique* 36: 3, September, 1986.
- [12] Tarbuck et al (2005) Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física. Pearson Educación S.A.
- [13] Villalobos, F. (2014) Mecánica de Suelos. Editorial UCSC
- [14] Brüggén, J. (1914) Los carbones del Valle Lonjitudinal i la Zona Carbonífera al Sur de Curanilahue, en la provincia de Arauco. Sociedad Nacional de Minería, Imprenta Barcelona, 56 p. Santiago.
- [15] Niemeyer, H.; Muñoz, J. (1983) Hoja Laguna de la Laja, Región del Bío-Bío. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, No. 57, 1:250.000.
- [16] Thiele, J.; Moreno, H.; Lahsen, A (2015) Evolución geológico – geomorfológica cuaternaria del tramo superior del valle río Laja (VIII Región). *Revista Geológica de Chile*, Vol.56, Santiago.
- [17] Varela, J.; Moreno, H.; Lahsen, A.; Vergara, M. (1988) Los depositas de relleno cuaternario del curso superior del río Laja (VIII Región). *In Congreso Geológico Chileno, No. 5, Actas*, Vol. 2, p. D159-D177. Santiago.

**ANEXO A**  
**INFORMES DE LABORATORIO**

**INFORME DE ENSAYO DGL-USU N° 268.026  
UNIDAD MECÁNICA DE SUELOS**

<b>ESTRATIGRAFÍA</b>			
Concepción, 28 de Junio de 2019			
Cliente	:	CONSTRUCTORA 3S SPA	
Dirección	:	LAS VIOLETAS 1875, N°454, HUERTOS FAMILIARES, SAN PEDRO DE LA PAZ	
Destinatario	:	PABLO SANZANA JARA	
Proyecto / Obra	:	LA SEÑORAZA, LAJA	
Ubicación / Ciudad	:	LAJA	
Propietario	:	-	
Constructor	:	-	
Sondaje	:	N°1	Inspección realizada por : IDIEM - EMILIO PARRA
Ubicación	:	INDICADA POR EL CLIENTE	
Control de Napa	:	-	Fecha de inspección : 21-06-2019

Horizonte	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
-	0,00 - 1,63	1,63	Limo plástico con algo de arena fina, color café oscuro, plasticidad alta, olor térreo, humedad saturada, estructura heterogénea, textura suave. Presenta gravas aisladas de tamaño máximo 1" y baja cantidad de raicillas.
-	1,63 - 2,08	0,45	Arcilla de baja plasticidad, color café claro, olor térreo, humedad alta, estructura homogénea, consistencia medianamente compacta, textura suave.
-	2,08 - 2,62	0,54	Limo plástico con algo de arena fina, color café claro, plasticidad alta, humedad alta, estructura homogénea, textura suave.
-	2,62 - 3,07	0,45	Limo de baja plasticidad, color café claro, humedad alta, estructura homogénea, consistencia compacta, textura suave.
-	3,07 - 3,59	0,52	Limo plástico con algo de arena fina, color café claro, plasticidad alta, humedad alta, estructura homogénea, textura suave.
-	3,59 - 4,04	0,45	Arcilla de baja plasticidad, color café claro, humedad alta, estructura homogénea, consistencia compacta, textura suave.
-	4,04 - 4,60	0,56	Limo plástico con algo de arena fina, color café claro, plasticidad alta, humedad alta, estructura homogénea, textura suave.
-	4,60 - 5,05	0,45	Arcilla de alta plasticidad, color café claro, humedad media a alta, estructura homogénea, consistencia compacta, textura suave.
-	5,05 - 5,55	0,50	Limo plástico con algo de arena fina, color café claro, plasticidad alta, humedad alta, estructura homogénea, textura suave.
-	5,55 - 6,00	0,45	Arcilla de baja plasticidad, color café claro, humedad media a alta, estructura homogénea, consistencia muy compacta, textura suave.

**OBSERVACIONES**

- Boleta N° 24911-24912 / Código de obra: 268012 / Correlativo: 15



**Reinaldo Martinez P.**  
Jefe de sala




**Cristian Peñalillo A.**  
Jefe de Unidad

**INFORME DE ENSAYO DGL-USU N° 268.026  
UNIDAD MECÁNICA DE SUELOS**

**ESTRATIGRAFÍA**

Concepción, 28 de Junio de 2019

Cliente	:	CONSTRUCTORA 3S SPA
Dirección	:	LAS VIOLETAS 1875, N°454, HUERTOS FAMILIARES, SAN PEDRO DE LA PAZ
Destinatario	:	PABLO SANZANA JARA
Proyecto / Obra	:	LA SEÑORAZA, LAJA
Ubicación / Ciudad	:	LAJA
Propietario	:	-
Constructor	:	-

Sondaje	:	N°1	Inspección realizada por	:	IDIEM - EMILIO PARRA
Ubicación	:	INDICADA POR EL CLIENTE	Fecha de inspección	:	21-06-2019
Control de Napa	:	-			

Horizonte	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
-	6,00 - 6,59	0,59	Limo arcilloso con algo de arena fina, color café claro a heterogéneo, plasticidad alta, humedad alta, estructura heterogénea, textura suave.
-	6,59 - 7,04	0,45	Arcilla de baja plasticidad, color café claro amarillento con manchas blancuzcas, humedad media, estructura heterogénea, consistencia muy compacta, textura suave.
-	7,54 - 7,99	0,45	Arcilla de baja plasticidad, color café claro amarillento, humedad media a alta, estructura homogénea, consistencia muy compacta, textura suave.
-	8,53 - 8,98	0,45	Arcilla de baja plasticidad con algo de grava y arena, color café claro amarillento, humedad media a alta, estructura heterogénea, consistencia muy compacta, textura suave. Las gravas presentan tamaño máximo 1", de cantos subangulares.
-	9,57 - 10,02	0,45	Limo plástico con algo de arena fina y grava dispersa, color café claro amarillento, plasticidad alta, humedad alta, estructura heterogénea, consistencia muy compacta, textura suave. La grava presenta tamaño máximo 3/4", de cantos subangulares.
-	10,56 - 11,01	0,45	Limo arenoso con presencia de mica (maicillo), color amarillo grisáceo, plasticidad baja, humedad media a baja, estructura homogénea, consistencia dura, textura suave.
-	11,59 - 12,04	0,45	Limo arenoso con presencia de mica (maicillo), color amarillo grisáceo, plasticidad baja, humedad media, estructura homogénea, consistencia dura, textura suave.
-	12,61 - 13,00	0,39	Arena con algo de limo plástico y presencia de mica (maicillo), color amarillo grisáceo, humedad media, estructura homogénea, compacidad muy densa, textura suave.
-	13,00 - 13,56	0,56	Limo arenoso con presencia de mica (maicillo), color amarillo grisáceo, plasticidad baja, humedad media, estructura homogénea, textura suave.
-	13,56 - 13,83	0,27	Limo arenoso de baja plasticidad con presencia de mica (maicillo), color gris con tonalidades verdosas, humedad baja, estructura homogénea, consistencia dura, textura suave.

**OBSERVACIONES**

- Boleta N° 24911-24912 / Código de obra: 268012 / Correlativo: 15



**Reinaldo Martínez P.**  
Jefe de sala




**Cristian Renaldo A.**  
Jefe de Unidad

**INFORME DE ENSAYO DGL-USU N° 268.026  
UNIDAD MECÁNICA DE SUELOS**

**ESTRATIGRAFÍA**

Concepción, 28 de Junio de 2019

Cliente	:	CONSTRUCTORA 3S SPA
Dirección	:	LAS VIOLETAS 1875, N°454, HUERTOS FAMILIARES, SAN PEDRO DE LA PAZ
Destinatario	:	PABLO SANZANA JARA
Proyecto / Obra	:	LA SEÑORAZA, LAJA
Ubicación / Ciudad	:	LAJA
Propietario	:	-
Constructor	:	-

Sondaje	:	N°1	Inspección realizada por	:	IDIEM - EMILIO PARRA
Ubicación	:	INDICADA POR EL CLIENTE	Fecha de inspección	:	21-06-2019
Control de Napa	:	-			

Horizonte	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
-	13,83 - 14,57	0,74	Arena limosa-Limo arenoso (maicillo) de finos de baja plasticidad, color café oscuro, humedad media, estructura homogénea, textura arenosa.
-	14,57 - 14,82	0,25	Arcilla limo arenosa (maicillo), color gris con tonalidad verdosa, plasticidad baja, humedad media a baja, estructura homogénea, consistencia dura, textura suave.
-	14,82 - 15,05	0,23	Limo arenoso de baja plasticidad (maicillo) , color café claro, humedad media, estructura homogénea, consistencia dura, textura suave.
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	

**OBSERVACIONES**

- Boleta N° 24911-24912 / Código de obra: 268012 / Correlativo: 15

**Reinaldo Martínez P.**  
Jefe de sala



**Cristian Renaldo A.**  
Jefe de Unidad

**INFORME DE ENSAYO AUTOCONTROL DGL-USU N° 268.012  
UNIDAD DE MECÁNICA DE SUELOS**

**CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

Concepción, 27 de Junio de 2019

Ciente	: CONSTRUCTORA 3S SPA
Dirección	: LAS VIOLETAS 1875, N°454, HUERTOS FAMILIARES, SAN PEDRO DE LA PAZ
Destinatario	: PABLO SANZANA JARA
Proyecto/Obra	: LA SEÑORAZA, LAJA
Ubicación/Ciudad	: LAJA
Propietario	: -
Constructor	: -

**NORMAS / MÉTODOS DE REFERENCIA**

MC-V8 8.102.1-2016; NCh 1515.Of-1979; NCh 1517/1-2.Of-1979; NCh 1532.Of-1980; ASTM D 2487-2011; ASTM D 3282-2015

**IDENTIFICACIÓN ÍTEM DE ENSAYO**

Id. Muestra	: M-31567,S-1, COTAS: 1,63-2,08m.
Material (Inspección Visual)	: ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD      Ítem : -

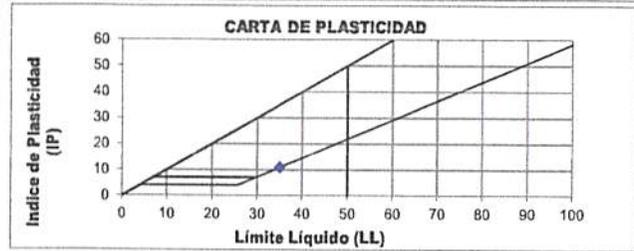
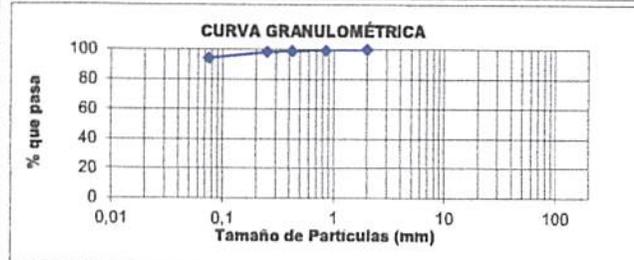
**MUESTREO Y FECHAS ENSAYOS**

Muestreo realizado por	: CLIENTE	Lugar de Muestreo	: S-1
Plan de Muestreo	: CLIENTE INDICÓ CANT. MUESTRAS	Proc. de muestreo	: CLIENTE INDICÓ UBICACIÓN
Fecha de recepción	: 21-6-2019		

Granulometría	: 24-06-2019	Término ensayo	: 25-06-2019
Den. Part Sólidas	: 24-06-2019		: 24-06-2019
Humedad	: 21-06-2019		: 24-06-2019
Límite Líquido	: 24-06-2019		: 25-06-2019
Límite Plástico	: 24-06-2019		: 25-06-2019

**RESULTADOS ENSAYOS**

TAMICES ASTM	Abertura (mm)	% que pasa
6"	150,0	
4"	100,0	
3"	80,0	
2 1/2"	63,0	
2"	50,0	
1 1/2"	37,5	
1"	25,0	
3/4"	19,0	
3/8"	9,50	
N° 4	4,75	
N° 10	2,00	100
N° 20	0,85	99
N° 40	0,425	99
N° 60	0,250	98
N° 200	0,075	94
Límite Líquido		35
Límite Plástico		24
Índice de Plasticidad		11
Dens. Partículas Sólidas (g/cm³)		2,60
Humedad Natural (%)		33,7
(*) Clasificación AASHTO		A-6(11)
(*) Clasificación USCS		CL



Arcilla de baja plasticidad

Nota: Los antecedentes que se indican en el presente informe han sido proporcionados por el cliente. Este informe no debe ser reproducido excepto en su totalidad, sin la autorización escrita de IDIEM. Para el ensayo de límite líquido, el tipo de acanalador implementado es el ASTM y el método usado es el mecánico. (\*) Este ensayo se encuentra fuera del alcance de la acreditación LE 500. El presente informe sólo se refiere a los resultados de ensayos de muestras proporcionadas por el solicitante; en ningún caso avala la información correspondiente a la obra.

**OBSERVACIONES**

- Boleta N° 24911 / Código de obra: 268012 / Correlativo: 1

**Reinaldo Martínez P.**  
Jefe de Sala



**Cristian Peñailillo A.**  
Jefe de Unidad

## INFORME DE ENSAYO AUTOCONTROL DGL-USU N° 268.013 UNIDAD DE MECÁNICA DE SUELOS

### CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Concepción, 27 de Junio de 2019

Cliente	: CONSTRUCTORA 3S SPA
Dirección	: LAS VIOLETAS 1875, N°454, HUERTOS FAMILIARES, SAN PEDRO DE LA PAZ
Destinatario	: PABLO SANZANA JARA
Proyecto/Obra	: LA SEÑORAZA, LAJA
Ciudad	: LAJA
Propietario	: -
Constructor	: -

### NORMAS / MÉTODOS DE REFERENCIA

MC-V8 8.102.1-2016; NCh 1515.Of-1979; NCh 1517/1-2.Of-1979; NCh 1532.Of-1980; ASTM D 2487-2011; ASTM D 3282-2015

### IDENTIFICACIÓN ÍTEM DE ENSAYO

Id. Muestra	: M-31568,S-1, COTAS: 2,62-3,07m.
Material (Inspección Visual)	: ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD Item : -

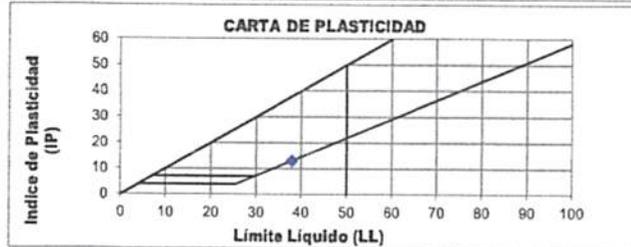
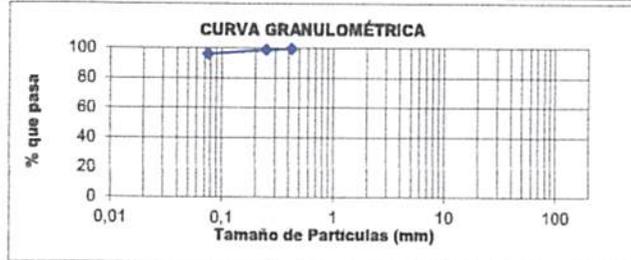
### MUESTREO Y FECHAS ENSAYOS

Muestreo realizado por	: CLIENTE	Lugar de Muestreo	: S-1
Plan de Muestreo	: CLIENTE INDICÓ CANT. MUESTRAS	Proc. de muestreo	: CLIENTE INDICÓ UBICACIÓN
Fecha de recepción	: 21-6-2019		

	Inicio ensayo	Término ensayo
Granulometría	: 24-06-2019	25-06-2019
Den. Part Sólidas	: 24-06-2019	24-06-2019
Humedad	: 21-06-2019	24-06-2019
Límite Líquido	: 24-06-2019	25-06-2019
Límite Plástico	: 24-06-2019	25-06-2019

### RESULTADOS ENSAYOS

TAMICES ASTM	Abertura (mm)	% que pasa
6"	150,0	
4"	100,0	
3"	80,0	
2 1/2"	63,0	
2"	50,0	
1 1/2"	37,5	
1"	25,0	
3/4"	19,0	
3/8"	9,50	
N° 4	4,75	
N° 10	2,00	
N° 20	0,85	
N° 40	0,425	100
N° 60	0,250	99
N° 200	0,075	96
Límite Líquido		38
Límite Plástico		25
Índice de Plasticidad		13
Dens. Partículas Sólidas (g/cm <sup>3</sup> )		2,62
Humedad Natural (%)		34,5
(*) Clasificación AASHTO		A-6(14)
(*) Clasificación USCS		ML



Limo de baja plasticidad

Nota: Los antecedentes que se indican en el presente informe han sido proporcionados por el cliente. Este informe no debe ser reproducido excepto en su totalidad, sin la autorización escrita de IDIEM. Para el ensayo de límite líquido, el tipo de acanalador implementado es el ASTM y el método usado es el mecánico. (\*) Este ensayo se encuentra fuera del alcance de la acreditación LE 500. El presente informe sólo se refiere a los resultados de ensayos de muestras proporcionadas por el solicitante; en ningún caso avala la información correspondiente a la obra.

### OBSERVACIONES

- Boleta N° 24911 / Código de obra: 268012 / Correlativo: 2

**Reinaldo Martínez P.**  
Jefe de Sala



**Cristian Peñailillo A.**  
Jefe de Unidad

**INFORME DE ENSAYO AUTOCONTROL DGL-USU N° 268.014**  
**UNIDAD DE MECÁNICA DE SUELOS**

**CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

Concepción, 27 de Junio de 2019

Cliente	: CONSTRUCTORA 3S SPA
Dirección	: LAS VIOLETAS 1875, N°454, HUERTOS FAMILIARES, SAN PEDRO DE LA PAZ
Destinatario	: PABLO SANZANA JARA
Proyecto/Obra	: LA SEÑORAZA, LAJA
Ciudad	: LAJA
Propietario	: -
Constructor	: -

**NORMAS / MÉTODOS DE REFERENCIA**

MC-V8 8.102.1-2016; NCh 1515.Of-1979; NCh 1517/1-2.Of-1979; NCh 1532.Of-1980; ASTM D 2487-2011; ASTM D 3282-2015

**IDENTIFICACIÓN ÍTEM DE ENSAYO**

Id. Muestra	: M-31569,S-1, COTAS: 3,59-4,04m.
Material (Inspección Visual)	: ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD      Ítem : -

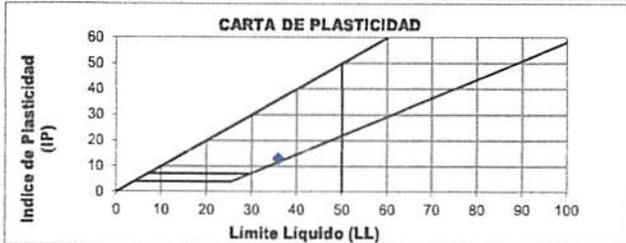
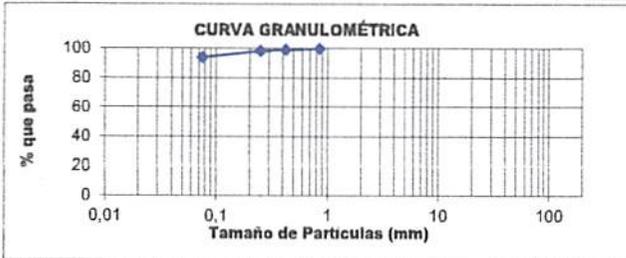
**MUESTREO Y FECHAS ENSAYOS**

Muestreo realizado por	: CLIENTE	Lugar de Muestreo	: S-1
Plan de Muestreo	: CLIENTE INDICÓ CANT. MUESTRAS	Proc. de muestreo	: CLIENTE INDICÓ UBICACIÓN
Fecha de recepción	: 21-6-2019	Inicio ensayo	: 24-06-2019
		Término ensayo	: 25-06-2019

**RESULTADOS ENSAYOS**

TAMICES ASTM	Abertura (mm)	% que pasa
6"	150,0	
4"	100,0	
3"	80,0	
2 1/2"	63,0	
2"	50,0	
1 1/2"	37,5	
1"	25,0	
3/4"	19,0	
3/8"	9,50	
N° 4	4,75	
N° 10	2,00	
N° 20	0,85	100
N° 40	0,425	99
N° 60	0,250	98
N° 200	0,075	94
Límite Líquido		36
Límite Plástico		23
Índice de Plasticidad		13
Dens. Partículas Sólidas (g/cm <sup>3</sup> )		2,58
Humedad Natural (%)		33,5
(*) Clasificación AASHTO		A-6(13)
(*) Clasificación USCS		CL

Granulometría	: 24-06-2019	25-06-2019
Den. Part Sólidas	: 24-06-2019	24-06-2019
Humedad	: 21-06-2019	24-06-2019
Límite Líquido	: 24-06-2019	25-06-2019
Límite Plástico	: 24-06-2019	25-06-2019



Arcilla de baja plasticidad

Nota: Los antecedentes que se indican en el presente informe han sido proporcionados por el cliente. Este informe no debe ser reproducido excepto en su totalidad, sin la autorización escrita de IDIEM. Para el ensayo de límite líquido, el tipo de acanalador implementado es el ASTM y el método usado es el mecánico. (\*) Este ensayo se encuentra fuera del alcance de la acreditación LE 500. El presente informe sólo se refiere a los resultados de ensayos de muestras proporcionadas por el solicitante; en ningún caso avala la información correspondiente a la obra.

**OBSERVACIONES**

- Boleta N° 24911 / Código de obra: 268012 / Correlativo: 3

**Reinaldo Martínez P.**  
Jefe de Sala



**Cristian Peñailillo A.**  
Jefe de Unidad

**INFORME DE ENSAYO AUTOCONTROL DGL-USU N° 268.015  
UNIDAD DE MECÁNICA DE SUELOS**

**CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

Concepción, 27 de Junio de 2019

Ciente	: CONSTRUCTORA 3S SPA
Dirección	: LAS VIOLETAS 1875, N°454, HUERTOS FAMILIARES, SAN PEDRO DE LA PAZ
Destinatario	: PABLO SANZANA JARA
Proyecto/Obra	: LA SEÑORAZA, LAJA
Ciudad	: LAJA
Propietario	: -
Constructor	: -

**NORMAS / MÉTODOS DE REFERENCIA**

MC-V8 8.102.1-2016; NCh 1515.Of-1979; NCh 1517/1-2.Of-1979; NCh 1532.Of-1980; ASTM D 2487-2011; ASTM D 3282-2015

**IDENTIFICACIÓN ÍTEM DE ENSAYO**

Id. Muestra	: M-31570,S-1, COTAS: 4,60-5,05m.
Material (Inspección Visual)	: ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD Item : -

**MUESTREO Y FECHAS ENSAYOS**

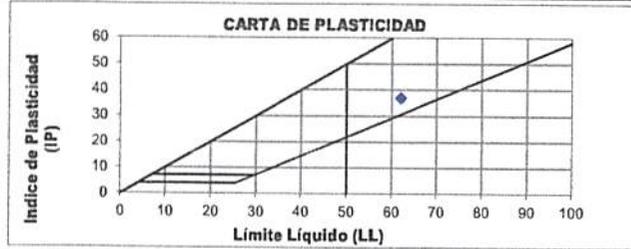
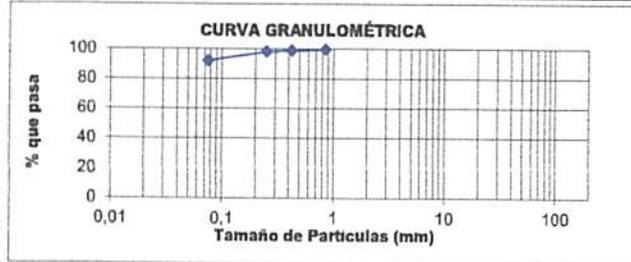
Muestreo realizado por	: CLIENTE	Lugar de Muestreo	: S-1
Plan de Muestreo	: CLIENTE INDICÓ CANT. MUESTRAS	Proc. de muestreo	: CLIENTE INDICÓ UBICACIÓN
Fecha de recepción	: 21-6-2019		

	Inicio ensayo	Término ensayo
Granulometría	: 24-06-2019	25-06-2019
Den. Part Sólidas	: 24-06-2019	24-06-2019
Humedad	: 21-06-2019	24-06-2019
Límite Líquido	: 21-06-2019	24-06-2019
Límite Plástico	: 21-06-2019	24-06-2019

**RESULTADOS ENSAYOS**

TAMICES ASTM	Abertura (mm)	% que pasa
6"	150,0	
4"	100,0	
3"	80,0	
2 1/2"	63,0	
2"	50,0	
1 1/2"	37,5	
1"	25,0	
3/4"	19,0	
3/8"	9,50	
N° 4	4,75	
N° 10	2,00	
N° 20	0,85	100
N° 40	0,425	99
N° 60	0,250	98
N° 200	0,075	92

Límite Líquido	62
Límite Plástico	25
Índice de Plasticidad	37
Dens. Partículas Sólidas (g/cm <sup>3</sup> )	2,64
Humedad Natural (%)	35,7
(*) Clasificación AASHTO	A-7-6(39)
(*) Clasificación USCS	CH



Arcilla de alta plasticidad

Nota: Los antecedentes que se indican en el presente informe han sido proporcionados por el cliente. Este informe no debe ser reproducido excepto en su totalidad, sin la autorización escrita de IDIEM. Para el ensayo de límite líquido, el tipo de acanalador implementado es el ASTM y el método usado es el mecánico. (\*) Este ensayo se encuentra fuera del alcance de la acreditación LE 500. El presente informe sólo se refiere a los resultados de ensayos de muestras proporcionadas por el solicitante; en ningún caso avala la información correspondiente a la obra.

**OBSERVACIONES**

- Boleta N° 24911 / Código de obra: 268012 / Correlativo: 4

**Reinaldo Martínez P.**  
Jefe de Sala



**Cristian Peñailillo A.**  
Jefe de Unidad

**INFORME DE ENSAYO AUTOCONTROL DGL-USU N° 268.016**  
**UNIDAD DE MECÁNICA DE SUELOS**

**CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

Concepción, 27 de Junio de 2019

Cliente	: CONSTRUCTORA 3S SPA
Dirección	: LAS VIOLETAS 1875, N°454, HUERTOS FAMILIARES, SAN PEDRO DE LA PAZ
Destinatario	: PABLO SANZANA JARA
Proyecto/Obra	: LA SEÑORAZA, LAJA
Ciudad	: LAJA
Propietario	: -
Constructor	: -

**NORMAS / MÉTODOS DE REFERENCIA**

MC-V8 8.102.1-2016; NCh 1515.Of-1979; NCh 1517/1-2.Of-1979; NCh 1532.Of-1980; ASTM D 2487-2011; ASTM D 3282-2015

**IDENTIFICACIÓN ÍTEM DE ENSAYO**

Id. Muestra	: M-31571,S-1, COTAS: 5,55-6,00m.
Material (Inspección Visual)	: ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD      Ítem : -

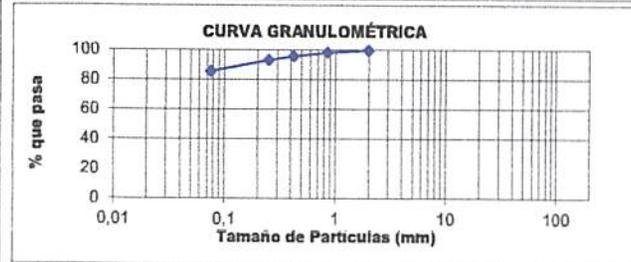
**MUESTREO Y FECHAS ENSAYOS**

Muestreo realizado por	: CLIENTE	Lugar de Muestreo	: S-1
Plan de Muestreo	: CLIENTE INDICÓ CANT. MUESTRAS	Proc. de muestreo	: CLIENTE INDICÓ UBICACIÓN
Fecha de recepción	: 21-6-2019		

Granulometría	: 24-06-2019	Término ensayo	: 25-06-2019
Den. Part Sólidas	: 24-06-2019		: 24-06-2019
Humedad	: 21-06-2019		: 24-06-2019
Límite Líquido	: 24-06-2019		: 25-06-2019
Límite Plástico	: 24-06-2019		: 25-06-2019

**RESULTADOS ENSAYOS**

TAMICES ASTM	Abertura (mm)	% que pasa
6"	150,0	
4"	100,0	
3"	80,0	
2 1/2"	63,0	
2"	50,0	
1 1/2"	37,5	
1"	25,0	
3/4"	19,0	
3/8"	9,50	
N° 4	4,75	
N° 10	2,00	100
N° 20	0,85	98
N° 40	0,425	96
N° 60	0,250	93
N° 200	0,075	86
Límite Líquido		36
Límite Plástico		20
Índice de Plasticidad		16
Dens. Partículas Sólidas (g/cm <sup>3</sup> )		2,57
Humedad Natural (%)		26,4
(*) Clasificación AASHTO		A-6(13)
(*) Clasificación USCS		CL



Arcilla de baja plasticidad

Nota: Los antecedentes que se indican en el presente informe han sido proporcionados por el cliente. Este informe no debe ser reproducido excepto en su totalidad, sin la autorización escrita de IDIEM. Para el ensayo de límite líquido, el tipo de acanalador implementado es el ASTM y el método usado es el mecánico. (\*) Este ensayo se encuentra fuera del alcance de la acreditación LE 500. El presente informe sólo se refiere a los resultados de ensayos de muestras proporcionadas por el solicitante; en ningún caso avala la información correspondiente a la obra.

**OBSERVACIONES**

- Boleta N° 24911 / Código de obra: 268012 / Correlativo: 5

**Reinaldo Martínez P.**  
 Jefe de Sala



**Cristian Peñailillo A.**  
 Jefe de Unidad

**INFORME DE ENSAYO AUTOCONTROL DGL-USU N° 268.017**  
**UNIDAD DE MECÁNICA DE SUELOS**

**CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

Concepción, 27 de Junio de 2019

Cliente	: CONSTRUCTORA 3S SPA
Dirección	: LAS VIOLETAS 1875, N°454, HUERTOS FAMILIARES, SAN PEDRO DE LA PAZ
Destinatario	: PABLO SANZANA JARA
Proyecto/Obra	: LA SEÑORAZA, LAJA
Ciudad	: LAJA
Propietario	: -
Constructor	: -

**NORMAS / MÉTODOS DE REFERENCIA**

MC-V8 8.102.1-2016; NCh 1515.Of-1979; NCh 1517/1-2.Of-1979; NCh 1532.Of-1980; ASTM D 2487-2011; ASTM D 3282-2015

**IDENTIFICACIÓN ÍTEM DE ENSAYO**

Id. Muestra	: M-31572,S-1, COTAS: 6,59-7,04m.
Material (Inspección Visual)	: ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD Item : -

**MUESTREO Y FECHAS ENSAYOS**

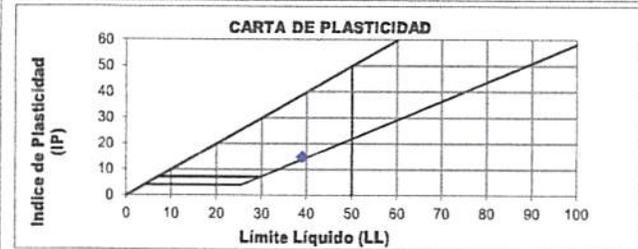
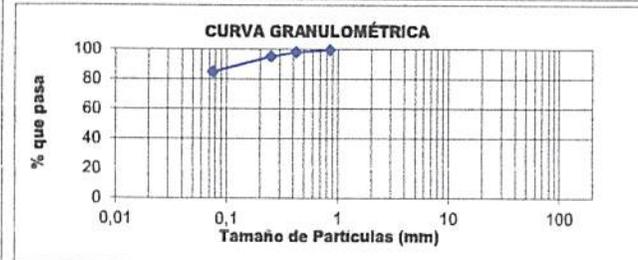
Muestreo realizado por	: CLIENTE	Lugar de Muestreo	: S-1
Plan de Muestreo	: CLIENTE INDICÓ CANT. MUESTRAS	Proc. de muestreo	: CLIENTE INDICÓ UBICACIÓN
Fecha de recepción	: 21-6-2019	Inicio ensayo	: 24-06-2019

Granulometría	: 24-06-2019	Término ensayo	: 25-06-2019
Den. Part Sólidas	: 24-06-2019		: 25-06-2019
Humedad	: 21-06-2019		: 24-06-2019
Límite Líquido	: 21-06-2019		: 24-06-2019
Límite Plástico	: 21-06-2019		: 24-06-2019

**RESULTADOS ENSAYOS**

TAMICES ASTM	Abertura (mm)	% que pasa
6"	150,0	
4"	100,0	
3"	80,0	
2 1/2"	63,0	
2"	50,0	
1 1/2"	37,5	
1"	25,0	
3/4"	19,0	
3/8"	9,50	
N° 4	4,75	
N° 10	2,00	
N° 20	0,85	100
N° 40	0,425	98
N° 60	0,250	95
N° 200	0,075	85

Límite Líquido	: 39
Límite Plástico	: 24
Índice de Plasticidad	: 15
Dens. Partículas Sólidas (g/cm <sup>3</sup> )	: 2,71
Humedad Natural (%)	: 25,8
(*) Clasificación AASHTO	: A-6(13)
(*) Clasificación USCS	: CL



Arcilla de baja plasticidad con arena

Nota: Los antecedentes que se indican en el presente informe han sido proporcionados por el cliente. Este informe no debe ser reproducido excepto en su totalidad, sin la autorización escrita de IDIEM. Para el ensayo de límite líquido, el tipo de acanalador implementado es el ASTM y el método usado es el mecánico. (\*) Este ensayo se encuentra fuera del alcance de la acreditación LE 500. El presente informe sólo se refiere a los resultados de ensayos de muestras proporcionadas por el solicitante; en ningún caso avala la información correspondiente a la obra.

**OBSERVACIONES**

- Boleta N° 24911 / Código de obra: 268012 / Correlativo: 6

**Reinaldo Martínez P.**  
 Jefe de Sala



**Cristian Peñailillo A.**  
 Jefe de Unidad

**INFORME DE ENSAYO AUTOCONTROL DGL-USU N° 268.018  
UNIDAD DE MECÁNICA DE SUELOS**

**CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

Concepción, 27 de Junio de 2019

Cliente	: CONSTRUCTORA 3S SPA
Dirección	: LAS VIOLETAS 1875, N°454, HUERTOS FAMILIARES, SAN PEDRO DE LA PAZ
Destinatario	: PABLO SANZANA JARA
Proyecto/Obra	: LA SEÑORAZA, LAJA
Ciudad	: LAJA
Propietario	: -
Constructor	: -

**NORMAS / MÉTODOS DE REFERENCIA**

MC-V8 8.102.1-2016; NCh 1515.Of-1979; NCh 1517/1-2.Of-1979; NCh 1532.Of-1980; ASTM D 2487-2011; ASTM D 3282-2015

**IDENTIFICACIÓN ÍTEM DE ENSAYO**

Id. Muestra	: M-31573,S-1, COTAS: 7,54-7,99m.
Material (Inspección Visual)	: ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD Item : -

**MUESTREO Y FECHAS ENSAYOS**

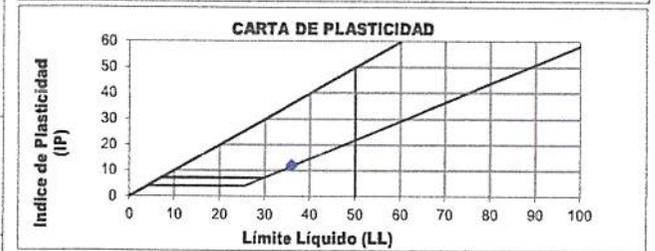
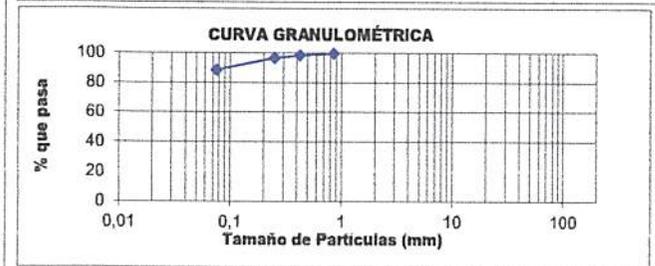
Muestreo realizado por	: CLIENTE	Lugar de Muestreo	: S-1
Plan de Muestreo	: CLIENTE INDICÓ CANT. MUESTRAS	Proc. de muestreo	: CLIENTE INDICÓ UBICACIÓN
Fecha de recepción	: 21-6-2019		

Granulometría	: 24-06-2019	Término ensayo	: 25-06-2019
Den. Part Sólidas	: 24-06-2019		: 25-06-2019
Humedad	: 21-06-2019		: 24-06-2019
Límite Líquido	: 24-06-2019		: 25-06-2019
Límite Plástico	: 24-06-2019		: 25-06-2019

**RESULTADOS ENSAYOS**

TAMICES ASTM	Abertura (mm)	% que pasa
6"	150,0	
4"	100,0	
3"	80,0	
2 1/2"	63,0	
2"	50,0	
1 1/2"	37,5	
1"	25,0	
3/4"	19,0	
3/8"	9,50	
N° 4	4,75	
N° 10	2,00	
N° 20	0,85	100
N° 40	0,425	98
N° 60	0,250	97
N° 200	0,075	89

Límite Líquido	: 36
Límite Plástico	: 24
Índice de Plasticidad	: 12
Dens. Partículas Sólidas (g/cm <sup>3</sup> )	: 2,70
Humedad Natural (%)	: 30,3
(*) Clasificación AASHTO	: A-6(11)
(*) Clasificación USCS	: CL



Arcilla de baja plasticidad

Nota: Los antecedentes que se indican en el presente informe han sido proporcionados por el cliente. Este informe no debe ser reproducido excepto en su totalidad, sin la autorización escrita de IDIEM. Para el ensayo de Límite Líquido, el tipo de acanalador implementado es el ASTM y el método usado es el mecánico. (\*) Este ensayo se encuentra fuera del alcance de la acreditación LE 500. El presente informe sólo se refiere a los resultados de ensayos de muestras proporcionadas por el solicitante; en ningún caso avala la información correspondiente a la obra.

**OBSERVACIONES**

- Boleta N° 24911 / Código de obra: 268012 / Correlativo: 7

**Reinaldo Martínez P.**  
Jefe de Sala



**Cristian Peñailillo A.**  
Jefe de Unidad

## INFORME DE ENSAYO AUTOCONTROL DGL-USU N° 268.019

### UNIDAD DE MECÁNICA DE SUELOS

#### CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Concepción, 27 de Junio de 2019

Cliente	: CONSTRUCTORA 3S SPA
Dirección	: LAS VIOLETAS 1875, N°454, HUERTOS FAMILIARES, SAN PEDRO DE LA PAZ
Destinatario	: PABLO SANZANA JARA
Proyecto/Obra	: LA SEÑORAZA, LAJA
Ciudad	: LAJA
Propietario	: -
Constructor	: -

#### NORMAS / MÉTODOS DE REFERENCIA

MC-V8 8.102.1-2016; NCh 1515.Of-1979; NCh 1517/1-2.Of-1979; NCh 1532.Of-1980; ASTM D 2487-2011; ASTM D 3282-2015

#### IDENTIFICACIÓN ÍTEM DE ENSAYO

Id. Muestra	: M-31574,S-1, COTAS: 8,53-8,98m.
Material (Inspección Visual)	: ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD CON ALGO DE GRAVA Y ARENA
Item	: -

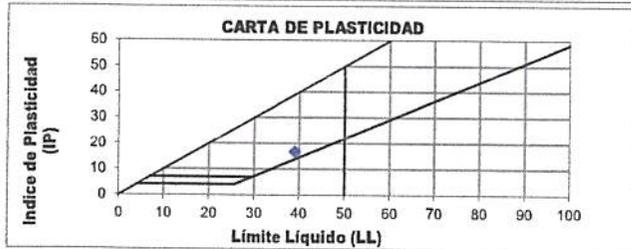
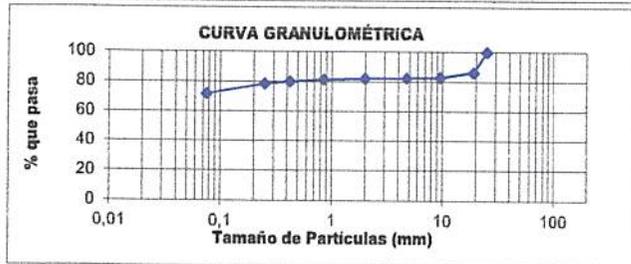
#### MUESTREO Y FECHAS ENSAYOS

Muestreo realizado por	: CLIENTE	Lugar de Muestreo	: S-1
Plan de Muestreo	: CLIENTE INDICÓ CANT. MUESTRAS	Proc. de muestreo	: CLIENTE INDICÓ UBICACIÓN
Fecha de recepción	: 21-6-2019	Inicio ensayo	: 24-06-2019
		Término ensayo	: 25-06-2019

#### RESULTADOS ENSAYOS

TAMICES ASTM	Abertura (mm)	% que pasa
6"	150,0	
4"	100,0	
3"	80,0	
2 1/2"	63,0	
2"	50,0	
1 1/2"	37,5	
1"	25,0	100
3/4"	19,0	86
3/8"	9,50	83
N° 4	4,75	83
N° 10	2,00	82
N° 20	0,85	81
N° 40	0,425	80
N° 60	0,250	79
N° 200	0,075	72
Límite Líquido		39
Límite Plástico		22
Índice de Plasticidad		17
Dens. Partículas Sólidas (g/cm <sup>3</sup> )		2,71
Humedad Natural (%)		26,0
(*) Clasificación AASHTO		A-6(11)
(*) Clasificación USCS		CL

Granulometría	: 24-06-2019	25-06-2019
Den. Part Sólidas	: 24-06-2019	25-06-2019
Humedad	: 21-06-2019	24-06-2019
Límite Líquido	: 21-06-2019	24-06-2019
Límite Plástico	: 21-06-2019	24-06-2019



Arcilla de baja plasticidad con grava

Nota: Los antecedentes que se indican en el presente informe han sido proporcionados por el cliente. Este informe no debe ser reproducido excepto en su totalidad, sin la autorización escrita de IDIEM. Para el ensayo de límite líquido, el tipo de acanalador implementado es el ASTM y el método usado es el mecánico. (\*) Este ensayo se encuentra fuera del alcance de la acreditación LE 500. El presente informe sólo se refiere a los resultados de ensayos de muestras proporcionadas por el solicitante; en ningún caso avala la información correspondiente a la obra.

#### OBSERVACIONES

- Boleta N° 24911 / Código de obra: 268012 / Correlativo: 8

**Reinaldo Martínez P.**  
Jefe de Sala



**Cristian Peñailillo A.**  
Jefe de Unidad

**INFORME DE ENSAYO AUTOCONTROL DGL-USU N° 268.020**  
**UNIDAD DE MECÁNICA DE SUELOS**

**CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

Concepción, 27 de Junio de 2019

Cliente	: CONSTRUCTORA 3S SPA
Dirección	: LAS VIOLETAS 1875, N°454, HUERTOS FAMILIARES, SAN PEDRO DE LA PAZ
Destinatario	: PABLO SANZANA JARA
Proyecto/Obra	: LA SEÑORAZA, LAJA
Ciudad	: LAJA
Propietario	: -
Constructor	: -

**NORMAS / MÉTODOS DE REFERENCIA**

MC-V8 8.102.1-2016; NCh 1515.Of-1979; NCh 1517/1-2.Of-1979; NCh 1532.Of-1980; ASTM D 2487-2011; ASTM D 3282-2015

**IDENTIFICACIÓN ÍTEM DE ENSAYO**

Id. Muestra	: M-31575,S-1, COTAS: 9,57-10,2m.	Item	: -
Material (Inspección Visual)	: LIMO DE BAJA PLASTICIDAD CON GRAVA		
	: DISPERSA		

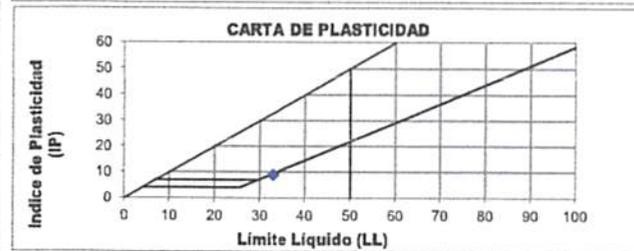
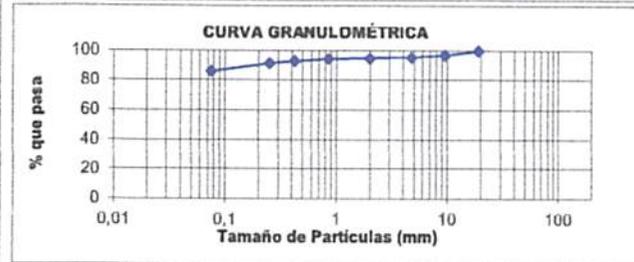
**MUESTREO Y FECHAS ENSAYOS**

Muestreo realizado por	: CLIENTE	Lugar de Muestreo	: S-1
Plan de Muestreo	: CLIENTE INDICÓ CANT. MUESTRAS	Proc. de muestreo	: CLIENTE INDICÓ UBICACIÓN
Fecha de recepción	: 21-6-2019		

	Inicio ensayo	Término ensayo
Granulometría :	24-06-2019	25-06-2019
Den. Part Sólidas :	24-06-2019	25-06-2019
Humedad :	21-06-2019	24-06-2019
Límite Líquido :	24-06-2019	25-06-2019
Límite Plástico :	24-06-2019	25-06-2019

**RESULTADOS ENSAYOS**

TAMICES ASTM	Abertura (mm)	% que pasa
6"	150,0	
4"	100,0	
3"	80,0	
2 1/2"	63,0	
2"	50,0	
1 1/2"	37,5	
1"	25,0	
3/4"	19,0	100
3/8"	9,50	97
N° 4	4,75	96
N° 10	2,00	95
N° 20	0,85	94
N° 40	0,425	93
N° 60	0,250	92
N° 200	0,075	86
Límite Líquido		33
Límite Plástico		24
Índice de Plasticidad		9
Dens. Partículas Sólidas (g/cm <sup>3</sup> )		2,70
Humedad Natural (%)		23,8
(*) Clasificación AASHTO		A-4(8)
(*) Clasificación USCS		ML



Nota: Los antecedentes que se indican en el presente informe han sido proporcionados por el cliente. Este informe no debe ser reproducido excepto en su totalidad, sin la autorización escrita de IDIEM. Para el ensayo de límite líquido, el tipo de acanalador implementado es el ASTM y el método usado es el mecánico. (\*) Este ensayo se encuentra fuera del alcance de la acreditación LE 500. El presente informe sólo se refiere a los resultados de ensayos de muestras proporcionadas por el solicitante; en ningún caso avala la información correspondiente a la obra.

**OBSERVACIONES**

- Boleta N° 24911 / Código de obra: 268012 / Correlativo: 9

**Reinaldo Martínez P.**  
Jefe de Sala



**Cristian Peñailillo A.**  
Jefe de Unidad

**INFORME DE ENSAYO AUTOCONTROL DGL-USU N° 268.021**  
**UNIDAD DE MECÁNICA DE SUELOS**

**CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

Concepción, 27 de Junio de 2019

Ciente	: CONSTRUCTORA 3S SPA
Dirección	: LAS VIOLETAS 1875, N°454, HUERTOS FAMILIARES, SAN PEDRO DE LA PAZ
Destinatario	: PABLO SANZANA JARA
Proyecto/Obra	: LA SEÑORAZA, LAJA
Ciudad	: LAJA
Propietario	: -
Constructor	: -

**NORMAS / MÉTODOS DE REFERENCIA**

MC-V8 8.102.1-2016; NCh 1515.Of-1979; NCh 1517/1-2.Of-1979; NCh 1532.Of-1980; ASTM D 2487-2011; ASTM D 3282-2015

**IDENTIFICACIÓN ÍTEM DE ENSAYO**

Id. Muestra	: M-31576,S-1, COTAS: 10-56-11-01m
Material (Inspección Visual)	: LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD Item : -

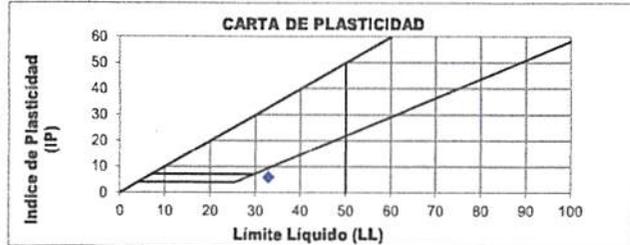
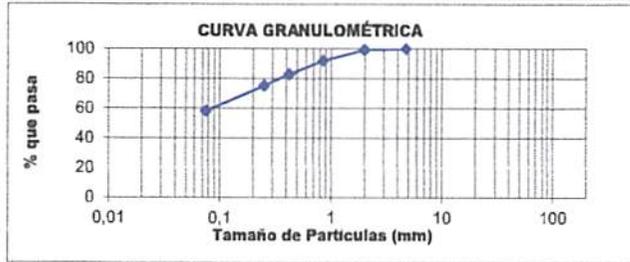
**MUESTREO Y FECHAS ENSAYOS**

Muestreo realizado por	: CLIENTE	Lugar de Muestreo	: S-1
Plan de Muestreo	: CLIENTE INDICÓ CANT. MUESTRAS	Proc. de muestreo	: CLIENTE INDICÓ UBICACIÓN
Fecha de recepción	: 21-6-2019	Inicio ensayo	: 24-06-2019

Granulometría	: 24-06-2019	Término ensayo	: 25-06-2019
Den. Part Sólidas	: 24-06-2019		: 25-06-2019
Humedad	: 21-06-2019		: 24-06-2019
Límite Líquido	: 24-06-2019		: 25-06-2019
Límite Plástico	: 24-06-2019		: 25-06-2019

**RESULTADOS ENSAYOS**

TAMICES ASTM	Abertura (mm)	% que pasa
6"	150,0	
4"	100,0	
3"	80,0	
2 1/2"	63,0	
2"	50,0	
1 1/2"	37,5	
1"	25,0	
3/4"	19,0	
3/8"	9,50	
N° 4	4,75	100
N° 10	2,00	99
N° 20	0,85	92
N° 40	0,425	83
N° 60	0,250	76
N° 200	0,075	58
Límite Líquido		33
Límite Plástico		27
Índice de Plasticidad		6
Dens. Partículas Sólidas (g/cm <sup>3</sup> )		2,74
Humedad Natural (%)		22,4
(*) Clasificación AASHTO		A-4(2)
(*) Clasificación USCS		ML



Limo arenoso de baja plasticidad

Nota: Los antecedentes que se indican en el presente informe han sido proporcionados por el cliente. Este informe no debe ser reproducido excepto en su totalidad, sin la autorización escrita de IDIEM. Para el ensayo de límite líquido, el tipo de acanalador implementado es el ASTM y el método usado es el mecánico. (\*) Este ensayo se encuentra fuera del alcance de la acreditación LE 500. El presente informe sólo se refiere a los resultados de ensayos de muestras proporcionadas por el solicitante; en ningún caso avala la información correspondiente a la obra.

**OBSERVACIONES**

- Boleta N° 24911 / Código de obra: 268012 / Correlativo: 10

**Reinaldo Martínez P.**  
Jefe de Sala



**Cristian Peñailillo A.**  
Jefe de Unidad

## INFORME DE ENSAYO AUTOCONTROL DGL-USU N° 268.022

### UNIDAD DE MECÁNICA DE SUELOS

#### CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Concepción, 27 de Junio de 2019

Cliente	: CONSTRUCTORA 3S SPA
Dirección	: LAS VIOLETAS 1875, N°454, HUERTOS FAMILIARES, SAN PEDRO DE LA PAZ
Destinatario	: PABLO SANZANA JARA
Proyecto/Obra	: LA SEÑORAZA, LAJA
Ciudad	: LAJA
Propietario	: -
Constructor	: -

#### NORMAS / MÉTODOS DE REFERENCIA

MC-V8 8.102.1-2016; NCh 1515.Of-1979; NCh 1517/1-2.Of-1979; NCh 1532.Of-1980; ASTM D 2487-2011; ASTM D 3282-2015

#### IDENTIFICACIÓN ÍTEM DE ENSAYO

Id. Muestra	: M-31577,S-1, COTAS: 11-59-12,04m
Material (Inspección Visual)	: LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD      Item : -

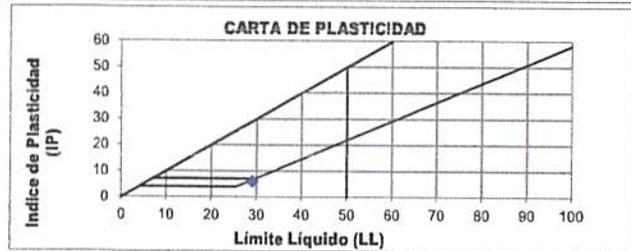
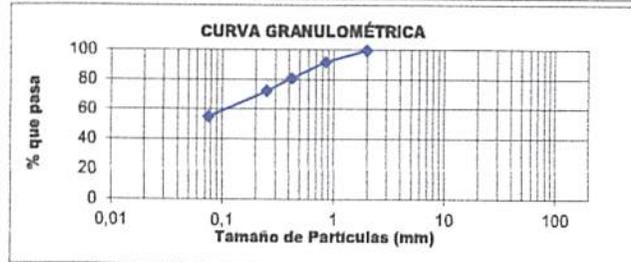
#### MUESTREO Y FECHAS ENSAYOS

Muestreo realizado por	: CLIENTE	Lugar de Muestreo	: S-1
Plan de Muestreo	: CLIENTE INDICÓ CANT. MUESTRAS	Proc. de muestreo	: CLIENTE INDICÓ UBICACIÓN
Fecha de recepción	: 21-6-2019	Inicio ensayo	: 24-06-2019

Granulometría	: 24-06-2019	Término ensayo	: 25-06-2019
Den. Part Sólidas	: 24-06-2019		: 25-06-2019
Humedad	: 21-06-2019		: 24-06-2019
Límite Líquido	: 24-06-2019		: 25-06-2019
Límite Plástico	: 24-06-2019		: 25-06-2019

#### RESULTADOS ENSAYOS

TAMICES ASTM	Abertura (mm)	% que pasa
6"	150,0	
4"	100,0	
3"	80,0	
2 1/2"	63,0	
2"	50,0	
1 1/2"	37,5	
1"	25,0	
3/4"	19,0	
3/8"	9,50	
N° 4	4,75	
N° 10	2,00	100
N° 20	0,85	92
N° 40	0,425	81
N° 60	0,250	72
N° 200	0,075	55
Límite Líquido		29
Límite Plástico		23
Índice de Plasticidad		6
Dens. Partículas Sólidas (g/cm <sup>3</sup> )		2,73
Humedad Natural (%)		18,7
(*) Clasificación AASHTO		A-4(1)
(*) Clasificación USCS		ML



Limo arenoso de baja plasticidad

Nota: Los antecedentes que se indican en el presente informe han sido proporcionados por el cliente. Este informe no debe ser reproducido excepto en su totalidad, sin la autorización escrita de IDIEM. Para el ensayo de límite líquido, el tipo de acanalador implementado es el ASTM y el método usado es el mecánico. (\*) Este ensayo se encuentra fuera del alcance de la acreditación LE 500. El presente informe sólo se refiere a los resultados de ensayos de muestras proporcionadas por el solicitante; en ningún caso avala la información correspondiente a la obra.

#### OBSERVACIONES

- Boleta N° 24911 / Código de obra: 268012 / Correlativo: 11

**Reinaldo Martínez P.**  
Jefe de Sala



**Cristian Peñailillo A.**  
Jefe de Unidad

**INFORME DE ENSAYO AUTOCONTROL DGL-USU N° 268.024**  
**UNIDAD DE MECÁNICA DE SUELOS**

**CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

Concepción, 27 de Junio de 2019

Cliente	: CONSTRUCTORA 3S SPA
Dirección	: LAS VIOLETAS 1875, N°454, HUERTOS FAMILIARES, SAN PEDRO DE LA PAZ
Destinatario	: PABLO SANZANA JARA
Proyecto/Obra	: LA SEÑORAZA, LAJA
Ciudad	: LAJA
Propietario	: -
Constructor	: -

**NORMAS / MÉTODOS DE REFERENCIA**

MC-V8 8.102.1-2016; NCh 1515.Of-1979; NCh 1517/1-2.Of-1979; NCh 1532.Of-1980; ASTM D 2487-2011; ASTM D 3282-2015

**IDENTIFICACIÓN ÍTEM DE ENSAYO**

Id. Muestra	: M-31579,S-1, COTAS: 13,56-13,83m
Material (Inspección Visual)	: LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD Item : -

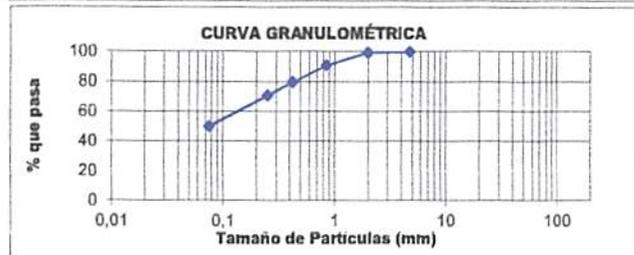
**MUESTREO Y FECHAS ENSAYOS**

Muestreo realizado por	: CLIENTE	Lugar de Muestreo	: S-1
Plan de Muestreo	: CLIENTE INDICÓ CANT. MUESTRAS	Proc. de muestreo	: CLIENTE INDICÓ UBICACIÓN
Fecha de recepción	: 21-6-2019	Inicio ensayo	: 24-06-2019

Granulometría	: 24-06-2019	Término ensayo	: 25-06-2019
Den. Part Sólidas	: 25-06-2019		: 25-06-2019
Humedad	: 21-06-2019		: 24-06-2019
Límite Líquido	: 24-06-2019		: 25-06-2019
Límite Plástico	: 24-06-2019		: 25-06-2019

**RESULTADOS ENSAYOS**

TAMICES ASTM	Abertura (mm)	% que pasa
6"	150,0	
4"	100,0	
3"	80,0	
2 1/2"	63,0	
2"	50,0	
1 1/2"	37,5	
1"	25,0	
3/4"	19,0	
3/8"	9,50	
N° 4	4,75	100
N° 10	2,00	99
N° 20	0,85	91
N° 40	0,425	80
N° 60	0,250	71
N° 200	0,075	50
Límite Líquido		27
Límite Plástico		23
Índice de Plasticidad		4
Dens. Partículas Sólidas (g/cm³)		2,73
Humedad Natural (%)		20,2
(*) Clasificación AASHTO		A-4(0)
(*) Clasificación USCS		ML



Limo arenoso de baja plasticidad

Nota: Los antecedentes que se indican en el presente informe han sido proporcionados por el cliente. Este informe no debe ser reproducido excepto en su totalidad, sin la autorización escrita de IDIEM. Para el ensayo de límite líquido, el tipo de acanalador implementado es el ASTM y el método usado es el mecánico. (\*) Este ensayo se encuentra fuera del alcance de la acreditación LE 500. El presente informe sólo se refiere a los resultados de ensayos de muestras proporcionadas por el solicitante; en ningún caso avala la información correspondiente a la obra.

**OBSERVACIONES**

- Boleta N° 24912 / Código de obra: 268012 / Correlativo: 13

**Reinaldo Martínez P.**  
 Jefe de Sala



**Cristian Peñailillo A.**  
 Jefe de Unidad

**INFORME DE ENSAYO AUTOCONTROL DGL-USU N° 268.025  
UNIDAD DE MECÁNICA DE SUELOS**

**CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

Concepción, 27 de Junio de 2019

Cliente	: CONSTRUCTORA 3S SPA
Dirección	: LAS VIOLETAS 1875, N°454, HUERTOS FAMILIARES, SAN PEDRO DE LA PAZ
Destinatario	: PABLO SANZANA JARA
Proyecto/Obra	: LA SEÑORAZA, LAJA
Ciudad	: LAJA
Propietario	: -
Constructor	: -

**NORMAS / MÉTODOS DE REFERENCIA**

MC-V8 8.102.1-2016; NCh 1515.Of-1979; NCh 1517/1-2.Of-1979; NCh 1532.Of-1980; ASTM D 2487-2011; ASTM D 3282-2015

**IDENTIFICACIÓN ÍTEM DE ENSAYO**

Id. Muestra	: M-31580,S-1, COTAS: 14,57-14,82m
Material (Inspección Visual)	: ARCILLA LIMO-ARENOSA Item : -

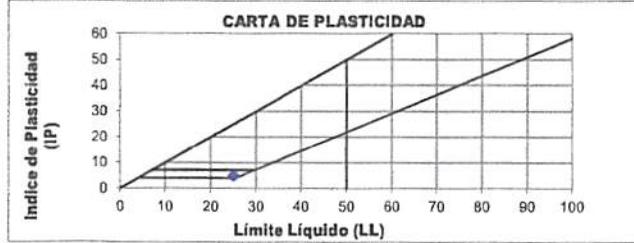
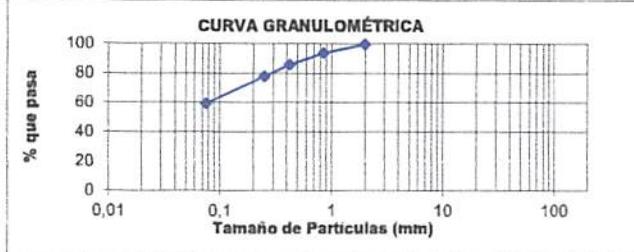
**MUESTREO Y FECHAS ENSAYOS**

Muestreo realizado por	: CLIENTE	Lugar de Muestreo	: S-1
Plan de Muestreo	: CLIENTE INDICÓ CANT. MUESTRAS	Proc. de muestreo	: CLIENTE INDICÓ UBICACIÓN
Fecha de recepción	: 21-6-2019		

	Inicio ensayo	Término ensayo
Granulometría	: 24-06-2019	25-06-2019
Den. Part Sólidas	: 25-06-2019	25-06-2019
Humedad	: 21-06-2019	24-06-2019
Límite Líquido	: 24-06-2019	25-06-2019
Límite Plástico	: 24-06-2019	25-06-2019

**RESULTADOS ENSAYOS**

TAMICES ASTM	Abertura (mm)	% que pasa
6"	150,0	
4"	100,0	
3"	80,0	
2 1/2"	63,0	
2"	50,0	
1 1/2"	37,5	
1"	25,0	
3/4"	19,0	
3/8"	9,50	
N° 4	4,75	
N° 10	2,00	100
N° 20	0,85	94
N° 40	0,425	86
N° 60	0,250	78
N° 200	0,075	59
Límite Líquido		25
Límite Plástico		20
Índice de Plasticidad		5
Dens. Partículas Sólidas (g/cm <sup>3</sup> )		2,75
Humedad Natural (%)		17,6
(*) Clasificación AASHTO		A-4(1)
(*) Clasificación USCS		CL-ML



Arcilla limo-arenosa

Nota: Los antecedentes que se indican en el presente informe han sido proporcionados por el cliente. Este informe no debe ser reproducido excepto en su totalidad, sin la autorización escrita de IDIEM. Para el ensayo de límite líquido, el tipo de acanalador implementado es el ASTM y el método usado es el mecánico. (\*) Este ensayo se encuentra fuera del alcance de la acreditación LE 500. El presente informe sólo se refiere a los resultados de ensayos de muestras proporcionadas por el solicitante; en ningún caso avala la información correspondiente a la obra.

**OBSERVACIONES**

- Boleta N° 24912 / Código de obra: 268012 / Correlativo: 14

**Reinaldo Martínez P.**  
Jefe de Sala



**Cristian Peñailillo A.**  
Jefe de Unidad

**ANEXO B**  
**INFORMES DE ENERGÍA TRANSMITIDA SPT**

# MEDICIÓN ENERGÍA TRANSFERIDA

## REVISIÓN A

INFORME N° 201902.04

# MEDICIÓN DE ENERGÍA TRANSFERIDA SPT

A	13/02/17		-
<b>REVISIÓN</b>	<b>FECHA</b>	<b>EMITIDO PARA</b>	<b>COMENTARIO</b>

---

PABLO SANZANA JARA  
INGENIERO CIVIL  
MAGISTER INGENIERÍA GEOTÉCNICA

Contenido

1	INTRODUCCIÓN .....	3
2	NORMALIZACIÓN DE VALORES DE N DEL SPT A $N_{60}$ .....	4
3	DESCRIPCIÓN DEL MARTINETE Y SISTEMA DE IZAJE UTILIZADO.....	5
4	ENSAYOS SPT EJECUTADOS.....	6
5	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE ENERGÍA REALIZADOS .....	6
6	CONCLUSIONES.....	7
	ANEXO A.....	8
	ANEXO B.....	10

## 1 INTRODUCCIÓN

Fueron solicitados ensayos de medición de energía para las pruebas de penetración estándar (SPT), como parte del programa de investigación geotécnica, con la finalidad de determinar la energía proporcionada por un equipo perforador de fabricación propia, el cual posee un SPT manual. Esta medición se realizó en un sitio ubicado la ciudad de Valdivia, Región de los Ríos (Figura 1).

Los ensayos de medición de energía fueron ejecutados con el equipo SPT Analyzer de la empresa Pile Dynamics Inc. (PDI). El cual cumple con lo establecido por la norma ASTM D4633-10 para la medición de la energía del ensayo SPT por el método de la medición de la fuerza y velocidad. La Fotografía N°1, Anexo I, muestra el equipo de SPT Analyzer utilizado.

Se debe recordar que la norma ASTM D1586-11 recomienda la medición de la energía en la ejecución de los ensayos SPT para normalizar el valor de N a N60. Sin embargo, la norma ASTM D6066-11 establece que si el objetivo es realizar análisis del potencial de licuación a partir del valor de N de los ensayos SPT, la medición de energía es obligatoria.

El objetivo de la presente, es informar los resultados de las mediciones de energía realizadas y determinar la eficiencia del martinete utilizado.



Figura 1: Ubicación de medición de energía SPT Analyzer.

## 2 NORMALIZACIÓN DE VALORES DE N DEL SPT A $N_{60}$ .

El ensayo SPT consiste en la introducción en el fondo de un sondeo geotécnico de un muestreador normalizado (tipo cuchara partida) unido a varillas de diámetro AW. Esto mediante el golpeo, en la cabeza de la varilla, de un martinete con una masa de 63,5 kg, el cual cae desde una altura de 76 cm. El golpeo se contabiliza en tres tramos de 15 cm de avance cada uno, totalizando 45 cm. Se denomina al valor N, a la suma del número de golpes de los últimos 30 cm de avance en el ensayo. El Método más común de izaje y caída del martinete de 63,5 kg es de tipo manual, el cual consiste principalmente de un sistema de poleas y cuerdas. Evidentemente la energía de golpeo que suministraba este método no corresponde al 100% de la energía teórica producto de una caída totalmente libre ( $E_t$ ), ya que las pérdidas producidas principalmente por rozamiento y operador que ejecuta el ensayo, además de otros factores, restan parte de la energía teóricamente disponible.

La energía teórica se establece a partir de:

$$\text{Ec 1:} \quad E_{(t)} = 63,5 \text{ kg} * 9.81 * 0.76 \text{ m} = 473 \text{ Nm} = 0,473 \text{ kN}$$

Si bien en la actualidad existen martinetes automáticos, estos anulan el efecto producido sólo del operador que ejecuta el ensayo, pero no de los rozamientos producidos en el sistema de izaje y caída. Sin embargo este tipo de martinete produce menores pérdidas de energía en comparación a matillos manuales.

Estudios históricos efectuados a lo largo del tiempo (Seed et al., 1985 y Skempton, 1986) han demostrado que la mayoría de los SPT realizados, desarrollan una energía del orden del 60% de la teórica. Por lo tanto, muchas correlaciones de parámetros de suelo han sido propuestas a partir de esta energía, lo que hace necesario normalizar los valores de N del SPT al  $N_{60}$ . De acuerdo a la Norma ASTM D6066-11, esta normalización puede ser ejecutada a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Ec 2:} \quad N_{60} = N * \frac{ETR}{0,60} = \frac{EMX}{0,60 * E_{(t)}}$$

Donde:

$N_{60}$ : Número de golpes de un martinete operando al 60% de eficiencia.

N: Numero de golpes de los últimos 30 cm de avance en el ensayo.

ETR: Proporción de energía transmitida, con respecto a la teórica.

EMX: Máxima energía transmitida, calculada a través de la medición de la fuerza y velocidad.

$E(t)$ : Energía teórica, producto de una caída totalmente libre.

### 3 DESCRIPCIÓN DEL MARTINETE Y SISTEMA DE IZAJE UTILIZADO

Como se ha indicado, fueron realizados ensayos de SPT con un martinete manual montado sobre una Maquina marca HF-3, este martinete es de fabricación propia, la figura N°2 muestra las características del equipo de SPT manual utilizado. Cabe precisar que la masa del martinete fue verificada en laboratorio IDIEM y altura de caída del sistema fue verificada durante la ejecución de los ensayos, por lo tanto, se considera que cumple con lo establecido en la norma ASTM 1586.



Figura 2: Maquina HF-3 y equipo SPT Analyzer.

#### 4 ENSAYOS SPT EJECUTADOS

La Tabla 1 muestra en resumen los ensayos de SPT realizados

Tabla1, Ensayos de SPT realizados

SPT	Profundidad (m)	N1	N2	N3
1	16.83	12	26	23
2	18.20	2	7	7
3	19.25	2	2	4
4	19.52	3	4	6
5	21.66	6	6	5

#### 5 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE ENERGÍA REALIZADOS

Los análisis de los datos fueron realizados con el software Pile Driving Analyzer Version 2016.125 y PDILOT2 Versión 2017.2.58.5. Los resultados se encuentran adjuntos en el Anexo II. La Tabla 2 muestra en resumen los resultados obtenidos. Cabe indicar que los valores indicados en esta tabla, corresponden a los de todas las lecturas realizadas en cada ensayo SPT.

SPT	Profundidad (m)	ETR (%)			
		Max	Min	Desviación Estándar	Promedio
1	16.83	91.1	7.5	4.2	82.9
2	18.20	79.5	57.0	6.3	66.0
5	19.25	88.3	67.3	7.8	76.6
6	19.52	81.5	72.9	3.2	75.6
7	21.66	95.3	76.6	5.8	87.7
<b>Valores Promedio</b>				<b>5.5</b>	<b>77.8</b>

Para la verificación de la calidad de los datos obtenidos, es necesario realizar un análisis de las curvas de velocidad y fuerza obtenido en cada ensayo. Donde se verifica la proporcionalidad de las curvas de velocidad y fuerza obtenidas mediante el siguiente procedimiento:

- Primero, se verifica la proporcionalidad de la curva de velocidad obtenida con el acelerómetro A3, con respecto a la curva de aceleración obtenida con el acelerómetro A4.
- Segundo, se verifica la proporcionalidad de la curva de fuerza obtenida del strain gage de deformación F1, con respecto a la curva de deformación obtenida con el strain gage de deformación F2.

- Tercero, se verifica que la proporcionalidad de la curva promedio de velocidad y fuerza.

De los análisis realizados, se observó que los ensayos SPT entregaron resultados de transferencia de energía aceptables, con un promedio de 77.8% y con una desviación estándar promedio de 5.5%. La proporcionalidad de las curvas de velocidad y fuerza fueron aceptables casi en la totalidad de los datos analizados, por lo que fueron utilizados en los análisis, de lo contrario tendrían que ser descartados.

Al calcular el valor de CE, que finalmente es el valor utilizado para hallar el N60, este tiene un rango de 1.21 a 1.38, con un valor promedio de 1.1.29 (77.8/60).

## 6 CONCLUSIONES

Luego del análisis desarrollado a los datos obtenidos en terreno, se puede concluir lo siguiente:

- El valor promedio de energía transmitida (ETR) para el equipo fue de **77.8%** con una desviación estándar promedio de **5.5%**.
- **Certificado valido por un año a partir de febrero de 2019.**

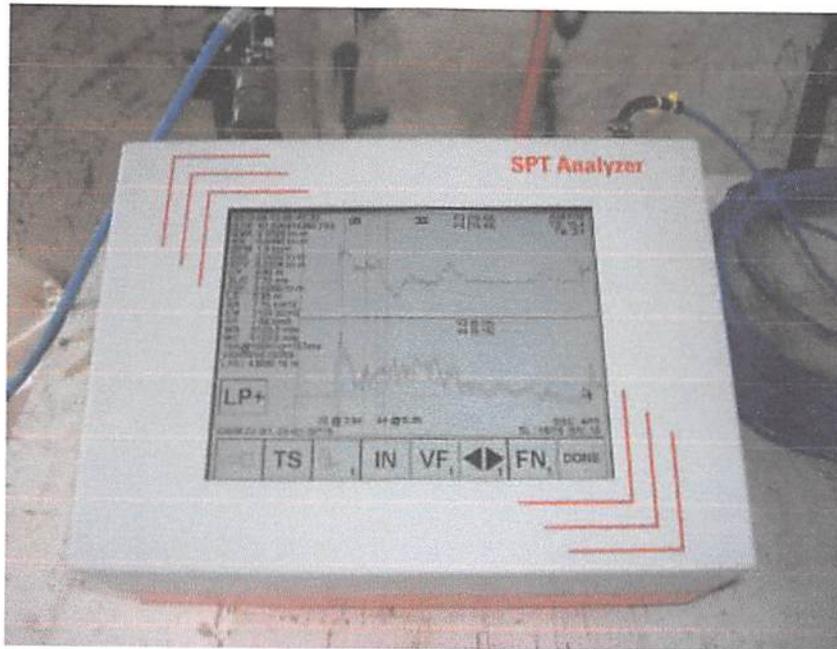
PABLO SANZANA JARA  
INGENIERO CIVIL  
ROL 3-1056

---

PABLO SANZANA JARA  
Ingeniero Civil  
Magister en Ingeniería Geotécnica

febrero de 2019

**ANEXO A**  
**PANEL FOTOGRAFICO**



Fotografía 1: equipo SPT Analyzer



Fotografía 2: barra con sensores de aceleración y deformación de equipo SPT Analyzer

**ANEXO B**  
**ANÁLISIS SPT ANALYZER**

PabloSanzana - spt\_1  
OP: Manuel Godoy

Date: 28-noviembre-2018

AR: 7.81 cm<sup>2</sup>

SP: 77.3 kN/m<sup>3</sup>

LE: 16.8 m

EM: 206,843 MPa

WS: 5,123.0 m/s

JC: 0.90

EMX: Maximum Energy

ETR: Energy Transfer Ratio - Rated

EFV: Maximum Energy

BL#	Depth m	BLC bl/m	TYPE	EMX J	EFV J	ETR (%)
3	0.2	13	AV3	380.5	380.5	80.2
			STD	8.7	8.7	1.8
			MAX	392.8	392.8	82.8
			MIN	373.4	373.4	78.7
6	0.6	7	AV1	432.3	432.3	91.1
			STD	0.0	0.0	0.0
			MAX	432.3	432.3	91.1
			MIN	432.3	432.3	91.1
9	1.1	7	AV2	395.5	395.5	83.3
			STD	11.4	11.4	2.4
			MAX	407.0	407.0	85.8
			MIN	384.1	384.1	80.9
10	1.2	7	AV1	377.5	377.5	79.6
			STD	0.0	0.0	0.0
			MAX	377.5	377.5	79.6
			MIN	377.5	377.5	79.6
15	2.0	7	AV3	400.1	400.1	84.3
			STD	7.6	7.6	1.6
			MAX	406.1	406.1	85.6
			MIN	389.3	389.3	82.0
21	2.9	7	AV3	402.8	402.8	84.9
			STD	6.7	6.7	1.4
			MAX	410.9	410.9	86.6
			MIN	394.5	394.5	83.1
22	3.0	7	AV1	378.2	378.2	79.7
			STD	0.0	0.0	0.0
			MAX	378.2	378.2	79.7
			MIN	378.2	378.2	79.7
26	3.6	7	AV1	348.7	348.7	73.5
			STD	0.0	0.0	0.0
			MAX	348.7	348.7	73.5
			MIN	348.7	348.7	73.5
41	5.9	7	AV2	398.1	398.1	83.9
			STD	23.6	23.6	5.0
			MAX	421.6	421.6	88.9
			MIN	374.5	374.5	78.9
43	6.0	13	AV1	410.5	410.5	86.5
			STD	0.0	0.0	0.0
			MAX	410.5	410.5	86.5

PabloSanzana - spt\_1  
OP: Manuel Godoy

Date: 28-noviembre-2018

BL#	Depth m	BLC bl/m	TYPE	EMX J	EFV J	ETR (%)
			MIN	410.5	410.5	86.5
			Average	393.6	393.6	82.9
			Std. Dev.	19.9	19.9	4.2
			Maximum	432.3	432.3	91.1
			Minimum	348.7	348.7	73.5

Total number of blows analyzed: 18

BL# Sensors

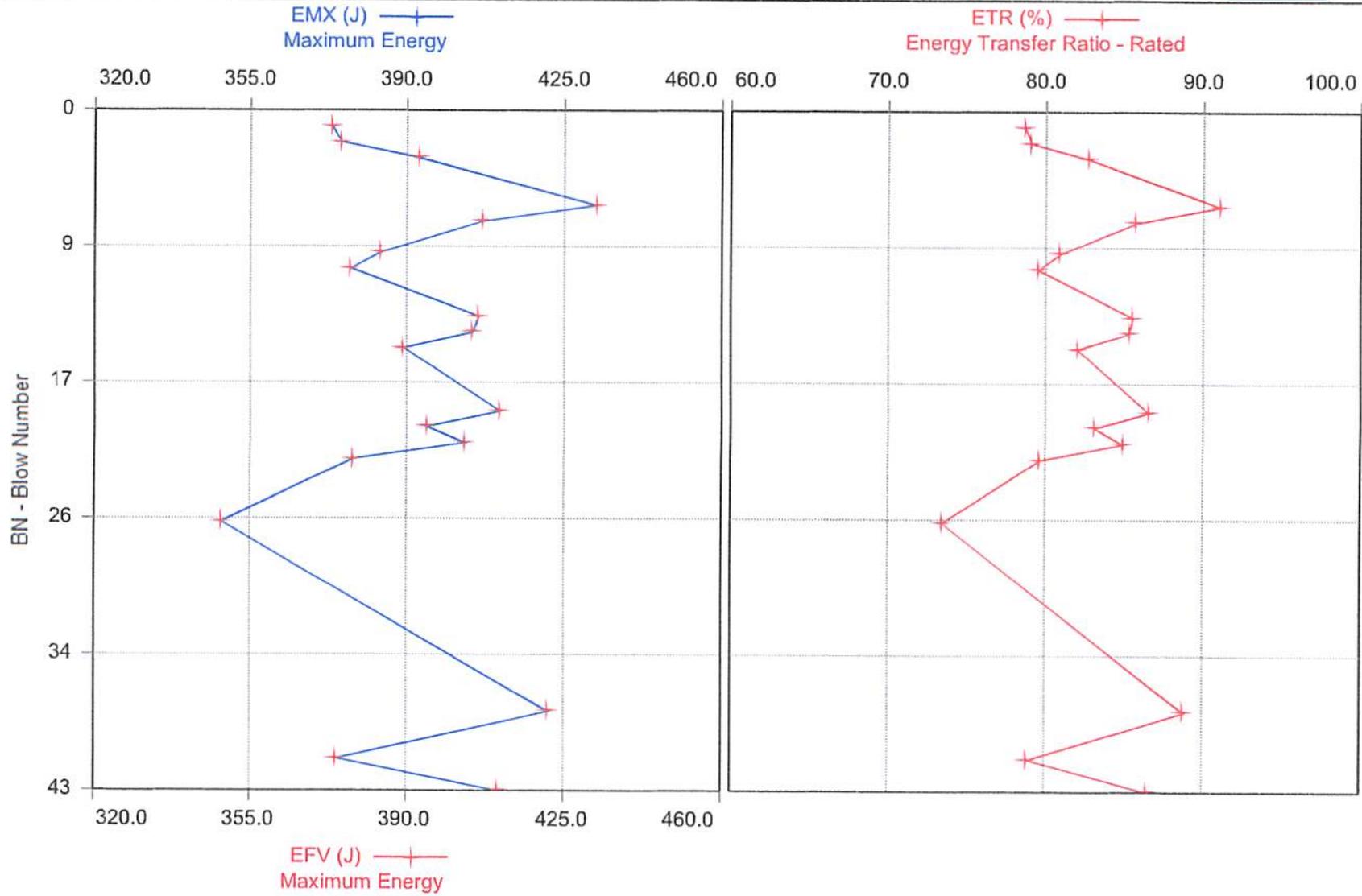
1-43 F1: [497AW1] 208.5 (1.00); F2: [497AW2] 206.9 (1.00); A3: [K10321] 378.0 (1.00);  
A4: [K10322] 382.0 (1.00)

Time Summary

Drive 2 minutes 54 seconds 8:08 - 8:11 BN 1 - 43



PabloSanzana - spt\_1



PabloSanzana - spt\_3  
OP: Manuel Godoy

Date: 28-noviembre-2018

AR: 7.81 cm<sup>2</sup>  
LE: 18.2 m  
WS: 5,123.0 m/s

SP: 77.3 kN/m<sup>3</sup>  
EM: 206,843 MPa  
JC: 0.90

EMX: Maximum Energy  
EFV: Maximum Energy

ETR: Energy Transfer Ratio - Rated

BL#	Depth m	BLC bl/m	TYPE	EMX J	EFV J	ETR (%)
5	0.6	7	AV2	318.7	318.7	67.2
			STD	13.9	13.9	2.9
			MAX	332.6	332.6	70.1
			MIN	304.8	304.8	64.2
7	0.9	7	AV2	326.1	326.1	68.7
			STD	11.0	11.0	2.3
			MAX	337.0	337.0	71.0
			MIN	315.1	315.1	66.4
8	1.1	7	AV1	301.3	301.3	63.5
			STD	0.0	0.0	0.0
			MAX	301.3	301.3	63.5
			MIN	301.3	301.3	63.5
11	1.5	7	AV2	299.3	299.3	63.1
			STD	17.3	17.3	3.6
			MAX	316.5	316.5	66.7
			MIN	282.0	282.0	59.4
13	1.8	7	AV2	303.4	303.4	63.9
			STD	26.6	26.6	5.6
			MAX	330.0	330.0	69.5
			MIN	276.7	276.7	58.3
15	2.1	7	AV2	323.8	323.8	68.2
			STD	53.5	53.5	11.3
			MAX	377.2	377.2	79.5
			MIN	270.3	270.3	57.0
Average				313.1	313.1	66.0
Std. Dev.				29.7	29.7	6.3
Maximum				377.2	377.2	79.5
Minimum				270.3	270.3	57.0

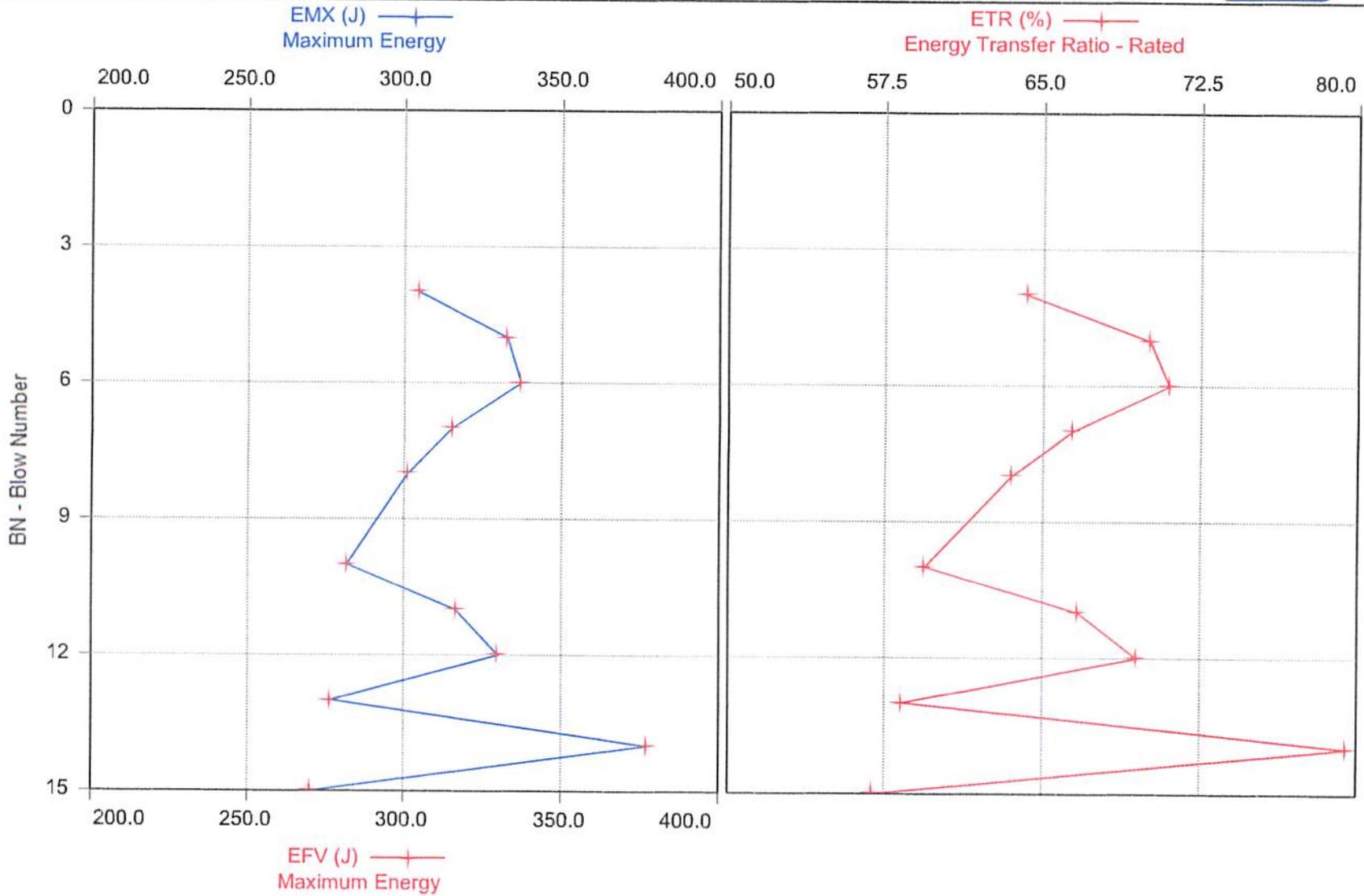
Total number of blows analyzed: 11

BL# Sensors

4-15 F1: [497AW1] 208.5 (1.00); F2: [497AW2] 206.9 (1.00); A4: [K10322] 382.0 (1.00)

Time Summary

Drive 38 seconds 9:16 - 9:16 BN 4 - 15



PabloSanzana - spt\_4  
OP: Manuel Godoy

Date: 28-noviembre-2018

AR: 7.81 cm<sup>2</sup>  
LE: 18.2 m  
WS: 5,123.0 m/s

SP: 77.3 kN/m<sup>3</sup>  
EM: 206,843 MPa  
JC: 0.90

EMX: Maximum Energy  
EFV: Maximum Energy

ETR: Energy Transfer Ratio - Rated

BL#	Depth m	BLC bl/m	TYPE	EMX J	EFV J	ETR (%)
3	0.3	7	AV2	369.3	369.3	77.8
			STD	49.8	49.8	10.5
			MAX	419.1	419.1	88.3
			MIN	319.5	319.5	67.3
5	0.6	7	AV2	329.9	329.9	69.5
			STD	5.3	5.3	1.1
			MAX	335.2	335.2	70.6
			MIN	324.6	324.6	68.4
7	0.9	7	AV2	379.8	379.8	80.0
			STD	23.8	23.8	5.0
			MAX	403.6	403.6	85.1
			MIN	356.0	356.0	75.0
8	1.1	7	AV1	386.4	386.4	81.4
			STD	0.0	0.0	0.0
			MAX	386.4	386.4	81.4
			MIN	386.4	386.4	81.4
Average				363.5	363.5	76.6
Std. Dev.				36.9	36.9	7.8
Maximum				419.1	419.1	88.3
Minimum				319.5	319.5	67.3

Total number of blows analyzed: 7

BL# Sensors

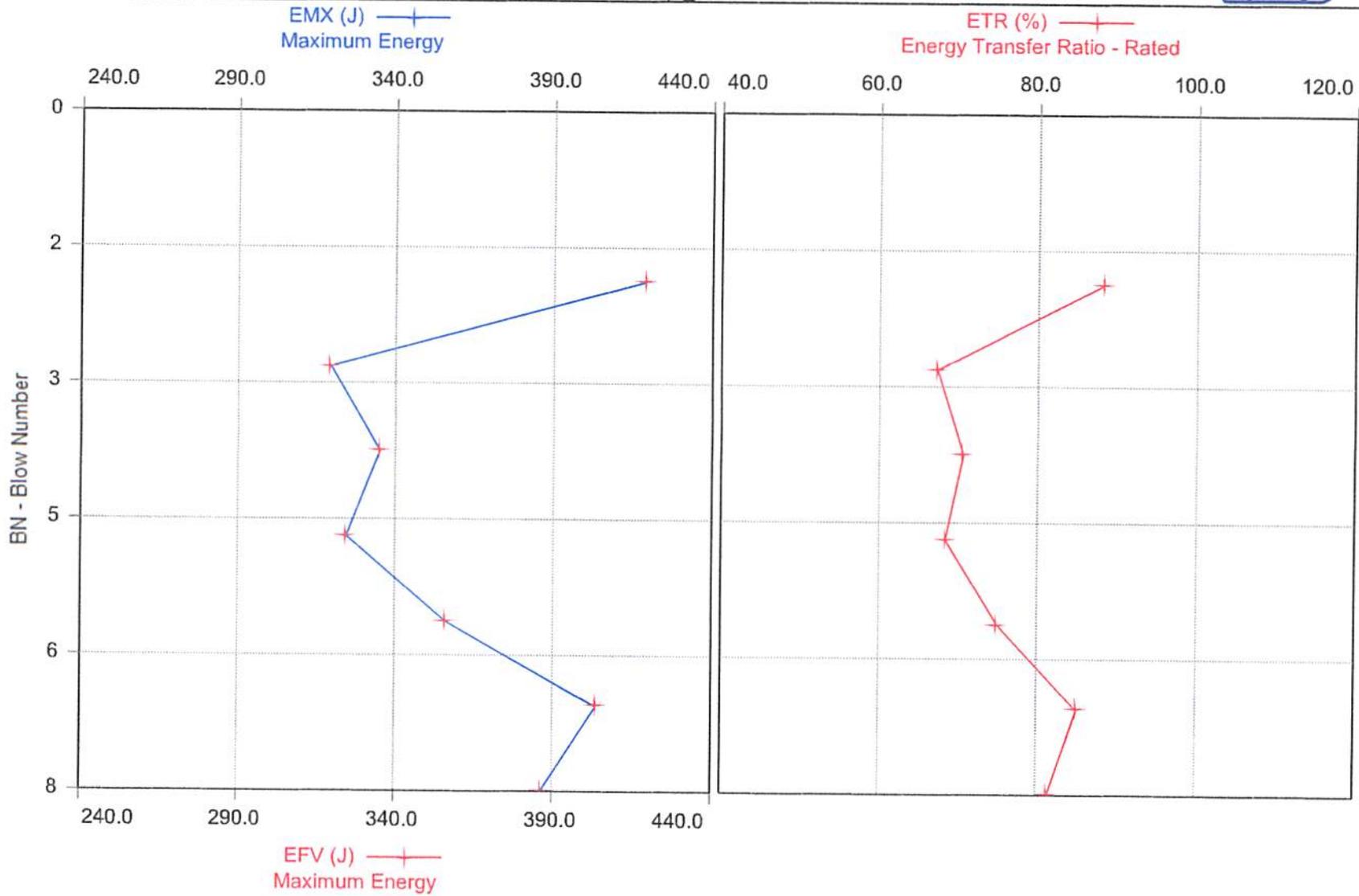
2-8 F1: [497AW1] 208.5 (1.00); F2: [497AW2] 206.9 (1.00); A4: [K10322] 382.0 (1.00)

Time Summary

Drive 25 seconds 9:47 - 9:48 BN 2 - 8



PabloSanzana - spt 4



PabloSanzana - spt\_5

1

OP: Manuel Godoy

Date: 28-noviembre-2018

AR: 7.81 cm<sup>2</sup>

SP: 77.3 kN/m<sup>3</sup>

LE: 19.6 m

EM: 206,843 MPa

WS: 5,123.0 m/s

JC: 0.90

EMX: Maximum Energy

ETR: Energy Transfer Ratio - Rated

EFV: Maximum Energy

BL#	Depth m	BLC bl/m	TYPE	EMX J	EFV J	ETR (%)
5	0.8	3	AV2	349.9	349.9	73.7
			STD	1.8	1.8	0.4
			MAX	351.7	351.7	74.1
			MIN	348.0	348.0	73.3
6	0.9	10	AV1	345.9	345.9	72.9
			STD	0.0	0.0	0.0
			MAX	345.9	345.9	72.9
			MIN	345.9	345.9	72.9
11	1.5	7	AV2	367.6	367.6	77.5
			STD	19.0	19.0	4.0
			MAX	386.6	386.6	81.5
			MIN	348.7	348.7	73.5
13	1.8	7	AV1	371.5	371.5	78.3
			STD	0.0	0.0	0.0
			MAX	371.5	371.5	78.3
			MIN	371.5	371.5	78.3
Average				358.7	358.7	75.6
Std. Dev.				15.1	15.1	3.2
Maximum				386.6	386.6	81.5
Minimum				345.9	345.9	72.9

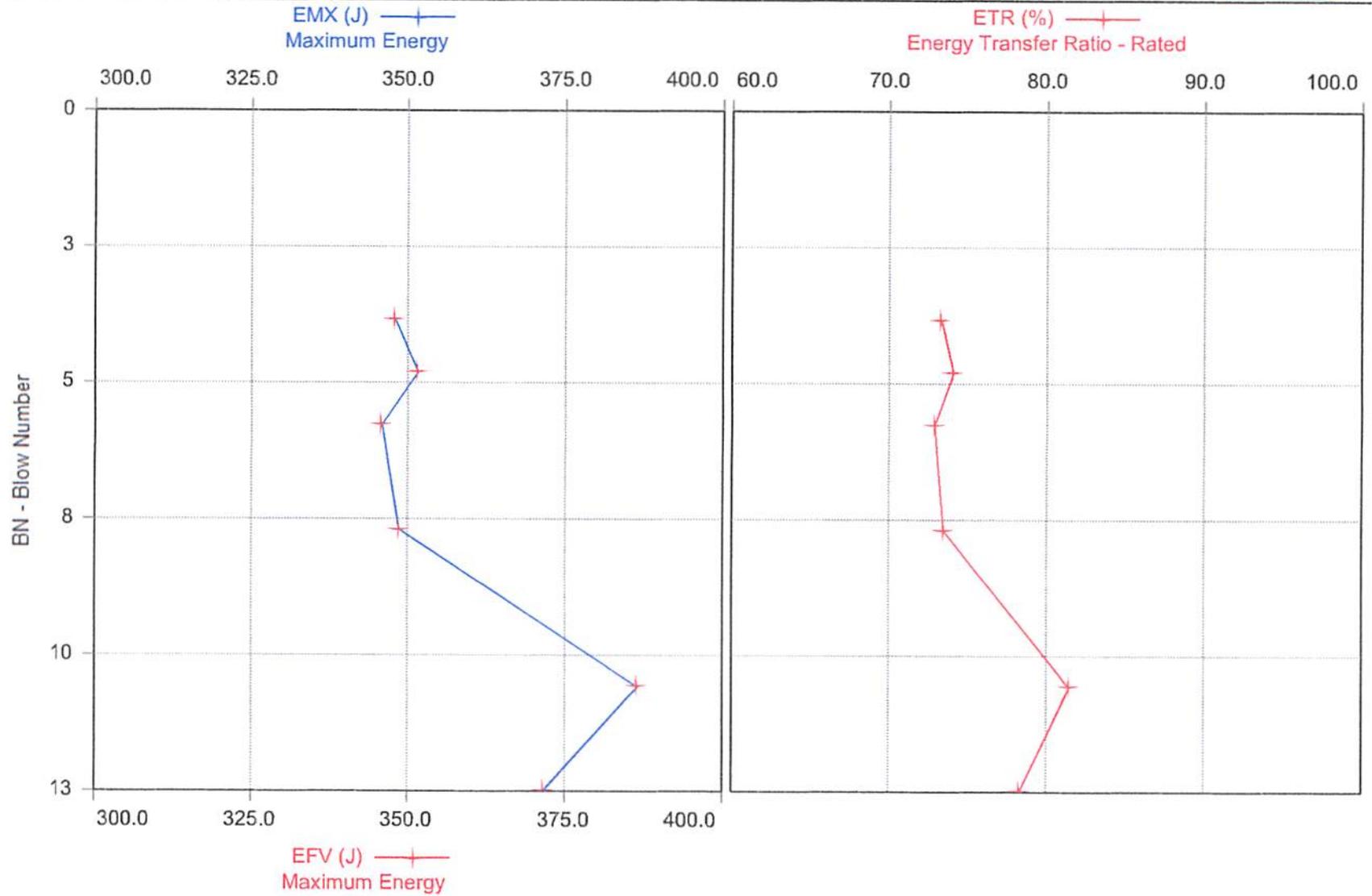
Total number of blows analyzed: 6

BL# Sensors

4-13 F1: [497AW1] 208.5 (1.00); F2: [497AW2] 206.9 (1.00); A4: [K10322] 382.0 (1.00)

Time Summary

Drive 32 seconds 10:42 - 10:42 BN 4 - 13



PabloSanzana - spt\_6  
OP: Manuel Godoy

Date: 28-noviembre-2018

AR: 7.81 cm<sup>2</sup>  
LE: 21.7 m  
WS: 5,123.0 m/s

SP: 77.3 kN/m<sup>3</sup>  
EM: 206,843 MPa  
JC: 0.90

EMX: Maximum Energy  
EFV: Maximum Energy

ETR: Energy Transfer Ratio - Rated

BL#	Depth m	BLC bl/m	TYPE	EMX J	EFV J	ETR (%)
2	0.2	7	AV2	392.8	392.8	82.8
			STD	29.3	29.3	6.2
			MAX	422.1	422.1	89.0
			MIN	363.4	363.4	76.6
4	0.5	7	AV2	417.5	417.5	88.0
			STD	32.8	32.8	6.9
			MAX	450.3	450.3	94.9
			MIN	384.8	384.8	81.1
5	0.6	7	AV1	433.9	433.9	91.4
			STD	0.0	0.0	0.0
			MAX	433.9	433.9	91.4
			MIN	433.9	433.9	91.4
8	1.1	7	AV2	417.9	417.9	88.1
			STD	1.7	1.7	0.4
			MAX	419.7	419.7	88.4
			MIN	416.2	416.2	87.7
9	1.2	7	AV1	402.5	402.5	84.8
			STD	0.0	0.0	0.0
			MAX	402.5	402.5	84.8
			MIN	402.5	402.5	84.8
16	2.3	7	AV1	452.2	452.2	95.3
			STD	0.0	0.0	0.0
			MAX	452.2	452.2	95.3
			MIN	452.2	452.2	95.3
Average				416.1	416.1	87.7
Std. Dev.				27.4	27.4	5.8
Maximum				452.2	452.2	95.3
Minimum				363.4	363.4	76.6

Total number of blows analyzed: 9

BL# Sensors

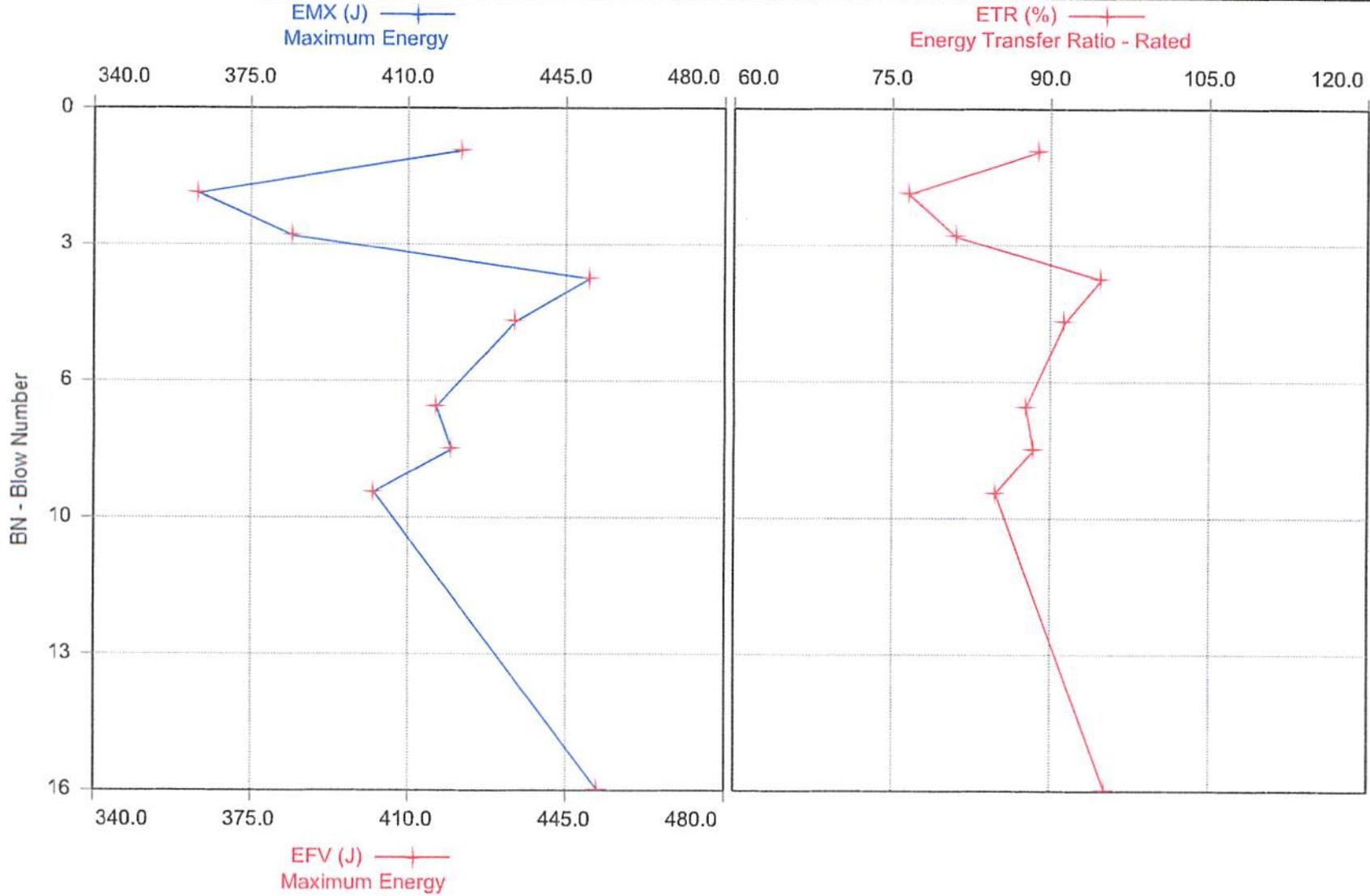
1-16 F1: [497AW1] 208.5 (1.00); F2: [497AW2] 206.9 (1.00); A4: [K10322] 382.0 (1.00)

Time Summary

Drive 56 seconds 11:22 - 11:23 BN 1 - 16



PabloSanzana - spt\_6



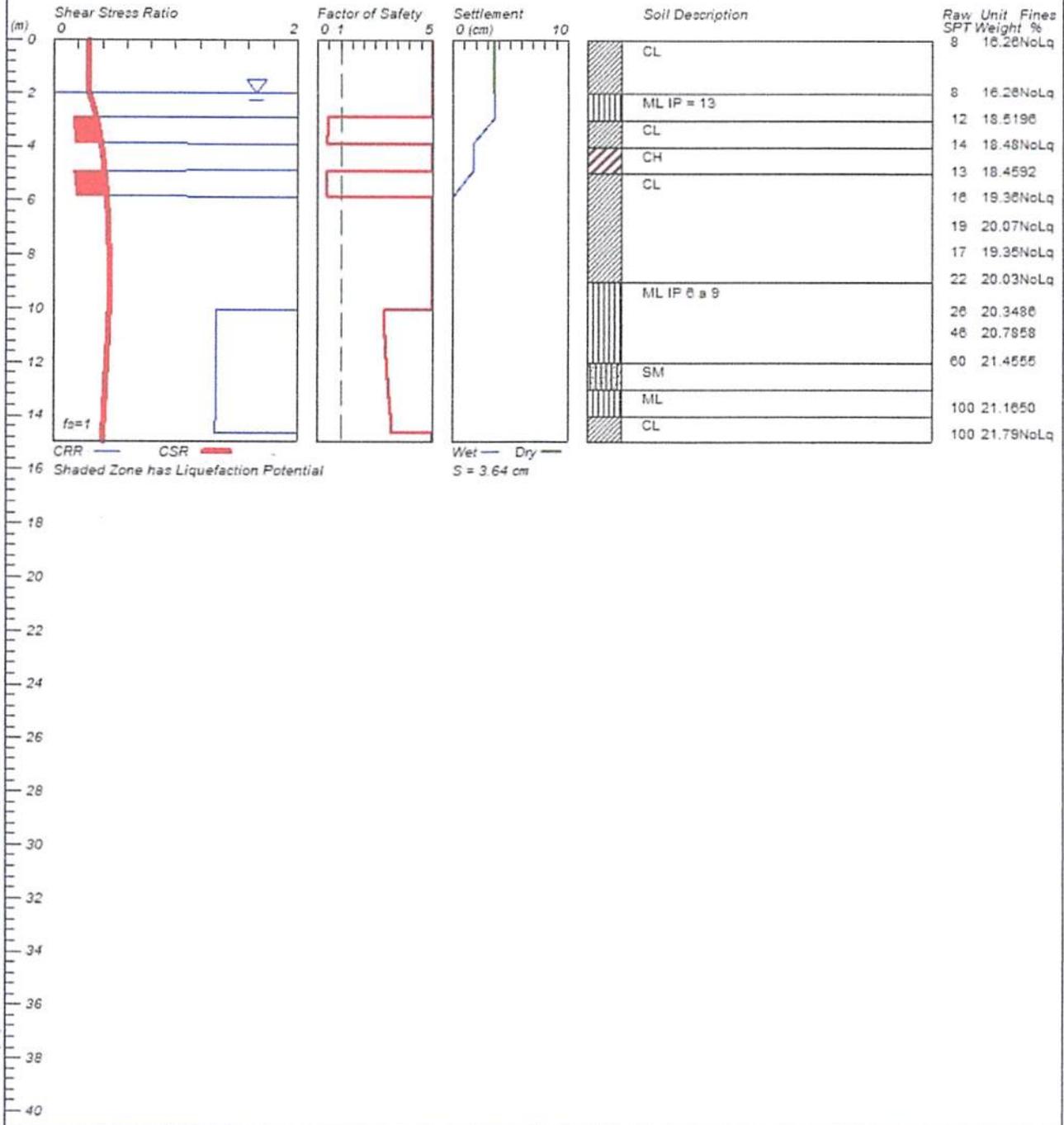
**ANEXO C**  
**ANÁLISIS DE LICUACIÓN**

# LIQUEFACTION ANALYSIS

## LA SEÑORAZA

Hole No.=01 Water Depth=2 m

Magnitude=8.8  
Acceleration=0.45g



Análisis de Licuación LAJA.cal

\*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\*

LIQUEFACTION ANALYSIS CALCULATION SHEET

Copyright by CivilTech Software  
www.civiltech.com  
(425) 453-6488 Fax (425) 453-5848

\*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\*

Title: LA SEÑORAZA  
Subtitle: LAJA

Input Data:

Surface Elev.=  
Hole No.=01  
Depth of Hole=15.0 m  
Water Table during Earthquake= 2.0 m  
Water Table during In-Situ Testing= 2.0 m  
Max. Acceleration=0.45 g  
Earthquake Magnitude=8.8

Earthquake Magnitude=8.8  
2. Settlement Analysis Method: Ishihara / Yoshimine\*  
3. Fines Correction for Liquefaction: Stark/Olson et al.\*  
4. Fine Correction for Settlement: During Liquefaction\*  
5. Settlement Calculation in: All zones\*  
6. Hammer Energy Ratio, Ce=0.97  
7. Borehole Diameter, Cb=1  
8. Sampling Method, Cs=1  
fs=1, Plot one CSR (fs=1)  
10. Use Curve Smoothing: Yes\*  
\* Recommended Options

In-Situ Test Data:

Depth m	SPT	Gamma kN/m <sup>3</sup>	Fines %
0.0	8.0	16.3	NoLiq
1.9	8.0	16.3	NoLiq
2.9	12.0	18.5	96.0
3.9	14.0	18.5	NoLiq
4.9	13.0	18.5	92.0
5.8	16.0	19.4	NoLiq
6.9	19.0	20.1	NoLiq

Análisis de Licuación LAJA.cal

7.8	17.0	19.4	NoLiq
8.8	22.0	20.0	NoLiq
10.1	26.0	20.3	86.0
10.9	46.0	20.8	58.0
11.9	60.0	21.5	55.0
13.7	100.0	21.2	50.0
14.7	100.0	21.8	NoLiq

Output Results:

Calculation segment, dz=0.025 m  
 User defined Print Interval, dp=0.50 m

CSR Calculation:

Depth m	gamma kN/m3	sigma tsf	gamma' kN/m3	sigma' tsf	rd	CSR	fs (user)	CSRfs w/fs
0.00	16.3	0.000	16.3	0.000	1.00	0.29	1.0	0.29
0.50	16.3	0.085	16.3	0.085	1.00	0.29	1.0	0.29
1.00	16.3	0.170	16.3	0.170	0.99	0.29	1.0	0.29
1.50	16.3	0.255	16.3	0.255	0.99	0.29	1.0	0.29
2.00	16.4	0.340	16.4	0.340	0.98	0.29	1.0	0.29
2.50	17.6	0.428	7.8	0.380	0.98	0.32	1.0	0.32
3.00	18.5	0.523	8.7	0.423	0.98	0.35	1.0	0.35
3.50	18.5	0.619	8.7	0.468	0.97	0.38	1.0	0.38
4.00	18.5	0.716	8.7	0.514	0.97	0.40	1.0	0.40
4.50	18.5	0.812	8.7	0.559	0.97	0.41	1.0	0.41
5.00	18.5	0.909	8.7	0.604	0.96	0.42	1.0	0.42
5.50	19.0	1.007	9.2	0.651	0.96	0.43	1.0	0.43
6.00	19.5	1.107	9.7	0.700	0.95	0.44	1.0	0.44
6.50	19.8	1.210	10.0	0.752	0.95	0.45	1.0	0.45
7.00	20.0	1.314	10.2	0.805	0.95	0.45	1.0	0.45
7.50	19.6	1.417	9.8	0.857	0.94	0.46	1.0	0.46
8.00	19.5	1.519	9.7	0.907	0.94	0.46	1.0	0.46
8.50	19.8	1.621	10.0	0.959	0.93	0.46	1.0	0.46
9.00	20.1	1.725	10.3	1.012	0.93	0.46	1.0	0.46
9.50	20.2	1.831	10.4	1.066	0.92	0.46	1.0	0.46
10.00	20.3	1.936	10.5	1.120	0.91	0.46	1.0	0.46
10.50	20.6	2.043	10.8	1.176	0.89	0.45	1.0	0.45
11.00	20.9	2.151	11.1	1.233	0.88	0.45	1.0	0.45
11.50	21.2	2.261	11.4	1.291	0.87	0.44	1.0	0.44
12.00	21.4	2.373	11.6	1.352	0.85	0.44	1.0	0.44
12.50	21.4	2.484	11.6	1.412	0.84	0.43	1.0	0.43
13.00	21.3	2.595	11.5	1.472	0.83	0.43	1.0	0.43
13.50	21.2	2.706	11.4	1.532	0.81	0.42	1.0	0.42
14.00	21.4	2.817	11.6	1.592	0.80	0.41	1.0	0.41
14.50	21.7	2.930	11.9	1.653	0.79	0.41	1.0	0.41

Análisis de Licuación LAJA.cal

15.00 21.8 3.043 12.0 1.715 0.77 0.40 1.0 0.40

CSR is based on water table at 2.0 during earthquake

CRR Calculation from SPT or BPT data:

(N1) <sub>60f</sub>	Depth CRR7.5 m	SPT	Cebs	Cr	sigma' tsf	Cn	(N1) <sub>60</sub>	Fines %	d(N1) <sub>60</sub>
---------------------	----------------------	-----	------	----	---------------	----	--------------------	------------	---------------------

—	0.00	8.00	0.97	0.75	0.000	1.70	9.89	94.00	7.20
17.09	0.18								
	0.50	8.00	0.97	0.75	0.085	1.70	9.89	NoLiq	7.20
17.09	0.18								
	1.00	8.00	0.97	0.75	0.170	1.70	9.89	NoLiq	7.20
17.09	0.18								
	1.50	8.00	0.97	0.75	0.255	1.70	9.89	NoLiq	7.20
17.09	0.18								
	2.00	8.28	0.97	0.75	0.340	1.70	10.24	NoLiq	7.20
17.44	0.19								
	2.50	10.30	0.97	0.85	0.380	1.62	13.79	NoLiq	7.20
20.99	0.23								
	3.00	12.16	0.97	0.85	0.423	1.54	15.42	96.00	7.20
22.62	0.25								
	3.50	13.20	0.97	0.85	0.468	1.46	15.90	96.00	7.20
23.10	0.25								
	4.00	13.89	0.97	0.85	0.514	1.40	15.98	NoLiq	7.20
23.18	0.26								
	4.50	13.40	0.97	0.95	0.559	1.34	16.51	NoLiq	7.20
23.71	0.26								
	5.00	13.32	0.97	0.95	0.604	1.29	15.79	92.00	7.20
22.99	0.25								
	5.50	14.89	0.97	0.95	0.651	1.24	17.01	92.00	7.20
24.21	0.27								
	6.00	16.43	0.97	0.95	0.700	1.19	18.10	NoLiq	7.20
25.30	0.29								
	6.50	17.88	0.97	0.95	0.752	1.15	19.00	NoLiq	7.20
26.20	0.30								
	7.00	18.77	0.97	0.95	0.805	1.11	19.28	NoLiq	7.20
26.48	0.31								
	7.50	17.72	0.97	0.95	0.857	1.08	17.64	NoLiq	7.20
24.84	0.28								
	8.00	17.81	0.97	0.95	0.907	1.05	17.23	NoLiq	7.20
24.43	0.27								
	8.50	20.33	0.97	1.00	0.959	1.02	20.14	NoLiq	7.20
27.34	0.33								
	9.00	22.56	0.97	1.00	1.012	0.99	21.75	NoLiq	7.20

Análisis de Licuación LAJA.cal

28.95	0.37									
	9.50	24.20	0.97	1.00	1.066	0.97	22.74	NoLiq	7.20	
29.94	0.45									
	10.00	25.84	0.97	1.00	1.120	0.94	23.68	NoLiq	7.20	
30.88	2.00									
	10.50	37.11	0.97	1.00	1.176	0.92	33.20	70.45	7.20	
40.40	2.00									
	11.00	47.90	0.97	1.00	1.233	0.90	41.85	57.59	7.20	
49.05	2.00									
	11.50	54.70	0.97	1.00	1.291	0.88	46.69	56.14	7.20	
53.89	2.00									
	12.00	62.46	0.97	1.00	1.352	0.86	52.11	54.69	7.20	
59.31	2.00									
	12.50	73.63	0.97	1.00	1.412	0.84	60.10	53.30	7.20	
67.30	2.00									
	13.00	84.80	0.97	1.00	1.472	0.82	67.79	51.90	7.20	
74.99	2.00									
	13.50	95.98	0.97	1.00	1.532	0.81	75.22	50.50	7.20	
82.42	2.00									
	14.00	100.00	0.97	1.00	1.592	0.79	76.89	50.00	7.20	
84.09	2.00									
	14.50	100.00	0.97	1.00	1.653	0.78	75.45	50.00	7.20	
82.65	2.00									
	15.00	100.00	0.97	1.00	1.715	0.76	74.06	NoLiq	7.20	
81.26	2.00									

CRR is based on water table at 2.0 during In-Situ Testing

Factor of Safety, - Earthquake Magnitude= 8.8:

Depth m	sigC' tsf	CRR7.5 tsf	Ksigma	CRRv	MSF	CRRm	CSRfs w/fs	F.S. CRRm/CSRfs
0.00	0.00	0.18	1.00	0.18	0.66	0.12	0.29	5.00
0.50	0.06	0.18	1.00	0.18	0.66	2.00	0.29	5.00
1.00	0.11	0.18	1.00	0.18	0.66	2.00	0.29	5.00
1.50	0.17	0.18	1.00	0.18	0.66	2.00	0.29	5.00
2.00	0.22	0.19	1.00	0.19	0.66	2.00	0.29	5.00
2.50	0.25	0.23	1.00	0.23	0.66	2.00	0.32	5.00
3.00	0.27	0.25	1.00	0.25	0.66	0.16	0.35	0.47 *
3.50	0.30	0.25	1.00	0.25	0.66	0.17	0.38	0.45 *
4.00	0.33	0.26	1.00	0.26	0.66	2.00	0.40	5.00
4.50	0.36	0.26	1.00	0.26	0.66	2.00	0.41	5.00
5.00	0.39	0.25	1.00	0.25	0.66	0.17	0.42	0.40 *
5.50	0.42	0.27	1.00	0.27	0.66	0.18	0.43	0.41 *
6.00	0.46	0.29	1.00	0.29	0.66	2.00	0.44	5.00
6.50	0.49	0.30	1.00	0.30	0.66	2.00	0.45	5.00

Análisis de Licuación LAJA.cal

7.00	0.52	0.31	1.00	0.31	0.66	2.00	0.45	5.00
7.50	0.56	0.28	1.00	0.28	0.66	2.00	0.46	5.00
8.00	0.59	0.27	1.00	0.27	0.66	2.00	0.46	5.00
8.50	0.62	0.33	1.00	0.33	0.66	2.00	0.46	5.00
9.00	0.66	0.37	1.00	0.37	0.66	2.00	0.46	5.00
9.50	0.69	0.45	1.00	0.45	0.66	2.00	0.46	5.00
10.00	0.73	2.00	1.00	2.00	0.66	2.00	0.46	5.00
10.50	0.76	2.00	1.00	2.00	0.66	1.33	0.45	2.92
11.00	0.80	2.00	1.00	2.00	0.66	1.33	0.45	2.96
11.50	0.84	2.00	1.00	2.00	0.66	1.33	0.44	2.99
12.00	0.88	2.00	1.00	2.00	0.66	1.33	0.44	3.03
12.50	0.92	2.00	1.00	2.00	0.66	1.33	0.43	3.07
13.00	0.96	2.00	1.00	2.00	0.66	1.33	0.43	3.11
13.50	1.00	2.00	1.00	2.00	0.66	1.33	0.42	3.16
14.00	1.03	2.00	1.00	2.00	0.66	1.33	0.41	3.21
14.50	1.07	2.00	0.99	1.99	0.66	1.32	0.41	3.24
15.00	1.11	2.00	0.99	1.98	0.66	2.00	0.40	5.00

\* F.S.<1: Liquefaction Potential Zone. (If above water table: F.S.=5)  
(F.S. is limited to 5, CRR is limited to 2, CSR is limited to 2)

CPT convert to SPT for Settlement Analysis:

Fines Correction for Settlement Analysis:

Depth m	Ic	qc/N60	qc1 tsf	(N1)60	Fines %	d(N1)60	(N1)60s
0.00	-	-	-	17.09	94.0	0.00	17.09
0.50	-	-	-	17.09	NoLiq	0.00	17.09
1.00	-	-	-	17.09	NoLiq	0.00	17.09
1.50	-	-	-	17.09	NoLiq	0.00	17.09
2.00	-	-	-	17.44	NoLiq	0.00	17.44
2.50	-	-	-	20.99	NoLiq	0.00	20.99
3.00	-	-	-	22.62	96.0	0.00	22.62
3.50	-	-	-	23.10	96.0	0.00	23.10
4.00	-	-	-	23.18	NoLiq	0.00	23.18
4.50	-	-	-	23.71	NoLiq	0.00	23.71
5.00	-	-	-	22.99	92.0	0.00	22.99
5.50	-	-	-	24.21	92.0	0.00	24.21
6.00	-	-	-	25.30	NoLiq	0.00	25.30
6.50	-	-	-	26.20	NoLiq	0.00	26.20
7.00	-	-	-	26.48	NoLiq	0.00	26.48
7.50	-	-	-	24.84	NoLiq	0.00	24.84
8.00	-	-	-	24.43	NoLiq	0.00	24.43
8.50	-	-	-	27.34	NoLiq	0.00	27.34
9.00	-	-	-	28.95	NoLiq	0.00	28.95
9.50	-	-	-	29.94	NoLiq	0.00	29.94
10.00	-	-	-	30.88	NoLiq	0.00	30.88

Análisis de Licuación LAJA.cal

10.50	-	-	-	40.40	70.4	0.00	40.40
11.00	-	-	-	49.05	57.6	0.00	49.05
11.50	-	-	-	53.89	56.1	0.00	53.89
12.00	-	-	-	59.31	54.7	0.00	59.31
12.50	-	-	-	67.30	53.3	0.00	67.30
13.00	-	-	-	74.99	51.9	0.00	74.99
13.50	-	-	-	82.42	50.5	0.00	82.42
14.00	-	-	-	84.09	50.0	0.00	84.09
14.50	-	-	-	82.65	50.0	0.00	82.65
15.00	-	-	-	81.26	NoLiq	0.00	81.26

(N1)60s has been fines corrected in liquefaction analysis, therefore d(N1)60=0.

Fines=NoLiq means the soils are not liquefiable.

Settlement of Saturated Sands:

Settlement Analysis Method: Ishihara / Yoshimine\*

Depth m	CSRfs w/fs	F.S.	Fines %	(N1)60s	Dr %	ec %	dsz cm	dsp cm	S cm
0.000	14.97	0.40	5.00	NoLiq	81.33	100.00	0.000	0.0E0	0.000
0.000	14.50	0.41	3.24	50.0	82.65	100.00	0.000	0.0E0	0.000
0.000	14.00	0.41	3.21	50.0	84.09	100.00	0.000	0.0E0	0.000
0.000	13.50	0.42	3.16	50.5	82.42	100.00	0.000	0.0E0	0.000
0.000	13.00	0.43	3.11	51.9	74.99	100.00	0.000	0.0E0	0.000
0.000	12.50	0.43	3.07	53.3	67.30	100.00	0.000	0.0E0	0.000
0.000	12.00	0.44	3.03	54.7	59.31	100.00	0.000	0.0E0	0.000
0.000	11.50	0.44	2.99	56.1	53.89	100.00	0.000	0.0E0	0.000
0.000	11.00	0.45	2.96	57.6	49.05	100.00	0.000	0.0E0	0.000
0.000	10.50	0.45	2.92	70.4	40.40	100.00	0.000	0.0E0	0.000
0.000	10.00	0.46	5.00	NoLiq	30.88	92.08	0.000	0.0E0	0.000
0.000	9.50	0.46	5.00	NoLiq	29.94	89.92	0.000	0.0E0	0.000
0.000	9.00	0.46	5.00	NoLiq	28.95	87.74	0.000	0.0E0	0.000

Análisis de Licuación LAJA.cal

0.000	8.50	0.46	5.00	NoLiq	27.34	84.35	0.000	0.0E0	0.000
0.000	8.00	0.46	5.00	NoLiq	24.43	78.63	0.000	0.0E0	0.000
0.000	7.50	0.46	5.00	NoLiq	24.84	79.41	0.000	0.0E0	0.000
0.000	7.00	0.45	5.00	NoLiq	26.48	82.61	0.000	0.0E0	0.000
0.000	6.50	0.45	5.00	NoLiq	26.20	82.05	0.000	0.0E0	0.000
0.000	6.00	0.44	5.00	NoLiq	25.30	80.29	0.000	0.0E0	0.000
0.628	5.50	0.43	0.41	92.0	24.21	78.22	1.826	4.6E-2	0.628
1.567	5.00	0.42	0.40	92.0	22.99	75.95	1.928	4.8E-2	0.940
1.762	4.50	0.41	5.00	NoLiq	23.71	77.29	0.000	0.0E0	0.194
1.762	4.00	0.40	5.00	NoLiq	23.18	76.31	0.000	0.0E0	0.000
2.523	3.50	0.38	0.45	96.0	23.10	76.16	1.919	4.8E-2	0.762
3.493	3.00	0.35	0.47	96.0	22.62	75.28	1.958	4.9E-2	0.970
3.640	2.50	0.32	5.00	NoLiq	20.99	72.32	0.000	0.0E0	0.147
3.640	2.05	0.29	5.00	NoLiq	17.69	66.36	0.000	0.0E0	0.000
3.640	2.02	0.29	5.00	NoLiq	17.57	66.13	0.000	0.0E0	0.000

---

Settlement of Saturated Sands=3.640 cm  
 qc1 and (N1)60 is after fines correction in liquefaction analysis  
 dsz is per each segment, dz=0.03 m  
 dsp is per each print interval, dp=0.50 m  
 S is cumulated settlement at this depth

Settlement of Dry Sands:

ec	Depth	sigma'	sigC'	(N1)60s	CSRfs	Gmax	g*Ge/Gm	g_eff	ec7.5	Cec
%	dsz	dsp	S		w/fs	tsf			%	
	m	tsf	tsf							
	cm	cm	cm							
1.25	2.00	0.34	0.22	17.44	0.29	544.4	1.8E-4	0.0339	0.0399	
	0.0499	0.00E0	0.000	0.000						

Análisis de Licuación LAJA.cal

1.25	1.97	0.34	0.22	17.32	0.29	539.7	1.8E-4	0.0337	0.0400
	0.0501	0.00E0	0.000	0.000					
1.25	1.50	0.25	0.17	17.09	0.29	468.3	1.6E-4	0.0282	0.0341
	0.0426	0.00E0	0.000	0.000					
1.25	1.00	0.17	0.11	17.09	0.29	382.4	1.3E-4	0.0238	0.0288
	0.0360	0.00E0	0.000	0.000					
1.25	0.50	0.08	0.06	17.09	0.29	270.4	9.2E-5	0.0173	0.0209
	0.0261	0.00E0	0.000	0.000					
1.25	0.00	0.00	0.00	17.09	0.29	2.9	1.0E-6	0.0010	0.0012
	0.0015	7.67E-5	0.000	0.000					

Settlement of Dry Sands=0.000 cm  
 dsz is per each segment, dz=0.03 m  
 dsp is per each print interval, dp=0.50 m  
 S is cumulated settlement at this depth

Total Settlement of Saturated and Dry Sands=3.640 cm  
 Differential Settlement=1.820 to 2.403 cm

Units                      Depth = m, Stress or Pressure = atm (tsf), Unit Weight =  
 kN/m<sup>3</sup>, Settlement = cm

SPT	Field data from Standard Penetration Test (SPT)
BPT	Field data from Becker Penetration Test (BPT)
qc	Field data from Cone Penetration Test (CPT)
fc	Friction from CPT testing
gamma	Total unit weight of soil
gamma'	Effective unit weight of soil
Fines	Fines content [%]
D50	Mean grain size
Dr	Relative Density
sigma	Total vertical stress [tsf]
sigma'	Effective vertical stress [tsf]
sigC'	Effective confining pressure [tsf]
rd	Stress reduction coefficient
CSR	Cyclic stress ratio induced by earthquake
fs	User request factor of safety, apply to CSR
w/fs	With user request factor of safety inside
CSRfs	CSR with User request factor of safety
CRR7.5	Cyclic resistance ratio (M=7.5)
Ksigma	Overburden stress correction factor for CRR7.5
CRRv	CRR after overburden stress correction, CRRv=CRR7.5 *
Ksigma	
MSF	Magnitude scaling factor for CRR (M=7.5)

Análisis de Licuación LAJA.cal

CRRm	After magnitude scaling correction $CRRm = CRRv * MSF$
F.S.	Factor of Safety against liquefaction $F.S. = CRRm / CSRfs$
F.S*	User inputed Factor of Safety
Cebs	Energy Ratio, Borehole Dia., and Sample Method Corrections
Cr	Rod Length Corrections
Cn	Overburden Pressure Correction
(N1)60	SPT after corrections, $(N1)60 = SPT * Cr * Cn * Cebs$
d(N1)60	Fines correction of SPT
(N1)60f	(N1)60 after fines corrections, $(N1)60f = (N1)60 + d(N1)60$
Cq	Overburden stress correction factor
qc1	CPT after Overburden stress correction
dqc1	Fines correction of CPT
qc1f	CPT after Fines and Overburden correction, $qc1f = qc1 + dqc1$
qc1n	CPT after normalization in Robertson's method
Kc	Fine correction factor in Robertson's Method
qc1f	CPT after Fines correction in Robertson's Method
Ic	Soil type index in Suzuki's and Robertson's Methods
(N1)60s	(N1)60 after seattlement fines corrections
ec	Volumetric strain for saturated sands
dz	Calculation segment, $dz = 0.025$ m
dsz	Settlement in each segment, dz
dp	User defined print interval
dsp	Settlement in each print interval, dp
Gmax	Shear Modulus at low strain
g_eff	gamma_eff, Effective shear Strain
g*Ge/Gm	gamma_eff * G_eff/G_max, Strain-modulus ratio
ec7.5	Volumetric Strain for magnitude=7.5
Cec	Magnitude correction factor for any magnitude
ec	Volumetric strain for dry sands, $ec = Cec * ec7.5$
NoLiq	No-Liquefy Soils

References:

- 
- NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. Youd, T.L., and Idriss, I.M., eds., Technical Report NCEER 97-0022.
- SP117. Southern California Earthquake Center. Recommended Procedures for Implementation of DMG Special Publication 117, Guidelines for Analyzing and Mitigating Liquefaction in California. University of Southern California. March 1999.