

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**“ESTUDIO INTEGRAL DE UNA PRESA DE RELAVES  
CIMENTADA SOBRE ARCILLA BLANDA”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR**

**RAQUEL NATALIA BORJA CASTILLO**

**ASESOR**

**MSc. DENYS PARRA MURRUGARRA**

**LIMA- PERÚ**

**2017**

# Contracarátula

© 2016, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

**“El autor autoriza a la UNI a reproducir del Trabajo de Suficiencia Profesional en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos.”**

Borja Castillo, Raquel Natalia  
borja.castillo.raquel@gmail.com  
991526480

***DEDICATORIA:***

Dedico este trabajo a mis padres por su amor, trabajo, sacrificios y por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad. Asimismo, a mi hermana y resto de mi familia por sus consejos y apoyo incondicional a lo largo de mi vida.

**AGRADECIMIENTO:**

Agradezco principalmente al Ing. Denys Parra quien me brindó su apoyo y confianza para la elaboración de este trabajo. Asimismo, a todas las personas que me apoyaron en el desarrollo del mismo, y a Dios por sus bendiciones y estar siempre a mi lado.

## ÍNDICE

	Pág.
<b>RESUMEN .....</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>6</b>
<b>PRÓLOGO .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>10</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO I : GENERALIDADES.....</b>	<b>13</b>
1.1. OBJETIVOS.....	13
1.2. ANTECEDENTES.....	13
1.3. INFORMACIÓN GENERAL .....	14
1.3.1. Ubicación .....	14
1.3.2. Geología .....	14
1.3.3. Sismicidad .....	15
1.3.3.1 Generalidades .....	15
1.3.3.2 Aceleración de diseño .....	16
1.3.4. Descripción de la presa de relaves.....	18
1.4. CONTENIDO DEL ESTUDIO .....	19
<b>CAPÍTULO II : INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS .....</b>	<b>21</b>
2.1. GENERALIDADES .....	21
2.2. CALICATAS.....	21
2.3. PERFORACIONES.....	22
2.4. PUNTOS DE MUESTREO .....	23
2.5. ENSAYOS DE PIEZOCONO - SUELO DE CIMENTACIÓN .....	23
2.6. ENSAYOS GEOFÍSICOS .....	30
2.6.1. Generalidades .....	30

2.6.2.	Resultados obtenidos .....	30
2.7.	ENSAYOS DE LABORATORIO .....	36
2.8.	INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA .....	42
<b>CAPÍTULO III: PARÁMETROS GEOTÉCNICOS.....</b>		<b>43</b>
3.1.	GENERALIDADES .....	43
3.2.	PARÁMETROS ESTÁTICOS .....	43
3.2.1.	Relave fino.....	43
3.2.2.	Relave antiguo.....	45
3.2.3.	Enrocado .....	45
3.2.4.	Dique aguas arriba .....	46
3.2.5.	Base drenante .....	46
3.2.6.	Desmonte de mina.....	46
3.2.7.	Berma de estabilización.....	46
3.2.8.	Arcilla .....	47
3.2.9.	Limo .....	49
3.2.10.	Basamento rocoso.....	49
3.2.11.	Resumen de parámetros .....	49
3.3.	PARÁMETROS DINÁMICOS .....	50
3.3.1.	Relave.....	50
3.3.2.	Materiales granulares .....	51
3.3.3.	Materiales finos.....	51
3.3.4.	Basamento rocoso.....	52
3.3.5.	Resumen de parámetros .....	52
<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS GEOTÉCNICO.....</b>		<b>53</b>
4.1.	GENERALIDADES .....	53
4.2.	ANÁLISIS DE INFILTRACIÓN.....	53
4.2.1.	Metodología de análisis .....	53

4.2.2.	Consideraciones de análisis .....	53
4.2.3.	Resultados obtenidos .....	55
4.3.	ANÁLISIS DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL .....	56
4.3.1.	Metodología de análisis .....	56
4.3.2.	Consideraciones de análisis .....	57
4.3.3.	Resultados obtenidos .....	59
4.4.	ANÁLISIS DE RESPUESTA SÍSMICA UNIDIMENSIONAL .....	60
4.4.1.	Registros sísmicos sintéticos.....	60
4.4.2.	Metodología de análisis .....	63
4.4.3.	Consideraciones de análisis .....	64
4.4.4.	Resultados obtenidos .....	66
4.5.	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD .....	70
4.5.1.	Criterios de análisis .....	70
4.5.2.	Coeficiente sísmico.....	70
4.5.3.	Metodología de análisis .....	72
4.5.4.	Consideraciones de análisis .....	72
4.5.5.	Resultados obtenidos .....	74
4.6.	ANÁLISIS DE DESPLAZAMIENTOS PERMANENTES .....	78
4.6.1.	Criterios de análisis .....	78
4.6.2.	Método de Bray y Travasarou (2007) .....	78
4.6.2.1	<i>Consideraciones de análisis .....</i>	<i>79</i>
4.6.2.2	<i>Resultados obtenidos .....</i>	<i>80</i>
4.6.3.	Método de Houston et al. (1987) .....	81
4.6.3.1	<i>Consideraciones de análisis .....</i>	<i>82</i>
4.6.3.2	<i>Resultados obtenidos .....</i>	<i>84</i>
	<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>88</b>
5.1.	CONCLUSIONES.....	88

---

5.2. RECOMENDACIONES.....	93
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>98</b>

## RESUMEN

El presente estudio tiene por objetivo evaluar las condiciones de estabilidad física de la configuración actual y de crecimiento de una presa de relaves cimentada sobre suelos blandos saturados y ubicada en una zona de alta sismicidad.

Con ese fin, se ha realizado una extensiva recopilación de información existente de investigaciones geotécnicas de campo y ensayos de laboratorio realizados en estudios anteriores. A partir de dicha revisión de información, se ha realizado la actualización de los parámetros geotécnicos de los materiales que conforman la presa de relaves empleando información complementaria a la ya existente de investigaciones de campo y ensayos de laboratorio desarrollados para el presente estudio. Las investigaciones geotécnicas realizadas consistieron en la ejecución y supervisión de calicatas y perforaciones diamantinas, desarrollo de puntos de muestreo, ensayos de piezocono sísmico y ensayos geofísicos.

Con base en lo descrito anteriormente, se ha realizado la evaluación geotécnica la cual consistió en efectuar el análisis de infiltración, análisis de consolidación unidimensional, análisis de respuesta sísmica, estabilidad física de taludes y el análisis de desplazamientos permanentes inducidos por sismo de la presa de relaves en estudio.

Finalmente, sobre la base de los resultados obtenidos de estos análisis, se ha concluido que actualmente la presa de relaves presenta adecuadas condiciones de estabilidad física. Sin embargo, para la configuración de crecimiento de la misma, se recomiendan medidas de estabilización garantizando así la estabilidad física de la presa de relaves en estudio durante su construcción y a largo plazo.

## ABSTRACT

The objective of the present study is to evaluate the physical stability conditions of the current and growth configuration of a tailings dam founded on saturated soft soils with high seismic conditions.

To this end, an extensive compilation of existing information of field geotechnical investigations and laboratory tests performed in previous studies has been carried out. Based on this review of information, the geotechnical parameters of the materials that compose the tailings dam has been updated using complementary information of field geotechnical investigations and laboratory tests developed in the present study. The geotechnical investigations consisted of the execution and supervision of test pits, borehole drilling, sampling points, seismic piezocone tests and geophysical tests.

Based on the described above, the geotechnical evaluation has been carried out consisting in the seepage analysis, one-dimensional consolidation analysis, seismic response analysis, slopes physical stability and the permanent displacements analysis induced by earthquake of the tailings dam.

Finally, based on the obtained results from these analyzes, it has been concluded that current configuration of the tailings dam presents adequate physical stability conditions. However, the growth configuration of the tailings dam requires stabilization measures in order to guarantee the physical stability of the tailings dam during its construction and for long term.

## PRÓLOGO

El presente Trabajo de Suficiencia Profesional comprende el desarrollo de la evaluación geotécnica de una presa de relaves cimentada sobre suelos blandos saturados y ubicada en una zona de alta sismicidad. Estas características y condiciones de sitio incrementan el riesgo de falla de la estructura en estudio.

Es así, que debido a este riesgo y con la finalidad de desarrollar un diseño geotécnico adecuado, para el presente estudio se han desarrollado investigaciones geotécnica de campo y ensayos de laboratorio complementarios a los ya existente con el fin de caracterizar de manera adecuada los materiales que conforman la presa de relaves en estudio.

A partir de dicha información, se ha realizado la evaluación geotécnica para poder estimar el comportamiento de este tipo de estructura. Sobre la base de los resultados obtenidos de los análisis geotécnicos realizados, se han determinado las condiciones de estabilidad física de la estructura en estudio y de ser el caso se han recomendado medidas de estabilización para garantizar la estabilidad física de la misma.

El Asesor

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Aceleraciones máximas horizontales obtenidas del análisis probabilístico - suelo tipo B (roca). .....	17
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de sitio (IBC, 2012). .....	17
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de los perfiles de suelo (Norma E030, 2016). .....	18
<b>Tabla 4.</b> Resumen de calicatas ejecutadas. ....	21
<b>Tabla 5.</b> Resumen de perforaciones ejecutadas. ....	23
<b>Tabla 6.</b> Resumen de puntos de muestreo de relave. ....	23
<b>Tabla 7.</b> Resumen de puntos de muestreo realizados. ....	24
<b>Tabla 8.</b> Tipo de suelo de acuerdo a la resistencia de cono (Lunne et al., 1997). .....	24
<b>Tabla 9.</b> Resumen de los ensayos de refracción sísmica. ....	31
<b>Tabla 10.</b> Resumen de los ensayos MASW2D. ....	31
<b>Tabla 11.</b> Resumen de los ensayos MASW. ....	32
<b>Tabla 12.</b> Resumen de los ensayos MAM. ....	33
<b>Tabla 13.</b> Resumen de las velocidades de las ondas de corte $V_{s30}$ según el IBC (2012) para los ensayos MASW. ....	34
<b>Tabla 14.</b> Resumen de las velocidades de las ondas de corte $V_{s30}$ según el IBC (2012) para los ensayos MAM. ....	34
<b>Tabla 15.</b> Parámetros dinámicos para el área del pie de dique (Zona 1) - LR-HU15-102 / MASW-HU15-102. ....	35
<b>Tabla 16.</b> Parámetros dinámicos para el área de la presa (Cuerpo) - LR-HU15-106 / MASW-HU15-106. ....	35
<b>Tabla 17.</b> Resumen de ensayos de laboratorio. ....	36
<b>Tabla 18.</b> Resumen de ensayos de clasificación de suelos. ....	37
<b>Tabla 19.</b> Resumen de ensayos de compresión triaxial consolidado no drenado (CU). ....	38

<b>Tabla 20.</b> Resumen de ensayos de compresión triaxial no consolidado no drenado (UU).....	39
<b>Tabla 21.</b> Resumen de ensayos de consolidación.....	39
<b>Tabla 22.</b> Resumen de ensayos de gravedad específica.....	40
<b>Tabla 23.</b> Resumen de ensayos de peso volumétrico.....	40
<b>Tabla 24.</b> Resumen de ensayos de conductividad hidráulica.....	41
<b>Tabla 25.</b> Resumen de ensayos ABA, potencial de neutralización.....	41
<b>Tabla 26.</b> Resumen de análisis de metales pesados.....	41
<b>Tabla 27.</b> Resumen de piezómetros de cuerda vibrante.....	42
<b>Tabla 28.</b> Relación de resistencia residual no drenada del relave fino.....	44
<b>Tabla 29.</b> Parámetros geotécnicos de la arcilla a partir de los ensayos SCPTu.....	47
<b>Tabla 30.</b> Resumen de coeficientes de permeabilidad hidráulicos para el análisis de infiltración.....	49
<b>Tabla 31.</b> Resumen de parámetros para el análisis de estabilidad.....	50
<b>Tabla 32.</b> Resumen de parámetros dinámicos para el análisis de respuesta sísmica.....	52
<b>Tabla 33.</b> Resumen de resultados del análisis de consolidación unidimensional.....	59
<b>Tabla 34.</b> Parámetros sismológicos de los registros sísmicos para ajuste espectral.....	62
<b>Tabla 35.</b> Factores de seguridad mínimos admisibles.....	70
<b>Tabla 36.</b> Resumen de coeficiente sísmico.....	71
<b>Tabla 37.</b> Resumen de resultados del análisis de estabilidad por el método de equilibrio límite.....	75
<b>Tabla 38.</b> Desplazamiento permanente máximo permisible.....	78
<b>Tabla 39.</b> Resumen de resultados de desplazamientos permanentes - Método de Bray y Travasarou (2007).....	81
<b>Tabla 40.</b> Resumen de resultados de desplazamientos permanentes - Houston et al. (1987).....	85

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Sección geotécnica representativa de la presa de relaves. ....	19
<b>Figura 2.</b> Zonas de tipo de suelo en función de la resistencia de cono. ....	25
<b>Figura 3.</b> Ubicación en planta de las secciones geotécnicas analizadas. ....	54
<b>Figura 4.</b> Sección geotécnica 1-1'. ....	54
<b>Figura 5.</b> Sección geotécnica 2-2'. ....	55
<b>Figura 6.</b> Sección geotécnica 3-3'. ....	55
<b>Figura 7.</b> Perfil de velocidad de ondas de corte de la columna 1. ....	65
<b>Figura 8.</b> Perfil de velocidad de ondas de corte de la columna 2. ....	65
<b>Figura 9.</b> Perfil de velocidad de ondas de corte de la columna 3. ....	66
<b>Figura 10.</b> Espectros de respuesta en superficie para la columna 1. ....	67
<b>Figura 11.</b> Espectros de respuesta en superficie para la columna 2. ....	68
<b>Figura 12.</b> Espectros de respuesta en superficie para la columna 3. ....	68
<b>Figura 13.</b> Espectros de respuesta promedio en superficie para la presa de relaves. ....	69
<b>Figura 14.</b> Aceleraciones espectrales para el cálculo del coeficiente sísmico. ..	71
<b>Figura 15.</b> Ubicación en planta del contrafuerte 2A. ....	76
<b>Figura 16.</b> Sección geotécnica 3-3'- Contrafuerte 2A. ....	76
<b>Figura 17.</b> Ubicación en planta de los contrafuertes 3A y 3B. ....	77
<b>Figura 18.</b> Sección geotécnica 3-3' - Contrafuertes 3A y 3B. ....	77
<b>Figura 19.</b> Aceleraciones espectrales para el cálculo de desplazamientos permanentes por el método de Bray y Travasarou (2007). ....	80
<b>Figura 20.</b> Sección geotécnica para el cálculo de desplazamientos permanentes por el método de Houston et al. (1987). ....	82
<b>Figura 21.</b> Perfil de velocidad de ondas de corte de la columna 1 para el análisis de desplazamientos permanentes por el método de Houston et al. (1987). ....	83

<b>Figura 22.</b> Perfil de velocidad de ondas de corte de la columna 2 para el análisis de desplazamientos permanentes por el método de Houston et al. (1987). .....	83
<b>Figura 23.</b> Perfil de velocidad de ondas de corte de la columna 3 para el análisis de desplazamientos permanentes por el método de Houston et al. (1987). .....	84
<b>Figura 24.</b> Desplazamientos permanentes acumulados determinados por el método de Houston et al. (1987) para la columna 1.....	86
<b>Figura 25.</b> Desplazamientos permanentes acumulados determinados por el método de Houston et al. (1987) para la columna 2.....	86
<b>Figura 26.</b> Desplazamientos permanentes acumulados determinados por el método de Houston et al. (1987) para la columna 3.....	87

## INTRODUCCIÓN

Las presas de relaves son una de las estructuras geotécnicas más importantes la industria minera y sus fallas representan el mayor riesgo en términos de inestabilidad mecánica. Por ello, el diseño de las presas de relave y la evaluación del potencial de falla de las mismas es muy importante dado que estas fallas ocasionan pérdidas de vidas humanas, económicas y ambientales. En las presas de relaves ubicadas en Perú, tenemos como principales factores que incrementan el riesgo de falla a los fenómenos inducidos por sismo, la existencia de materiales de cimentación conformados por suelos blandos saturados y una calidad pobre del diseño geotécnico.

Con la finalidad de disminuir el riesgo de falla de estas presas de relaves es necesario desarrollar un diseño geotécnico adecuado. Para ello, la calidad y cantidad de las investigaciones geotécnicas debe ser la adecuada de manera tal que los materiales que conforman la presa de relaves puedan ser caracterizados de manera correcta. Asimismo, la ejecución del análisis geotécnico es muy importante para poder estimar el comportamiento de este tipo de estructuras.

Bajo esa premisa, para el presente estudio se ha evaluado la estabilidad física de una presa de relaves cimentada sobre suelos blandos saturados y ubicada en una zona de alta sismicidad empleando información adecuada de investigaciones geotécnicas en términos de cantidad y calidad para finalmente recomendar medidas de estabilización garantizando así la estabilidad física de la presa de relaves en estudio.

## CAPÍTULO I: GENERALIDADES

### 1.1. OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo de investigación son los siguientes:

- Evaluar las condiciones de estabilidad de la configuración actual de una presa de relaves cimentada sobre suelos blandos saturados y ubicada en una zona de alta sismicidad.
- Evaluar las condiciones de estabilidad del crecimiento de la misma presa en estudio comprendida en dos fases cuyo diseño de ingeniería fue desarrollado en un estudio previo.
- Realizar la actualización de los parámetros geotécnicos de los materiales que conforman la presa de relaves empleando información complementaria a la ya existente de investigaciones de campo y ensayos de laboratorio desarrollados para el presente estudio.
- Recomendar medidas de estabilización para garantizar la estabilidad física de la presa de relaves durante su construcción y a largo plazo.

### 1.2. ANTECEDENTES

Las presas de relaves son una de las estructuras geotécnicas más importantes de la industria minera y sus fallas representan el mayor riesgo en términos de inestabilidad mecánica. Por ello, el diseño de las presas de relave y la evaluación del potencial de falla de las mismas es muy importante dado que estas fallas ocasionan pérdidas de vidas humanas, económicas y ambientales.

En las presas de relaves ubicadas en Perú, tenemos como principales factores que incrementan el riesgo de falla a los fenómenos inducidos por sismo, la existencia de materiales de cimentación conformados por suelos blandos saturados y una calidad pobre del diseño geotécnico.

Con la finalidad de disminuir el riesgo de falla de estas presas de relaves es necesario desarrollar un diseño geotécnico adecuado. Para ello, la

calidad y cantidad de las investigaciones geotécnicas debe ser la adecuada de manera tal que los materiales que conforman la presa de relaves puedan ser caracterizados de manera correcta. Asimismo, la ejecución del análisis geotécnico es muy importante para poder estimar el comportamiento de este tipo de estructuras.

Con base en lo descrito anteriormente, para el presente estudio se complementaron las investigaciones geotécnicas existentes de un proyecto minero, con la finalidad de actualizar la caracterización de los materiales que conforman el modelo geotécnico y realizar los análisis geotécnicos necesarios para el adecuado diseño de la presa de relaves en estudio.

### 1.3. INFORMACIÓN GENERAL

#### 1.3.1. Ubicación

El área de estudio se encuentra ubicada en el centro del Perú, a una altitud promedio de 4250 msnm. El acceso a la zona de estudio se realiza por una carretera afirmada desde la Carretera Central.

#### 1.3.2. Geología

La zona de emplazamiento de la presa de relaves en estudio está conformada litológicamente por sedimentos consolidados que reflejan un periodo de emersión y una intensa denudación denominado Capas Rojas, pertenecientes a la formación Casapalca (Cretáceo Superior - Eoceno), se presentan cubriendo la mayor parte del área en estudio y está parcialmente cubierto por materiales cuaternarios y recientes.

Localmente el área de estudio presenta una topografía moderada a suave con una geomorfología de superficie de puna, relacionado a un ambiente glaciar de clima frío con altitudes que varían entre los 4400 y 4800 msnm.

La geomorfología del área de estudio es el resultado de un proceso erosivo que han sufrido las formaciones rocosas por acción de los agentes geológicos como la lluvia, el hielo y el viento, sin dejar de lado

las características estructurales que juegan un papel importante en el modelamiento de la superficie.

En el área de estudio resaltan unidades geomorfológicas como cerros, lomas y colinas, con pendientes suaves a moderadas. La acción antrópica está presente por la infraestructura y depósitos de relave minero que han ayudado a una variación de la morfología natural del área.

En el área de estudio, desde el punto de vista de la geodinámica externa, no existe ningún riesgo significativo en cuanto a fenómenos naturales como huaycos, aluviones, inundaciones y otros, debido a la configuración del lugar, a la topografía de la zona y las condiciones geológicas geotécnicas favorables del área.

### 1.3.3. Sismicidad

#### 1.3.3.1 Generalidades

El Perú se encuentra dentro de un ambiente tectónico activo conocido como Cinturón del Fuego del Pacífico donde se registra la mayor actividad sísmica asociada al proceso de Subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana. El proceso de subducción de las placas ha dado origen a la formación de la Cordillera de los Andes que se extiende a lo largo del continente sudamericano, desde Venezuela hasta el Sur de Chile.

El territorio peruano se encuentra zonificado de acuerdo a su sismicidad. Según el mapa de zonificación sísmica propuesto en la norma de Diseño Sismorresistente E.030 del Reglamento nacional de Edificaciones del año 2016, el área de estudio se encuentra comprendida en la Zona 3, correspondiéndole una sismicidad alta, con un factor de zona (Z) de 0,35. De acuerdo a la información de sismicidad histórica recopilada por Silgado (1978), en el área cercana del proyecto han ocurrido sismos de intensidad de hasta VI en la escala de Mercalli Modificada.

En el presente estudio, se tomó como referencia un estudio de peligro sísmico realizado el año 2015 para la determinación de la aceleración de

diseño y la verificación de estabilidad física de la presa de relaves analizada.

### 1.3.3.2 Aceleración de diseño

Los movimientos del terreno fueron calculados utilizando las aproximaciones probabilísticas y determinísticas. El análisis determinístico revisa datos sobre sismicidad histórica y sobre la geología del área de estudio para generar valores únicos estimados de la aceleración máxima horizontal del suelo (PGA) para las diferentes fuentes sísmicas, como la de subducción o corteza en este caso. Durante muchos años se pensó que el enfoque determinístico resulta en una evaluación conservadora de la sismicidad; sin embargo, se ha demostrado lo contrario. Por otro lado, el análisis probabilístico toma en cuenta escenarios sísmicos combinando magnitud y distancia para cada fuente sismogénica y estima la probabilidad de ocurrencia de aceleraciones en el terreno generados por sismos para un periodo específico. De esta manera los resultados se emplean para seleccionar los parámetros de diseño sísmico con base en la probabilidad de excedencia de un valor de aceleración adoptado, durante la vida útil de servicio de una estructura o para un período de retorno establecido.

El estudio de peligro sísmico existente empleó las fuentes sismogénicas de Gamarra y Aguilar (2009) verificadas con información sísmica actualizada al año 2014 y empleó 15 fuentes sismogénicas, entre subducción y de corteza, 3 de interfase, 3 de intraplaca superficial, 4 de intraplaca intermedia y 5 continentales. Asimismo, se utilizaron las leyes de atenuación de Youngs et al. (1997) y Zhao et al. (2006) para sismos de subducción y la ley de Sadigh et al. (1997) para sismos continentales. Los valores de PGA obtenidos del análisis probabilístico se presentan en la **Tabla 1**. Asimismo, a modo de comparación se obtuvieron los valores de PGA recomendados por el estudio de peligro sísmico regional realizado por Castillo y Alva (1993) los cuales se presentan en la misma tabla.

**Tabla 1.** Aceleraciones máximas horizontales obtenidas del análisis probabilístico - suelo tipo B (roca).

Estudio	PGA (g) para Tr (años)					
	100	200	475	975	2475	10 000
Castillo y Alva (1993)	-	-	0,30	0,36	-	
Anddes (2015a)	0,15	0,20	0,27	0,34	0,46	0,66

**Abreviaturas:**

PGA: Aceleración máxima horizontal del suelo.

Tr: Periodo de retorno.

De acuerdo a esta información, para el presente estudio se adoptó un valor de 0,27 g como PGA esperado en la zona de estudio para un periodo de retorno de 475 años en un terreno correspondiente a la clasificación B o roca, de acuerdo al código International Building Code (IBC, 2012) resumido en **Tabla 2**, el cual corresponde a un tiempo de exposición de una estructura de 50 años de vida útil, con una probabilidad de excedencia de 10%. Asimismo, en **Tabla 3** se presenta la clasificación del suelo de acuerdo a la Norma Técnica de Diseño Sismorresistente E030 (2016).

**Tabla 2.** Clasificación de sitio (IBC, 2012).

Tipo de suelo	Nombre del perfil de suelo	Propiedades promedio en los 30 primeros metros (Site Classification ASCE/SEI 7-10)		
		Velocidad de ondas de corte $V_s$ (m/s)	Resistencia a la penetración estándar N	Resistencia al corte no drenada $S_u$ (psf)
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$	N/A	N/A
B	Roca	$760 < V_s \leq 1500$	N/A	N/A
C	Suelo muy denso o roca blanda	$360 < V_s \leq 760$	$N > 50$	$S_u \geq 2000$
D	Suelo rígido	$180 \leq V_s \leq 360$	$15 \leq N \leq 50$	$1000 \leq S_u \leq 2000$
E	Suelo blando	$V_s < 180$	$N < 15$	$S_u < 1000$
E	-	Cualquier perfil de suelo con más de 3 m de espesor que tenga las siguientes características: <ul style="list-style-type: none"> <li>Índice de plasticidad (IP) &gt; 20</li> <li>Contenido de humedad (w) <math>\geq 40\%</math> y</li> <li>Resistencia al corte no drenada <math>S_u &lt; 500</math> psf</li> </ul>		
F	-	Cualquier perfil de suelo que contenga una o más de las siguientes características: <ul style="list-style-type: none"> <li>Suelos vulnerables a una posible fractura o colapso</li> </ul>		

Tipo de suelo	Nombre del perfil de suelo	Propiedades promedio en los 30 primeros metros (Site Classification ASCE/SEI 7-10)		
		Velocidad de ondas de corte $V_s$ (m/s)	Resistencia a la penetración estándar N	Resistencia al corte no drenada $S_u$ (psf)
		bajo efecto sísmico, por ejemplo: suelos licuables, arcillas altamente sensibles y suelos débilmente cementados. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Turbas y/o arcillas altamente orgánicas (<math>H &gt; 3</math> m de turba y/o arcillas altamente orgánicas, donde <math>H</math> = espesor del suelo).</li> <li>• Arcillas de muy alta plasticidad (<math>H &gt; 7,6</math> m con índice de plasticidad <math>IP &gt; 75</math>).</li> <li>• Arcillas gruesas suaves a medias (<math>H &gt; 36</math> m).</li> </ul>		

**Abreviaturas:**

IBC: International Building Code.

 $V_{s30}$ : Velocidad promedio de ondas de corte en los primeros 30 m de profundidad.

N/A = No aplicable.

**Tabla 3.** Clasificación de los perfiles de suelo (Norma E030, 2016).

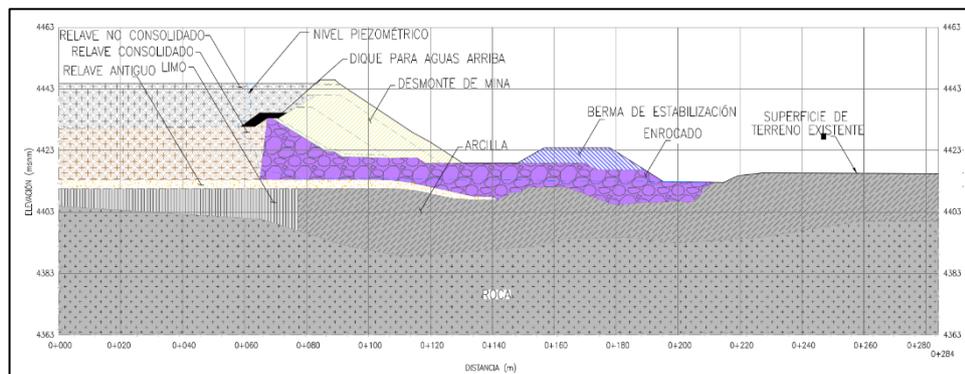
Suelo	Perfil	Velocidad de ondas de corte $V_s$ (m/s)
Roca dura	S <sub>0</sub>	$V_s > 1500$
Roca o suelos muy rígidos	S <sub>1</sub>	$500 < V_s \leq 1500$
Suelos intermedios	S <sub>2</sub>	$180 < V_s \leq 500$
Suelos blandos	S <sub>3</sub>	$V_s < 180$
Condiciones Excepcionales	S <sub>4</sub>	Clasificación basada en el estudio de mecánica de suelos

**Abreviaturas:** $V_s$ : Velocidad promedio de ondas de corte.

## 1.3.4. Descripción de la presa de relaves

La presa de relaves en estudio fue construida con material de préstamo por el método de construcción aguas abajo. El material utilizado para la construcción de la presa fue desmonte de mina y enrocado; esta presa forma un depósito donde se colocan los relaves convencionales que provienen de la planta concentradora de la mina. Asimismo, la cimentación está conformada por suelos blandos saturados, relaves antiguos y material de desmonte de mina. Cabe mencionar que el cuerpo inicial de la presa está conformado por material de enrocado. Actualmente la presa de relaves se encuentra a la cota 4446 msnm.

El diseño original del crecimiento de la presa desde la cota 4444,8 msnm hasta la cota 4446,0 msnm fue realizado en un estudio previo el cual incluyó un contrafuerte de enrocado compactado construido como medida de estabilización debido a que la cimentación está conformada por suelos arcillosos blandos saturados normalmente consolidados. Asimismo, este diseño de ingeniería comprende dos fases de crecimiento las cuales fueron evaluadas en el presente estudio. Estas fases de crecimiento denominadas Fases 2 y 3 consisten en la construcción secuencial de un contrafuerte de desmonte de mina a lo largo de todo el pie de la presa hasta la cota 4426 y 4439 msnm, respectivamente. La **Figura 1** muestra la sección geotécnica representativa de la presa de relaves en estudio.



**Figura 1.** Sección geotécnica representativa de la presa de relaves.

#### 1.4. CONTENIDO DEL ESTUDIO

El presente estudio trata sobre la evaluación geotécnica de una presa de relaves cimentada sobre suelos blandos saturados en una zona de alta sismicidad. Dicha evaluación involucra la realización de diversas actividades, tales como la recopilación de información de la zona de estudio, campañas de investigaciones geotécnicas complementarias, realización de ensayos de laboratorio para la caracterización física y mecánica de los materiales que conforman el modelo geotécnico, evaluación y procesamiento de la información de campo, análisis de infiltración, análisis de consolidación unidimensional, análisis de respuesta sísmica, estabilidad física de taludes y análisis de desplazamientos permanentes. Para un mejor entendimiento y

estructuración de todo ello, han sido considerados ocho capítulos los cuales se describen a continuación:

En el CAPÍTULO I se dan a conocer los objetivos del estudio y el porqué de su realización para comprender la importancia del mismo. Asimismo, se comentan los factores significativos para el ámbito de estudio tales como la ubicación, geología y sismicidad.

El CAPÍTULO II abarca lo correspondiente a las investigaciones geotécnicas de campo y ensayos de laboratorio realizados en la zona en estudio. Asimismo, comprende la instrumentación geotécnica existente ubicada en la zona de estudio. Esta información es de vital importancia para la caracterización física y mecánica de los materiales que conforman el modelo geotécnico de la presa de la relaves en estudio.

El CAPÍTULO III trata sobre la determinación de los parámetros geotécnicos de los materiales que conforman el modelo geotécnico de la presa de la relaves en estudio los cuales se basaron en la información obtenida de las investigaciones geotécnicas de campo y los ensayos de laboratorio realizados.

El CAPÍTULO IV trata sobre la evaluación geotécnica para el presente estudio la cual comprende el desarrollo del análisis de infiltración, análisis de consolidación unidimensional, análisis de respuesta sísmica, estabilidad física de taludes y análisis de desplazamientos permanentes. Estos análisis permitieron determinar las condiciones de estabilidad física de la presa en estudio.

Finalmente en el CAPÍTULO V se presentan las conclusiones y recomendaciones.

## CAPÍTULO II : INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS

### 2.1. GENERALIDADES

Con la finalidad de evaluar las condiciones geotécnicas de los materiales que conforman los suelos de cimentación y el cuerpo de la presa de relaves se revisaron las investigaciones geotécnicas realizadas en estudios anteriores. Con base en esta revisión y con la finalidad de actualizar la caracterización de los materiales que conforman la presa en estudio, se realizó una campaña de investigaciones geotécnicas complementarias a las ya existentes. Las investigaciones geotécnicas realizadas consistieron en la ejecución y supervisión de calicatas y perforaciones diamantinas, desarrollo de puntos de muestreo, ensayos de piezocono sísmico y ensayos geofísicos. La ubicación de todas las investigaciones geotécnicas realizadas en la zona de estudio se muestra en el **Mapa M-1** (Ver Anexo L).

### 2.2. CALICATAS

Se realizaron treinta y cinco calicatas con la finalidad de evaluar las condiciones geotécnicas de los materiales que conforman la cimentación de la presa. En cada una de las ellas se realizó una descripción detallada de los estratos registrados de acuerdo a la norma ASTM D2488. Posteriormente, se tomaron muestras disturbadas representativas las cuales fueron enviadas a un laboratorio geotécnico para su respectiva caracterización física y mecánica. El resumen detallado de las calicatas ejecutadas se presenta en la **Tabla 4**. Asimismo, los registros de campo y el registro fotográfico de las mismas se presentan en los **Anexos A y E**.

**Tabla 4.** Resumen de calicatas ejecutadas.

Calicata	Profundidad (m)	Nivel de agua (m)	Nivel de roca (m)
TP_H09 - 101	0,5	NE	0,3
TP_H09 - 102	1,0	NE	NE
TP_H09 - 103	0,1	NE	0,0
TP_H09 - 104	1,0	NE	0,2
TP_H09 - 105	3,5	1,8	3,5
TP_H09 - 106	1,0	NE	1,0

Calicata	Profundidad (m)	Nivel de agua (m)	Nivel de roca (m)
TP_H09 - 107	0,7	NE	0,7
TP_H09 - 108	5,5	2,4	NE
TP_H09 - 109	5,0	2,3	NE
TP_H09 - 110	4,2	2,2	NE
TP_H09 - 111	5,2	3,0	NE
TP_H09 - 112	5,5	2,7	NE
TP_H09 - 113	4,5	2,4	NE
TP_H09 - 114	5,0	1,6	NE
TP_H09 - 115	4,5	1,6	NE
TP_H09 - 116	4,0	2,8	NE
TP_H09 - 117	5,5	4,1	NE
TP_H09 - 118	5,5	2,7	NE
TP_H09 - 119	5,5	2,9	NE
TP_H09 - 120	5,5	1,1	NE
TP_H09 - 121	5,5	NE	2,8
TP_H09 - 122	4,7	NE	NE
TP_H09 - 123	5,2	NE	NE
TP_H09 - 124	4,0	NE	4,0
TP_H09 - 125	0,2	NE	0,2
TP_H09 - 126	2,4	1,5	2,4
TP_H09 - 127	0,2	NE	0,2
TP_H09 - 128	0,6	NE	0,6
TP_H09 - 129	0,3	NE	0,3
TP_H09 - 130	0,7	NE	0,7
CA-HUA14-01	4,0	NE	NE
CA-HUA14-02	3,5	NE	NE
CA-HUA14-03	5,0	NE	NE
CA-HUA14-04	2,5	NE	NE
CA-HUA14-05	3,0	NE	NE

**Abreviaturas:**

NE: No encontrado.

### 2.3. PERFORACIONES

Se ejecutaron seis perforaciones diamantinas con la finalidad de conocer la estratigrafía del suelo de cimentación y de la presa, asimismo, se extrajeron muestras inalteradas de las mismas para posteriormente ser derivadas a un laboratorio geotécnico para su caracterización física y mecánica. El resumen detallado de las perforaciones ejecutadas se presenta en la **Tabla 5**. Asimismo, los registros de las mismas se presentan en el **Anexos A**.

**Tabla 5.** Resumen de perforaciones ejecutadas.

Perforación	Profundidad (m)	Nivel de agua (m)	Nivel de roca (m)
DH_H09 - 101	35,2	7,2	21,2
DH_H09 - 102	40,2	0,0	12,3
DH_H09 - 103	25,0	13,7	13,9
DH_H09 - 104	40,2	0,0	17,4
DH_H09 - 105	40,5	14,0	13,5
DH_H09 - 106	40,2	30,7	11,3

**Abreviaturas:**

\*\*\*: Información no disponible.

**2.4. PUNTOS DE MUESTREO**

Se realizó la excavación y registro de seis puntos de muestreo convenientemente ubicados y distribuidos dentro del depósito de relaves con la finalidad de extraer muestras disturbadas superficiales representativas de relave, las cuales fueron enviadas posteriormente a un laboratorio geotécnico para su respectiva caracterización física y mecánica. El resumen detallado de los puntos de muestreo realizados se presenta en la **Tabla 6**. Asimismo, el registro fotográfico de las mismas se presenta en el **Anexo E**.

**Tabla 6.** Resumen de puntos de muestreo de relave.

Punto de muestreo	Material muestreado
PM-HUA14-01	Relave almacenado en la presa de relaves
PM-HUA13-02	
PM-HUA13-03	
PM-HUA13-04	
PM-HUA13-05	
PM-HUA13-06	

**2.5. ENSAYOS DE PIEZOCONO - SUELO DE CIMENTACIÓN**

Se realizó un ensayo de penetración de cono con medición de presiones intersticiales (CPTu) y nueve ensayos de penetración de cono sísmico

(SCPTu). El propósito de estos ensayos fue caracterizar las condiciones geotécnicas *in situ* de la cimentación de la presa de relaves así también, del relave contenido en el depósito. Los ensayos SCPTu permitieron determinar las propiedades geotécnicas del material arcilloso que conforma el suelo de cimentación como grado de consolidación, resistencia no drenada, velocidad de ondas de corte, índices típicos de resistencia, entre otros. El resumen de los ensayos CPTu y SPCTu realizados se presenta en la **Tabla 7**. Asimismo, los registros de las mediciones realizadas y el registro fotográfico de los mismos se presentan en los **Anexos B y E**, respectivamente.

**Tabla 7.** Resumen de puntos de muestreo realizados.

Sondaje	Ubicación	Profundidad (m)	Nivel freático (m)
CPT15-01	Playa de relaves	6,7	4,2
SCPT15-01B	Playa de relaves	8,5	3,1
SCPT15-02	Cimentación	27,9	7,5
SCPT15-03	Playa de relaves	12,3	NE
SCPT15-04	Cimentación	16,0	9,1
SCPT15-05	Cimentación	15,5	3,6
SCPT15-06	Cimentación	12,3	0,5
SCPT15-07B	Cimentación	15,0	1,6
SCPT15-08	Cimentación	12,0	10,3
SCPT15-09	Cimentación	11,4	2,5
CPT15-10(*)	Cimentación	-	-

**Abreviaturas:**

NE: No encontrado.

(\*): Solo se ejecutó perforación por presencia de material denso.

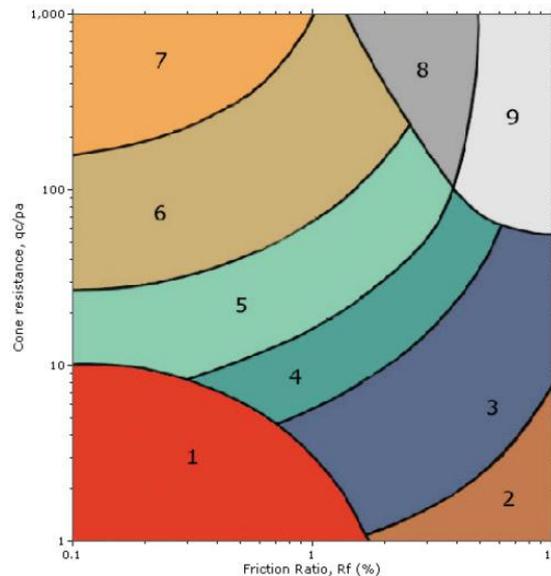
Para determinar el tipo de suelo en función de la resistencia de cono se empleó la información establecida por Lunne et al. (1997) la cual se resume en la **Tabla 8** y **Figura 2**.

**Tabla 8.** Tipo de suelo de acuerdo a la resistencia de cono (Lunne et al., 1997)

Zona	Tipo de suelo
1	Grano fino
2	Material orgánico

Zona	Tipo de suelo
3	Arcilla
4	Arcilla limosa a arcilla
5	Limo arcilloso a arcilla limosa
6	Limo arenoso a limo arcilloso
7	Arena limosa a limo arenoso
8	Arena a arena limosa
9	Arena
10	Arena gravosa a arena
11	Grano fino rígido
12	Arena a arena arcillosa

Las zonas definidas por Lunne et al. (1997) se presentan en la **Figura 2**.



**Figura 2.** Zonas de tipo de suelo en función de la resistencia de cono.

Asimismo, a continuación se presentan las correlaciones establecidas por Mayne (2013) y empleadas para determinar la resistencia no drenada, grado de consolidación, y número de golpes ( $N_{60}$ ) obtenido de los ensayos de penetración estándar (SPT) en función de los resultados obtenidos de los ensayos de piezocono.

$$S_u = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{N_c}$$

$$N_{60} = \frac{(q_t/P_{atm})}{8.5 \times (1 - I_c/4.6)}$$

$$I_c = \left( (3.47 - \log((q_t - \sigma_{v0})/\sigma_{v0}))^2 + (\log F_r + 1.22)^2 \right)^{0.5}$$

$$OCR = 0.3 \times (q_t - \sigma_{v0})/\sigma_{v0}$$

Donde:

$S_u$  : Resistencia no drenada.

$q_t$  : Resistencia de cono.

$\sigma_{v0}$  : Resistencia vertical

$N_c$  : Factor de capacidad de carga

$N_{60}$  : Número de golpes SPT.

$P_{atm}$  : Presión atmosférica.

$I_c$  : Índice de tipo de suelo.

$F_r$  : Razón de fricción.

$OCR$  : Grado de consolidación.

A continuación con base en las referencias anteriormente mencionadas, se describe cada uno de los ensayos de piezocono ejecutados en función de los resultados de SCPTu y su correlación con  $N_{60}$  y el tipo de suelo de acuerdo al Soil Behaviour Type (SBT).

Piezocono CPT15-01: Desde la superficie hasta 0,2 m de profundidad se registró material de relave que clasifica como limo de plasticidad baja y consistencia muy blanda. De 0,2 a 2,0 m de profundidad se registró material de relave que clasifica como arena limosa de plasticidad baja y compacidad muy suelta (resistencia de punta del cono o  $q_t$ ) = 2,9 MPa, o su equivalente en número de golpes del ensayo SPT normalizado o  $N_{60}$  = 0 a 4 golpes/30 cm). De 2,0 a 6,7 m de profundidad se registró material de relave cuya clasificación varía entre limo, limo arenoso y limo arcilloso de plasticidad nula a baja y consistencia muy blanda a blanda ( $q_t < 2,0$  MPa o  $N_{60} < 4$  golpes/30 cm). En este ensayo se estimó que el nivel de agua se encuentra a 4,2 m de profundidad.

Piezocono sísmico SCPT15-01B: Desde la superficie hasta 4,8 m de profundidad se registró material de relave que clasifica como limo de plasticidad baja y muy blando ( $q_t < 0,9$  MPa o  $N_{60} < 2$  golpes/30 cm). De 4,8 a 6,2 m de profundidad se registró material relave que clasifica como arcilla con lentes de limo y arcilla limosa de plasticidad baja y consistencia muy blanda ( $q_t < 0,7$  MPa o  $N_{60} < 2$  golpes/30 cm). De 6,2 a 8,5 m de profundidad se registró material de relave cuya clasificación varía entre limo arcilloso, limo, limo arenoso y arcilla limosa de plasticidad nula a baja y consistencia blanda ( $q_t < 1,8$  MPa o  $N_{60} = 2$  a 4 golpes/30 cm). En este ensayo se estimó que el nivel de agua se encuentra a 3,1 m de profundidad.

Piezocono sísmico SCPT15-02: Desde la superficie hasta 13,5 m de profundidad se registró material de enrocado el cual fue perforado y removido para iniciar con el piezocono sísmico. De 13,5 a 17,2 m de profundidad se registró relave que clasifica como limo arcilloso de plasticidad nula a baja y consistencia blanda ( $q_t < 1,4$  MPa o  $N_{60} = 2$  a 4 golpes/30 cm). De 17,2 a 18,5 m de profundidad se registró un material que clasifica como limo arcilloso de plasticidad nula a baja y consistencia blanda a firme ( $q_t < 2,3$  MPa o  $N_{60} = 2$  a 6 golpes/30 cm). De 18,5 a 20,0 m de profundidad se registró un material cuya clasificación varía entre limo arcilloso y limo de plasticidad nula a baja y consistencia firme ( $q_t < 4,2$  MPa o  $N_{60} = 4$  a 8 golpes/30 cm). De 20,0 a 21,6 m de profundidad se registró un material que clasifica como limo arcilloso de plasticidad nula a baja y consistencia firme ( $q_t < 5,0$  MPa o  $N_{60} = 4$  a 8 golpes/30 cm). De 21,6 m de profundidad hasta el final de la perforación se registró un material cuya clasificación varía entre limo, limo arcilloso y limo arenoso de plasticidad baja y consistencia firme a rígido ( $q_t < 6,0$  MPa o  $N_{60} = 4$  a 15 golpes/30 cm). En este ensayo se estimó que el nivel de agua se encuentra a 7,5 m de profundidad.

Piezocono sísmico SCPT15-03: Desde la superficie hasta 7,0 m de profundidad se registró material de relave cuya clasificación varía entre limo, arcilla y arcilla limosa de plasticidad nula y consistencia blanda ( $q_t < 0,5$  MPa o  $N_{60} < 2$  golpes/30 cm). De 7,0 a 8,5 m de profundidad se registró material de relave que clasifica como limo arenoso con lentes de

limo y arcilla limosa de plasticidad nula y consistencia blanda ( $q_t < 2,8$  MPa o  $N_{60} = 2$  a 4 golpes/30 cm). De 8,5 m de profundidad hasta el final de la perforación se registró material de relave cuya clasificación varía entre arena limosa, limo arenoso y arcilla limosa de plasticidad nula a baja y consistencia firme a rígida ( $q_t < 6,0$  MPa o  $N_{60} = 4$  a 15 golpes/30 cm).

Piezocono sísmico SCPT15-04: Desde la superficie hasta 14,75 m de profundidad se registró material de enrocado el cual fue perforado y removido para iniciar con el piezocono sísmico. De 14,75 a 16,0 m de profundidad se registró un material cuya clasificación varía entre arcilla, limo arcilloso y arena limosa de plasticidad baja y consistencia firme a rígida ( $q_t = 1,0$  a 3,2 MPa o  $N_{60} = 4$  a 15 golpes/30 cm). En este ensayo se estimó que el nivel de agua se encuentra a 9,1 m de profundidad.

Piezocono sísmico SCPT15-05: Desde la superficie hasta 2,5 m de profundidad se registró un material cuya clasificación varía entre arcilla y arcilla limosa de plasticidad baja y consistencia muy blanda a blanda ( $q_t < 1,2$  MPa o  $N_{60} = 1$  a 4 golpes/30 cm). De 2,5 a 4,5 m de profundidad se registró una material que clasifica como limo y limo arcilloso de plasticidad baja y consistencia blanda ( $q_t < 2,3$  MPa o  $N_{60} = 2$  a 4 golpes/30 cm). De 4,5 a 11,0 m de profundidad se registró un material cuya clasificación varía entre limo y limo arenoso con lentes de arcilla limosa de plasticidad baja y consistencia firme ( $q_t < 3,0$  MPa o  $N_{60} = 4$  a 8 golpes/30 cm). De 11,0 m de profundidad hasta el final de la perforación se registró un material que clasifica como arena limosa pobremente gradada con lentes de limo de plasticidad nula a baja y compacidad medianamente densa ( $q_t = 8,0$  a 20,0 MPa o  $N_{60} = 10$  a 30 golpes/30 cm). En este ensayo se estimó que el nivel de agua se encuentra a 3,6 m de profundidad.

Piezocono sísmico SCPT15-06: Desde la superficie hasta 2,5 m de profundidad se registró un material cuya clasificación varía entre limo arenoso y limo con lentes de arena limosa de plasticidad baja y consistencia blanda ( $q_t < 2,0$  MPa o  $N_{60} = 2$  a 4 golpes/30 cm). De 2,5 a 9,5 m de profundidad se registró un material cuya clasificación varía

entre arcilla y arcilla limosa de plasticidad baja a media y consistencia muy blanda ( $q_t = 0,5$  a  $2,4$  MPa o  $N_{60} = 0$  a  $2$  golpes/30 cm). De  $9,5$  m de profundidad hasta el final de la perforación se registró un material cuya clasificación varía entre arcilla limosa y limo suelo de plasticidad baja y consistencia blanda ( $q_t < 1,2$  MPa o  $N_{60} = 2$  a  $4$  golpes/30 cm). En este ensayo se estimó que el nivel de agua se encuentra a  $0,5$  m de profundidad.

Piezocono sísmico SCPT15-07B: Desde la superficie hasta  $1,0$  m de profundidad se registró un material cuya clasificación varía entre limo arenoso y limo con lentes de arcilla de plasticidad baja y consistencia blanda a firme ( $q_t < 3,0$  MPa o  $N_{60} = 2$  a  $8$  golpes/30 cm). De  $1,0$  a  $6,0$  m de profundidad se registró un material cuya clasificación varía entre arcilla, arcilla limosa con lentes de limo y limo arenoso de plasticidad baja a media y consistencia muy blanda a blanda ( $q_t < 1,0$  MPa o  $N_{60} = 1$  a  $4$  golpes/30 cm). De  $6,0$  a  $7,75$  m de profundidad se registró un material cuya clasificación varía entre limo, limo arenoso y limo arcilloso de plasticidad baja y consistencia blanda ( $q_t < 2,8$  MPa o  $N_{60} = 2$  a  $4$  golpes/30 cm). De  $7,75$  m de profundidad hasta el final de la perforación se registró un material cuya clasificación varía entre limo arenoso y limo con lentes de arena limosa de plasticidad baja y consistencia rígida ( $q_t = 2,0$  a  $20,0$  MPa o  $N_{60} = 8$  a  $15$  golpes/30 cm). En este ensayo se estimó que el nivel de agua se encuentra a  $1,6$  m de profundidad.

Piezocono sísmico SCPT15-08: Desde la superficie hasta  $1,0$  m de profundidad se registró un material cuya clasificación que varía entre limo arenoso y limo de plasticidad baja y consistencia firme ( $q_t = 1,0$  a  $10,0$  MPa o  $N_{60} = 4$  a  $8$  golpes/30 cm). De  $1,0$  a  $7,0$  m de profundidad se registró un material cuya clasificación varía entre arcillosa limosa y limo de plasticidad nula a baja y consistencia muy blanda ( $q_t < 0,5$  MPa o  $N_{60} = 0$  a  $2$  golpes/30 cm). De  $7,0$  de profundidad hasta el final de la perforación se registró un material cuya clasificación varía entre limo, limo arenoso y limo arcilloso de plasticidad baja y consistencia firme a rígida ( $q_t < 10,0$  MPa o  $N_{60} = 8$  a  $15$  golpes/30 cm). En este ensayo se estimó que el nivel de agua se encuentra a  $10,3$  m de profundidad.

Piezocono sísmico SCPT15-09: Desde la superficie hasta 7,5 m de profundidad se registró material de enrocado y suelo de cimentación los cuales fueron perforados y removidos para iniciar con el piezocono sísmico. De 7,5 m de profundidad hasta el final de la perforación se registró un material cuya clasificación varía entre arcilla, limo arcilloso y limo de plasticidad nula a baja y consistencia muy blanda ( $q_t = 0,6$  MPa o  $N_{60} = 0$  a 2 golpes/30 cm). En este ensayo se estimó que el nivel de agua se encuentra a 2,5 m de profundidad.

## 2.6. ENSAYOS GEOFÍSICOS

### 2.6.1. Generalidades

Los ensayos geofísicos consistieron en ensayos de refracción sísmica y ensayos de ondas superficiales (MASW) los cuales fueron realizados con la finalidad de determinar en forma indirecta la estratigrafía del suelo de cimentación y estimar sus características sísmicas. En total, se ejecutó una longitud total de 700 m en 7 líneas de refracción sísmica, 400 m en 4 líneas de ensayos de análisis multicanal de ondas superficiales bidimensional (MASW2D), 8 ensayos MASW y 4 ensayos de medición de arreglo de microtemores (MAM). A partir de estos ensayos se puede estimar los parámetros de elasticidad, tales como el módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson, y los parámetros dinámicos de los suelos de cimentación mediante la determinación de las velocidades de propagación de las ondas de compresión y de corte.

### 2.6.2. Resultados obtenidos

A partir de la información obtenida de los ensayos geofísicos y procesamiento de los mismos, se generaron perfiles sísmicos bidimensionales y unidimensionales característicos de cada ensayo los cuales permitieron definir modelos sísmicos para el subsuelo del área en estudio. El resumen de las velocidades de onda de los perfiles obtenidos de los diferentes métodos geofísicos realizados se presenta en las **Tablas 9, 10, 11 y 12**. Asimismo, Los **Anexos C y E** presentan los resultados obtenidos y el registro fotográfico de los ensayos geofísicos realizados en el área en estudio, respectivamente. Cabe mencionar, que

el rango de velocidad de ondas primarias se ha establecido con base en experiencia propia en materiales similares.

**Tabla 9.** Resumen de los ensayos de refracción sísmica.

Área	Línea de refracción sísmica	Vp (m/s)	Espesor (m)	Descripción
Pie de dique (Zona 1)	LR-HU15-101A	250 - 400	1 - 5	Suelo arcilloso blando
		400 - 750	14 - 16	Suelo arcilloso firme
		750 - 1150	8 - 10	Suelo arcilloso rígido
	LR-HU15-102A	300 - 500	3 - 5	Suelo arcilloso blando
		500 - 750	10 - 12	Suelo arcilloso firme
		750 - 1350	12 - 15	Suelo arcilloso rígido
		1350 - 1500	4 - 7	Roca fracturada
Pie de dique (Zona 2)	LR-HU15-103B	500 - 700	5 - 7	Relleno controlado medianamente denso
		700 - 1300	12 - 15	Suelo arcilloso rígido
		1300 - 1700	5 - 8	Roca fracturada
	LR-HU15-104B	450 - 750	3 - 5	Relleno controlado medianamente denso
		750 - 1350	10 - 12	Suelo arcilloso rígido
		1350 - 1750	12 - 15	Roca fracturada
		1750 - 2500	4 - 7	Roca levemente fracturada
Dique	LR-HU15-105C	900 - 1050	7 - 15	Relleno controlado denso
		1050 - 1290	15 - 20	Relleno controlado muy denso
	LR-HU15-106C	900 - 1050	7 - 12	Relleno controlado denso
		1050 - 1380	15 - 20	Relleno controlado muy denso
	LR-HU15-107C	900 - 1050	3 - 5	Relleno controlado denso
		1050 - 1290	10 - 12	Relleno controlado muy denso

**Tabla 10.** Resumen de los ensayos MASW2D.

Área	Ensayo MASW2D	Vs (m/s)	Espesor (m)	Descripción
Pie de dique (Zona 2)	MASW2D-HU15-101B	320 - 360	2 - 5	Relleno controlado medianamente denso
		360 - 580	12 - 17	Relleno controlado denso
		580 - 820	10 - 15	Roca fracturada
	MASW2D-HU15-102B	350 - 450	4 - 6	Relleno controlado medianamente denso
		450 - 800	4 - 7	Suelo arcilloso rígido a muy rígido

Área	Ensayo MASW2D	Vs (m/s)	Espesor (m)	Descripción
		800 - 1050	15 - 20	Roca fracturada
Playa de relave	MASW2D-HU15-103D	115 - 240	5 - 8	Relave de compacidad suelta
		240 - 420	15 - 20	Relave de compacidad medianamente densa
	MASW2D-HU15-104D	110 - 230	5 - 8	Relave de compacidad suelta
		230 - 290	8 - 10	Relave de compacidad medianamente densa

**Tabla 11.** Resumen de los ensayos MASW.

Área	Ensayo MASW	Vs (m/s)	Profundidad (m)	Descripción
Pie de dique (Zona 1)	MASW-HU15-101A	110 - 190	0 - 5	Suelo arcilloso blando
		190 - 430	5 - 24	Suelo arcilloso firme a rígido
		430 - 490	24 - 30	Suelo arcilloso rígido a muy rígido
	MASW-HU15-102A	100 - 200	0 - 7	Suelo arcilloso blando
		200 - 430	7 - 27	Suelo arcilloso rígido
		430 - 450	27 - 30	Suelo arcilloso rígido a muy rígido
Pie de dique (Zona 2)	MASW-HU15-103B	170 - 190	0 - 7	Relleno controlado suelto a medianamente denso
		190 - 260	7 - 16	Suelo medianamente denso
		260 - 370	16 - 30	Suelo medianamente denso a denso
	MASW-HU15-104B	250 - 300	0 - 5	Relleno controlado medianamente denso
		300 - 420	5 - 11	Suelo arcilloso rígido a muy rígido
		420 - 480	11 - 13	Suelo muy denso
		480 - 770	13 - 30	Roca fracturada
Dique	MASW-HU15-105C	420 - 560	0 - 9	Relleno controlado denso a muy denso
		560 - 1120	9 - 30	Relleno controlado muy denso
	MASW-HU15-106C	430 - 600	0 - 9	Relleno controlado denso
		600 - 870	9 - 30	Relleno controlado muy denso
	MASW-HU15-107C	450 - 750	0 - 30	Relleno controlado denso a muy denso
Playa de relave	MASW-HU15-108D	140 - 180	0 - 9	Relave de compacidad suelta

Área	Ensayo MASW	Vs (m/s)	Profundidad (m)	Descripción
		180 - 360	9 - 26	Relave de compacidad medianamente densa
		360 - 450	26 - 30	Relave de compacidad muy densa

**Tabla 12.** Resumen de los ensayos MAM.

Área	Ensayo MAM	Vs (m/s)	Profundidad (m)	Descripción
Playa de relave	MAM-HU15-101D	130 - 170	0 - 8	Relave de compacidad suelta
		170 - 360	8 - 20	Relave de compacidad medianamente densa
		360 - 500	20 - 32	Relave de compacidad densa a muy densa
		500 - 660	32 - 46	Suelo muy denso
		660 - 1300	46 - 100	Roca fracturada
	MAM-HU15-102D	100 - 190	0 - 8	Relave de compacidad suelta
		190 - 400	8 - 20	Relave de compacidad medianamente densa
		400 - 580	20 - 32	Relave de compacidad densa a muy densa
		580 - 720	32 - 42	Suelo muy denso
		720 - 1450	42 - 100	Roca fracturada
	MAM-HU15-103D	110 - 190	0 - 8	Relave de compacidad suelta
		190 - 350	8 - 15	Relave de compacidad medianamente densa
		350 - 590	15 - 32	Relave de compacidad densa a muy densa
		590 - 660	32 - 46	Suelo muy denso
		660 - 1140	46 - 100	Roca fracturada
	MAM-HU15-104D	140 - 190	0 - 12	Relave de compacidad suelta
		190 - 390	12 - 32	Relave de compacidad medianamente densa
		390 - 470	32 - 58	Relave de compacidad densa
		470 - 770	58 - 100	Suelo muy denso

**Abreviaturas:**

Vp: Velocidad de ondas de compresión..

Vs: Velocidad de ondas de corte.

Los materiales que conforman el subsuelo de las áreas en donde se realizaron los ensayos geofísicos fueron clasificados de acuerdo al International Building Code (IBC, 2012), reportándose principalmente suelos principalmente de tipo C y D. El resumen de las velocidades de ondas de corte para la clasificación del tipo de suelo de acuerdo a la clasificación del IBC (2012) de los ensayos MASW y MAM se presenta en las **Tablas 13 y 14**, respectivamente.

**Tabla 13.** Resumen de las velocidades de las ondas de corte  $V_{s30}$  según el IBC (2012) para los ensayos MASW.

Ensayo MASW	$V_{s30}$ (m/s)	Tipo de suelo (IBC, 2012)
MASW-HU15-101A	252	D
MASW-HU15-102A	239	D
MASW-HU15-103B	236	D
MASW-HU15-104B	432	C
MASW-HU15-105C	712	C
MASW-HU15-106C	636	C
MASW-HU15-107C	554	C
MASW-HU15-108D	218	D

**Tabla 14.** Resumen de las velocidades de las ondas de corte  $V_{s30}$  según el IBC (2012) para los ensayos MAM.

Ensayo MAM	$V_{s30}$ (m/s)	Tipo de suelo (IBC, 2012)
MAM-HU15-101D	245	D
MAM-HU15-102D	250	D
MAM-HU15-103D	263	D
MAM-HU15-104D	215	D

**Abreviaturas:**

$V_{s30}$ : Velocidad de ondas de corte promedio para los primeros 30 m de profundidad.

Asimismo, a partir de los resultados obtenidos y mediante la aplicación de formulaciones detalladas a continuación se calcularon los parámetros dinámicos de los materiales que conforman el modelo sísmico de las zonas evaluadas los cuales se calcularon a partir de las velocidades de onda de cuerpo y corte.

$$v = \frac{0.5 \times (V_p/V_s)^2 - 1}{(V_p/V_s)^2 - 1}$$

$$G = \rho \times V_s^2$$

$$E = 2G(1 + v)$$

Donde:

$v$  : Coeficiente de poisson.

$V_p$  : Velocidad de ondas primarias.

$V_s$  : Velocidad de ondas de corte.

$G$  : Módulo de corte.

$\rho$  : Densidad del suelo.

Los parámetros dinámicos obtenidos para cada estrato sísmico del área explorada se presentan en las **Tablas 15 y 16**.

**Tabla 15.** Parámetros dinámicos para el área del pie de dique (Zona 1) - LR-HU15-102 / MASW-HU15-102.

Material	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Prof. (m)	$V_p$ (m/s)	$V_s$ (m/s)	$V_p/V_s$	$\mu$	$E_{m\acute{a}x}$ (MPa)	$G_{m\acute{a}x}$ (MPa)
Suelo arcilloso blando	16	3	320	130	2,44	0,40	75,8	27,0
Suelo arcilloso firme	18	15	690	300	2,30	0,38	448,2	162,0
Suelo arcilloso rígido	19	25	1000	450	2,22	0,37	1056,6	384,8

**Tabla 16.** Parámetros dinámicos para el área de la presa (Cuerpo) - LR-HU15-106 / MASW-HU15-106.

Material	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Prof. (m)	$V_p$ (m/s)	$V_s$ (m/s)	$V_p/V_s$	$\mu$	$E_{m\acute{a}x}$ (MPa)	$G_{m\acute{a}x}$ (MPa)
Relleno controlado denso	20	5	1000	520	1,92	0,31	1422,0	540,8
Relleno controlado muy denso	21	20	1350	750	1,80	0,28	3016,4	1181,3

**Abreviaturas:**

γ: Peso específico.

Prof.: Profundidad.

μ: Coeficiente de Poisson.

E<sub>máx</sub>: Módulo de Young máximo.G<sub>máx</sub>: Módulo de corte máximo.

## 2.7. ENSAYOS DE LABORATORIO

Durante el desarrollo de las exploraciones geotécnicas de campo se obtuvieron muestras representativas de las calicatas, perforaciones diamantinas y puntos de muestreo realizados en la zona de interés. A estas muestras se realizaron ensayos estándares y especiales de laboratorio con la finalidad de determinar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que conforman la cimentación y la presa de relaves.

Los ensayos de laboratorio los cuales se listan en la **Tabla 17** se efectuaron siguiendo los procedimientos recomendados según las versiones actualizadas de los métodos de ensayo de la Sociedad Norteamericana de Ensayos y Materiales (ASTM) y la Norma Técnica Peruana (NTP).

**Tabla 17.** Resumen de ensayos de laboratorio.

Ensayos	Norma
Análisis granulométrico por tamizado e hidrómetro	ASTM D422
Límites de Atterberg	ASTM D4318
Contenido de humedad	ASTM D2216
Clasificación SUCS	ASTM D2487
Gravedad específica	ASTM D854
Peso volumétrico	NTP 339.139
Ensayo de compresión triaxial no consolidado no drenado (UU)	ASTM D2850
Ensayo de compresión triaxial consolidado no drenado (CU)	ASTM D4767
Conductividad hidráulica de pared flexible	ASTM D5084
Consolidación unidimensional	ASTM D2435

Los certificados de los ensayos de laboratorio realizados para el presente estudio se presentan en el **Anexo D** y el resumen de los resultados de los mismos se muestra en las **Tablas 18 al 26**.

**Tabla 18.** Resumen de ensayos de clasificación de suelos.

Sondaje	Muestra	Profundidad (m)	Material	Clasificación SUCS	Granulometría			LL (%)	IP (%)	C.H. (%)
					Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)			
DH_H09 - 101	M-3	15,7 - 16,1	Suelo de cimentación	CL	0,0	0,2	99,8	49,0	25,5	40,1
DH_H09 - 104	M-2	13,0 - 13,5	Suelo de cimentación	CH	0,0	0,2	99,8	53,7	26,3	42,1
DH_H09 - 107	M-1	18,7 - 19,3	Relave antiguo	SC-SM	17,5	56,8	25,7	19,7	6,2	14,2
Relave fino	M-1	Superficial	Suelo de cimentación	CL	0,0	10,2	89,8	24,1	8,0	-
Desmonte de mina	M-1	Superficial	Relleno	GW-GC	57,6	32,7	9,7	17,0	6,1	3,4
Desmonte de mina	M-1	Superficial	-	GP-GC	67,6	24,1	8,3	21,0	6,0	3,0
CA-HUA14-01	M-1	3,5 - 4,0	Suelo de cimentación	CL-ML	0,0	21,8	78,2	47	20	80,7
CA-HUA14-02	M-1	3,5 - 4,0	Suelo de cimentación	CL	0,8	18,5	80,7	32	14	30,9
CA-HUA14-04	M-1	2,2 - 2,5	Suelo de cimentación	CL	0,0	1,3	98,7	44	20	54,9
CA-HUA14-05	M-1	0,2 - 3,0	Suelo de cimentación	CH	0,0	0,3	99,7	55	29	67,7
PM-HUA14-01	M-1	0,0 - 0,7	Relave	SM	0,0	87,6	12,4	NP	NP	20,0
PM-HUA14-02	M-1	0,0 - 0,3	Relave	SM	0,0	84,1	15,9	NP	NP	21,4
			Relave	SM	0,0	75,1	25,0	NP	NP	0,0
PM-HUA14-03	M-1	0,0 - 0,25	Relave	CL-ML	0,0	13,7	86,3	20	6	33,4
PM-HUA14-04	M-1	0,0 - 0,25	Relave	CL	0,0	17,1	82,9	23	7	41,5
			Relave	CL-ML	0,0	14,0	86,0	23	7	3,00
PM-HUA14-05	M-1	0,0 - 0,6	Relave	ML	0,0	29,3	70,7	NP	NP	22,7
			Relave	ML	0,0	21,8	78,2	NP	NP	3,12
PM-HUA14-06	M-1	0,0 - 0,5	Relave	CL	0,0	14,1	85,9	25	11	39,1

**Abreviaturas:**

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

IP: Índice plástico.

LL: Límite líquido.

C.H.: Contenido de humedad.

**Tabla 19.** Resumen de ensayos de compresión triaxial consolidado no drenado (CU).

Sondaje	Profundidad (m)	Material	Clasificación SUCS	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de humedad (%)	Esfuerzos efectivos		Esfuerzos totales	
						c (kPa)	$\phi$ (°)	c (kPa)	$\phi$ (°)
DH_H09 - 101	15,7 - 16,1	Suelo de cimentación	CL	1,032	54,9	10	33,3	30	24,6
DH_H09 - 104	13,0 - 13,5	Suelo de cimentación	CH	1,106	60,1	46	29,1	42	15,3
DH_H09 - 107	18,7 - 19,3	Suelo de cimentación	SC-SM	2,007	14,8	26	40,4	0	16,1
Desmonte de mina	Superficial	Desmonte de mina	GP-GC	2,298	2,3	8	40,9	130	24,6
Desmonte de mina	Superficial	Desmonte de mina	GP-GC	2,10	8,9	0	41,7	0	30,5
CA-HUA14-01	3,5 - 4,0	Suelo de cimentación	CL-ML	0,848	88,7	15	22,5	12	11
CA-HUA14-05	0,2 - 3,0	Suelo de cimentación	CH	1,035	61,1	17	15	28	2
PM-HUA14-04	0,0 - 0,6	Relave	CL	1,680	23,8	3	33	0	23
PM-HUA14-05	0,0 - 0,6	Relave	ML	1,910	21,3	3	41	84	37

**Abreviaturas:**

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

c: Cohesión.

$\phi$ : Ángulo de fricción.

**Tabla 20.** Resumen de ensayos de compresión triaxial no consolidado no drenado (UU).

Sondaje	Profundidad (m)	Material	Clasificación SUCS	Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Contenido de humedad (%)	Esfuerzos totales	
						c (kPa)	φ (°)
CA-HUA14-04	2,2 - 2,5	Suelo de cimentación	CL	0,976	62,52	14	0,4

**Abreviaturas:**

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

c: Cohesión.

φ: Ángulo de fricción.

**Tabla 21.** Resumen de ensayos de consolidación.

Sondaje	Profundidad (m)	Clasificación SUCS	e <sub>o</sub>	G <sub>s</sub>	P <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	C <sub>c</sub>	C <sub>s</sub>
DH_H09 - 104	13,0 - 13,5	CH	2,499	2,95	-	1,22E-3	5,42E-4
DH_H09 - 107	18,7 - 19,3	SC-SM	0,719	2,92	2,0	2,62E-4	6,64E-5
CA-HU14-02	3,5 - 4,0	CL	0,897	2,65	1,17	0,272	0,031

**Abreviaturas:**

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

e<sub>o</sub>: Relación de vacíos inicial.

G<sub>s</sub>: Gravedad específica.

P<sub>c</sub>: Presión de preconsolidación.

C<sub>c</sub>: Índice de compresión.

C<sub>s</sub>: Índice de expansión.

**Tabla 22.** Resumen de ensayos de gravedad específica.

Sondaje	Muestra	Profundidad (m)	Material	Clasificación SUCS	G <sub>s</sub>
CA-HUA14-01	M-1	4,0	Natural	CL	2,72
CA-HUA14-05	M-1	3,0	Natural	CH	2,52
PM-HUA14-01	M-1	0,0 - 0,7	Relave	SM	3,11
PM-HUA14-02	M-1	0,0 - 0,3	Relave	SM	3,13
				SM	3,12
PM-HUA14-03	M-1	0,0 - 0,25	Relave	CL-ML	3,14
PM-HUA14-04	M-1	0,0 - 0,25	Relave	CL	2,99
				CL-ML	3,00
PM-HUA14-05	M-1	0,0 - 0,6	Relave	ML	3,06
				ML	3,12
PM-HUA14-06	M-1	0,0 - 0,5	Natural	CL	2,99

**Abreviaturas:**

SUCS: Sistema unificado de clasificación de suelos.

G<sub>s</sub>: Gravedad específica de sólidos.

**Tabla 23.** Resumen de ensayos de peso volumétrico.

Sondaje	Muestra	Profundidad (m)	Material	Humedad promedio (%)	Densidad seca promedio (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad natural promedio (gr/cm <sup>3</sup> )
CA-HUA14-01	M-1	3,5 - 4,0	Suelo de cimentación	93,1	0,789	1,521
CA-HUA14-05	M-1	0,2 - 3,0	Suelo de cimentación	68,5	0,949	1,599

**Tabla 24.** Resumen de ensayos de conductividad hidráulica.

Sondaje	Muestra	Profundidad (m)	Clasificación SUCS	Tipo de ensayo	Carga (kPa)	Permeabilidad (cm/s)
CA-HUA14-02	Suelo de cimentación	3,5 - 4,0	CL	Pared flexible	200	1,0E-07
CA-HUA14-04	Suelo de cimentación	2,2 - 2,5	CL	Pared flexible	200	7,2E-08
PM-HUA14-04	Relave	0,0 - 0,6	CL	Pared flexible	200	3,6E-07
PM-HUA14-05	Relave	0,0 - 0,6	ML	Pared flexible	200	4,4E-05

**Abreviaturas:**

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

**Tabla 25.** Resumen de ensayos ABA, potencial de neutralización.

Área	pH en pasta	%S	PN	PA	PNN	PN/PA	Drenaje ácido
Desmonte de mina	6,5	3,54	108,12	110,62	-2,50	0,98	Incierto

**Abreviaturas:**

%S: Porcentaje de azufre como sulfuro.

PA: Potencial de acidez.

PNN = PN - PA.

Si:  $-20 < PNN < +20$ ; muestra de comportamiento incierto.

PN: Potencial de neutralización.

PNN: Potencial neto de neutralización.

Si:  $PNN < -20$ ; la muestra genera ácido.

Si:  $-20 < PNN < +20$ ; muestra de comportamiento incierto.

**Tabla 26.** Resumen de análisis de metales pesados.

Área	%Ca	%Fe	%Mn	%Cu	%Pb	%Zn	%Cd	%As
Desmonte de mina	3,13	7,43	1,55	0,444	0,199	0,609	0,0019	0,0115

**Abreviaturas:**

%Ca: Porcentaje de Calcio.

%Mn: Porcentaje de Manganeseo.

%Pb: Porcentaje de Plomo.

%Cd: Porcentaje de Cadmio.

%Fe: Porcentaje de Hierro.

%Cu: Porcentaje de Cobre.

%Zn: Porcentaje de Zinc.

%As: Porcentaje de Arsénico.

## 2.8. INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA

En la zona de estudio se cuenta con ocho piezómetros de cuerda vibrante instalados y operativos con la finalidad de monitorear la variación del exceso de presión de poros generada en el cuerpo y el pie de la presa de relaves. La **Tabla 27** muestra el resumen de los piezómetros de cuerda vibrante existentes y la ubicación de las mismas se muestra en el **Mapa M-1** (Ver Anexo L).

**Tabla 27.** Resumen de piezómetros de cuerda vibrante.

Piezómetro de cuerda vibrante	Cota del sensor (msnm.)	Nivel de agua (msnm.)
PVW-01	4422,0	4422,0
PVW-02 a	4416,5	4416,6
PVW-02 b	4397,1	4413,8
PVW-03	4421,0	4421,0
PVW-04	4393,0	4413,6
PVW-05	4414,9	4428,8
VW-3	4402,0	4411,2
VW-4	4393,2	4403,5

## CAPÍTULO III: PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

### 3.1. GENERALIDADES

Los parámetros geotécnicos de los materiales se determinaron con base en los resultados de las investigaciones geotécnicas y ensayos de laboratorio realizados en la zona en estudio. A continuación se presenta un resumen de la evaluación de cada material involucrado en la evaluación de la presa de relaves.

### 3.2. PARÁMETROS ESTÁTICOS

Para el análisis de infiltración, consolidación unidimensional y estabilidad física de taludes de la presa de relaves, se determinaron los parámetros estáticos de los materiales que conforman la misma los cuales son descritos a continuación.

#### 3.2.1. Relave fino

- El relave fino posee una granulometría media a fina, clasificando de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) como arcilla de baja plasticidad (CL), limo de baja plasticidad (ML) y arena limosa (SM).
- Los resultados obtenidos de los ensayos triaxiales consolidados no drenados (CU) indican que los parámetros de resistencia cortante del relave fino en términos de esfuerzos totales corresponden de 0 a 84 kPa de cohesión y de 23 a 37° de ángulo de fricción, y en términos de esfuerzos efectivos de 3 kPa de cohesión y 33 a 41° de ángulo de fricción.
- Los ensayos de piezocono sísmico ejecutados en el relave fino permitieron estimar, mediante las correlaciones propuestas en el ítem 2.5, la resistencia no drenada ( $S_u$ ) y el número de golpes normalizado del ensayo SPT definidos como  $(N_1)_{60}$ .

- Finalmente, la relación de resistencia residual no drenada ( $S_u/\sigma_n$ ) fue determinada a partir de los valores de  $(N_1)_{60}$  mediante la formulación propuesta por Olson y Stark (2002) la cual se presenta a continuación.

$$\frac{S_u}{\sigma_n} = 0.03 + 0.0075 \times (N_1)_{60} \pm 0.03$$

- El resumen de la relación de resistencia residual no drenada del relave fino para los sondajes ejecutados se presenta en la **Tabla 28**.

**Tabla 28.** Relación de resistencia residual no drenada del relave fino.

Sondaje	Profundidad (m)	$S_u$ (kPa)		$(N_1)_{60}$	$S_u/\sigma_n$
		$N_{kt}$	$N_{\Delta u}$		
CPT15-01	0,0 - 2,0	-	-	15	0,14
	2,0 - 6,7	91	4	8	0,09
SCPT15-01B	0,0 - 4,8	52	5	6	0,08
	4,8 - 6,2	36	19	5	0,07
	6,2 - 8,5	67	12	10	0,11
SCPT15-03	0,0 - 7,0	29	17	3	0,05
	7,0 - 8,5	125	4	9	0,10
	8,5 - 12,1	107	14	12	0,12

**Abreviaturas:**

$S_u$ : Resistencia no drenada.

$N_{kt}$ : Factor de soporte teórico o analítico del suelo.

$N_{\Delta u}$ : Factor de soporte de la presión intersticial.

$(N_1)_{60}$ : Número de golpes normalizado del SPT.

$S_u/\sigma_n$ : Relación de resistencia residual no drenada.

Para el presente estudio se consideraron dos estratos de relave fino. El primer estrato está conformado por los relaves depositados hasta la cresta de la presa de enrocado aguas arriba, aproximadamente a la cota 4435,2 msnm, los cuales fueron sometidos a un proceso de consolidación durante la operación de la presa. Los parámetros de resistencia cortante de este material se determinaron de acuerdo a los resultados obtenidos de las investigaciones de campo y ensayos de laboratorio descritos anteriormente. Para la condición estática, se consideró que este material tiene un comportamiento consolidado drenado, presentando una cohesión 0,0 kPa y un ángulo de fricción interna de 27,0° en términos de esfuerzos efectivos con base en los resultados de los ensayos triaxiales

consolidados no drenados (CU) realizados en las muestras de relave fino obtenidas de los puntos de muestreo PM-HUA14-04 y PM-HUA14-05. Para la condición pseudoestática, se consideró que este material tiene un comportamiento consolidado no drenado presentando una cohesión 5,0 kPa y un ángulo de fricción interna de  $20,0^\circ$  en términos de esfuerzos totales con base en los mismo ensayos empleados para determinar sus parámetros en términos de esfuerzos efectivos. Para la condición postsismo, se consideró que este material tiene una relación de resistencia residual no drenada de 0,15. Asimismo, se consideró un peso específico húmedo y saturado de 21,0 y 22,5 kN/m<sup>3</sup>, respectivamente.

El segundo estrato está conformado por los relaves depositados por encima de la cota 4435,2 msnm los cuales no se encuentran consolidados. Los parámetros de resistencia cortante de este material se determinaron de acuerdo a los resultados obtenidos de las investigaciones de campo y ensayos de laboratorio descritos anteriormente. Para la condición estática a corto plazo se consideró que este material tiene un comportamiento no consolidado no drenado, presentando una resistencia no drenada de 50,0 kPa. Para la condición postsismo, se consideró que este material tiene una relación de resistencia residual no drenada de 0,09 con base en los resultados mostrados en **Tabla 28**. Asimismo, se consideró un peso específico húmedo y saturado de 18,0 y 20,0 kN/m<sup>3</sup>, respectivamente.

### 3.2.2. Relave antiguo

Para el relave antiguo se emplearon los parámetros geotécnicos del relave fino consolidado, asumiendo que ambos materiales fueron sometidos a un proceso de consolidación similar durante la operación de la presa de relaves.

### 3.2.3. Enrocado

El enrocado está conformado por materiales granulares angulosos que fueron compactados durante su construcción. Para este material, se consideró conservadoramente una cohesión de 0,0 kPa y un ángulo de fricción interna de  $37,0^\circ$  en términos de esfuerzos efectivos. Asimismo, se

consideró un peso específico húmedo y saturado de 20,0 y 21,0 kN/m<sup>3</sup>, respectivamente.

#### 3.2.4. Dique aguas arriba

El dique aguas arriba está conformado por material seleccionado como relleno estructural y compactado. Para este material, se consideró conservadoramente una cohesión de 0,0 kPa y un ángulo de fricción interna de 36,0° en términos de esfuerzos efectivos. Asimismo, se consideró un peso específico húmedo y saturado de 20,0 y 21,0 kN/m<sup>3</sup>, respectivamente.

#### 3.2.5. Base drenante

La base drenante está conformada por material de grava de drenaje especialmente diseñada como material de filtro. Para este material, se consideró conservadoramente una cohesión de 0,0 kPa y un ángulo de fricción interna de 36,0° en términos de esfuerzos efectivos. Asimismo, se consideró un peso específico húmedo y saturado de 20,0 y 21,0 kN/m<sup>3</sup>, respectivamente.

#### 3.2.6. Desmante de mina

Los parámetros de resistencia cortante del desmante de mina que conforma la presa de relaves fueron determinados con base en los resultados obtenidos de los ensayos triaxiales realizados a este material. Se consideró conservadoramente una cohesión de 0,0 kPa y un ángulo de fricción interna de 37,0° en términos de esfuerzos efectivos. Asimismo, se consideró un peso específico húmedo y saturado de 20,0 y 21,0 kN/m<sup>3</sup>, respectivamente.

#### 3.2.7. Berma de estabilización

Para la berma de estabilización se emplearon los parámetros geotécnicos del desmante de mina debido a que ambos materiales presentan características granulométricas similares.

## 3.2.8. Arcilla

- La arcilla que conforma la cimentación de la presa de relaves presenta una granulometría media a fina, clasificando de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) como arcilla de baja y alta plasticidad (CL y CH), arcilla limosa de baja plasticidad (CL-ML).
- Los resultados obtenidos de los ensayos triaxiales consolidados no drenados (CU) y del ensayo triaxial no consolidado no drenado (UU) indican que los parámetros de resistencia cortante en términos de esfuerzos totales corresponden de 0 a 42 kPa de cohesión y de 15 a 25° de ángulo de fricción, y en términos de esfuerzos efectivos de 10 a 46 kPa de cohesión y 15 a 40° de ángulo de fricción.
- Los ensayos de piezocono sísmico ejecutados en este material permitieron estimar mediante las correlaciones propuestas por Mayne (2013), la resistencia no drenada ( $S_u$ ), el número de golpes normalizado del ensayo SPT, es decir, los valores de  $(N_1)_{60}$ , además del grado de consolidación (OCR) y los ángulos de fricción efectivos. El resumen de los parámetros geotécnicos de la arcilla para los sondajes ejecutados se presenta en la **Tabla 29**.

**Tabla 29.** Parámetros geotécnicos de la arcilla a partir de los ensayos SCPTu.

Sondaje	Profundidad (m)	$S_u$ (kPa)		$(N_1)_{60}$	OCR	$\phi^{1'}$	$\phi^{2'}$
		$N_{kt}$	$N_{\Delta u}$				
SCPT15-02	13,5 - 17,2	60	96	4	0,95	-	27,5
	17,2 - 18,5	130	90	6	3,0	30,5	28,0
	18,5 - 20,0	260	30	12	5,0	33,0	28,5
	20,0 - 21,6	350	32	18	7,1	-	29,0
	21,6 - 27,9	130	105	6	1,2	29,5	28,0
SCPT15-04	14,7 - 16,0	65	100	30	1,0	42,5	37,0
SCPT15-05	0,0 - 2,5	75	16	16	4,5	35,5	29,0
	2,5 - 4,5	160	-	15	-	34,0	29,5
	4,5 - 11,0	180	55	12	1,8	34,5	29,5
	11,0 - 15,5	-	-	50	-	42,0	36,5
SCPT15-06	0,0 - 2,5	350	2	24	-	37,5	31,5
	2,5 - 9,5	35	30	9	1,0	37,0	28,5

Sondaje	Profundidad (m)	S <sub>u</sub> (kPa)		(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	OCR	φ <sup>1</sup>	φ <sup>2</sup>
		N <sub>kt</sub>	N <sub>Δu</sub>				
	9,5 - 12,3	70	40	8	1,2	34,0	28,0
SCPT15-07B	0,0 - 6,0	60	12	10	3,0	36,5	28,5
	6,0 - 7,75	150	45	10	5,0	33,5	29,0
	7,75 - 15,0	450	100	35	-	39,5	34,0
SCPT15-08	0,0 - 7,0	25	25	9	1,2	30,0	30,0
	7,0 - 12,0	450	15	45	7,0	36,5	31,5
SCPT15-09	7,5 - 11,4	30	35	3	0,9	30,0	28,0

**Abreviaturas:**S<sub>u</sub>: Resistencia no drenada.N<sub>kt</sub>: Factor de soporte teórico o analítico del suelo.N<sub>Δu</sub>: Factor de soporte de la presión intersticial.(N<sub>1</sub>)<sub>60</sub>: Número de golpes normalizado del SPT.

OCR: Grado de sobreconsolidación.

<sup>1</sup>: Reportado por ConeTec.<sup>2</sup>: Calculado en base Wolff (1989).

Con la base en los resultados obtenidos en la **Tabla 29**, se consideró la presencia suelos arcillosos normalmente consolidados con un OCR menor a 1,0 en promedio emplazados al pie de la presa, tal y como ha sido verificado por los ensayos SCPTu y ensayos geofísicos. Aquellos suelos arcillosos con un valor de OCR mayor a 1,0 son puntuales y se atribuyen a aspectos locales de la medición de las resistencias en el sondaje. Asimismo, se consideró que estas arcillas normalmente consolidadas ante un eventual incremento de carga desarrollan una resistencia no drenada la cual varía linealmente con respecto a la profundidad. Para la condición estática a corto plazo, se consideró desde la superficie hasta una profundidad de 18 m una resistencia no drenada de 15 kPa, y para profundidades mayores un valor de 85 kPa.

Para la condición estática (actual y largo plazo), se consideró un comportamiento consolidado drenado, presentando una cohesión 20,0 kPa y un ángulo de fricción interna de 20,0° en términos de esfuerzos efectivos. Para la condición pseudoestática y postsismo, se consideró un comportamiento consolidado no drenado presentando una cohesión 20,0 kPa y un ángulo de fricción interna de 12,0° en términos de esfuerzos totales. Asimismo, se asignaron como pesos específicos húmedo y saturado valores de 17,5 y 18,0 kN/m<sup>3</sup>, respectivamente.

### 3.2.9. Limo

Para este material se asumió conservadoramente una cohesión nula y un ángulo de fricción interna de  $16,0^\circ$  en términos de esfuerzos efectivos. Asimismo, se consideró un peso específico húmedo y saturado de  $18,0$  y  $20,0 \text{ kN/m}^3$ , respectivamente.

### 3.2.10. Basamento rocoso

Para el basamento rocoso se asumió conservadoramente una cohesión de  $150,0 \text{ kPa}$  y un ángulo de fricción interna de  $30,0^\circ$  en términos de esfuerzos efectivos. Asimismo, se consideró un peso específico húmedo y saturado de  $20,0$  y  $24,0 \text{ kN/m}^3$ , respectivamente.

### 3.2.11. Resumen de parámetros

El resumen de los parámetros empleados para la evaluación de los análisis geotécnicos de infiltración y estabilidad de la presa de relaves se presenta en las **Tablas 30 y 31**.

**Tabla 30.** Resumen de coeficientes de permeabilidad hidráulicos para el análisis de infiltración.

Material	Coficiente de permeabilidad (cm/s)
Relave no consolidado	$1,0 \times 10^{-6}$
Relave consolidado	$1,0 \times 10^{-7}$
Relave antiguo	$1,0 \times 10^{-3}$
Enrocado	$1,0 \times 10^{-3}$
Dique aguas arriba	$1,0 \times 10^{-4}$
Base drenante	1,0
Desmonte de mina	$7,5 \times 10^{-4}$
Berma de estabilización	$1,0 \times 10^{-2}$
Arcilla	$1,0 \times 10^{-7}$
Limo	$1,0 \times 10^{-5}$
Basamento rocoso	$9,0 \times 10^{-5}$

**Tabla 31.** Resumen de parámetros para el análisis de estabilidad.

Material	$\gamma_{\text{húmedo}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{\text{saturado}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	Esfuerzos efectivos		Esfuerzos totales		$S_u$ (kPa)	$S_u/\sigma_n$ (-)
			c (kPa)	$\phi$ (°)	c (kPa)	$\phi$ (°)		
Relave no consolidado	18,0	20,0	-	-	-	-	50	0,09
Relave consolidado	21,0	22,5	0	27	5	20	-	0,15
Relave antiguo	21,0	22,5	0	27	5	20	-	0,15
Enrocado	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Dique aguas arriba	20,0	21,0	0	36	-	-	-	
Base drenante	20,0	21,0	0	36	-	-	-	
Desmonte de mina	20,0	21,0	0	37	-	-	-	
Berma de estabilización	20,0	21,0	0	37	-	-	-	
Arcilla	17,5	18,0	20	20	20	12	15 - 85	
Limo	18,0	20,0	0	16	-	-	-	
Basamento rocoso	22,0	24,0	150	30	-	-	-	

**Abreviaturas:** $\gamma_{\text{húmedo}}$ : Peso específico. $\phi$ : Ángulo de fricción. $S_u/\sigma_n$ : Relación de resistencia residual no drenada.

c: Cohesión.

 $S_u$ : Resistencia no drenada.

### 3.3. PARÁMETROS DINÁMICOS

Para el análisis de respuesta sísmica de la presa de relaves, se determinaron los parámetros dinámicos de los materiales que conforman la misma, los cuales son descritos a continuación.

#### 3.3.1. Relave

Los relaves depositados presentan una granulometría media a fina. La experiencia en el modelamiento de relaves gruesos señala que las curvas de degradación de módulo de corte e incremento de la razón de amortiguamiento propuestas por Darendeli (2001) son las que mejor representan el verdadero comportamiento dinámico de estos materiales, cuando son comparadas con resultados de ensayos triaxiales cíclicos realizados en estos materiales. Por ello, para representar el comportamiento dinámico de los relaves depositados, se consideró

emplear la formulación propuesta por Darendeli (2001) cuyos parámetros de entrada son el esfuerzo de confinamiento promedio, el grado de consolidación (OCR) y el índice de plasticidad (IP). Cabe mencionar que el rango de velocidades de ondas de corte a los cuales se encuentran estos materiales, se obtuvieron de los ensayos SCPTu y ensayos geofísicos.

### 3.3.2. Materiales granulares

Los materiales granulares que conforman el enrocado, dique, base drenante, desmonte de mina y berma de estabilización están compuestos por materiales gruesos, angulares, de gran tamaño y provenientes de chancado o voladura. Liao et al. (2013) realizaron pruebas de columna resonante y corte torsional en materiales de similar origen, concluyendo que las curvas de propiedades dinámicas propuestas por Seed et al. (1986) son las que presentan un mejor ajuste respecto a los resultados de sus pruebas dinámicas. Con base en lo anterior, para los materiales granulares se emplearon las curvas de degradación de módulo de corte e incremento de la razón de amortiguamiento correspondientes al límite superior propuestas por Seed et al. (1986). Cabe mencionar que el rango de velocidades de ondas de corte a los cuales se encuentran estos materiales, se obtuvieron de los ensayos geofísicos.

### 3.3.3. Materiales finos

Como se indicó anteriormente, las curvas de degradación de módulo de corte e incremento de la razón de amortiguamiento propuestas por Darendeli (2001) son las que mejor representan el comportamiento dinámico de los materiales finos. Darendeli (2001) basó su investigación y formulación hiperbólica en ensayos de columna resonante y corte torsional realizados en muestras de suelos arcillosos y limosos. Por ello, para los materiales finos que conforman la cimentación de la presa se emplearon las curvas de propiedades dinámicas propuestas por Darendeli (2001). Cabe mencionar que el rango de velocidades de ondas de corte a los cuales se encuentra estos materiales, fueron obtenidas de los ensayos SCPTu y ensayos geofísicos.

### 3.3.4. Basamento rocoso

Para el basamento rocoso se emplearon las curvas de degradación de módulo de corte e incremento de la razón de amortiguamiento propuestas por Idriss (1991). Como en los casos anteriores, el rango de velocidades de ondas de corte a los cuales se encuentran estos materiales, fueron obtenidas de los ensayos geofísicos.

### 3.3.5. Resumen de parámetros

El resumen de las curvas de propiedades dinámicas empleadas para el análisis de respuesta sísmica y sus respectivos parámetros de entrada se presentan en la **Tabla 32**.

**Tabla 32.** Resumen de parámetros dinámicos para el análisis de respuesta sísmica.

Material	Autor	OCR (-)	IP (%)	V <sub>s</sub> (m/s)
Relave no consolidado	Darendeli (2001)	1,0	8	300 - 380
Relave consolidado		1,5	8	
Relave antiguo		1,5	5	
Enrocado	Seed et al. (1986)	-		220 - 340
Dique aguas arriba				
Base drenante				
Desmonte de mina				
Berma de estabilización				
Arcilla	Darendeli (2001)	1,0	20	110 - 440
Limo		1,0	15	400 - 480
Basamento rocoso	Idriss (1991)	-		360 - 1000

**Abreviaturas:**

OCR: Grado de sobreconsolidación.  
Vs.: Velocidad de ondas de corte.

IP: Índice de plasticidad.

## CAPÍTULO IV: ANÁLISIS GEOTÉCNICO

### 4.1. GENERALIDADES

La evaluación geotécnica consistió en efectuar el análisis de infiltración, análisis de consolidación unidimensional, análisis de respuesta sísmica, estabilidad física de taludes y el análisis de desplazamientos permanentes inducidos por sismo de la presa de relaves en estudio. A continuación se presenta el desarrollo de estas evaluaciones.

### 4.2. ANÁLISIS DE INFILTRACIÓN

Se realizó el análisis de infiltración de estado constante con la finalidad de estimar el nivel freático y determinar las presiones de poros existentes en el dique y la cimentación de la presa de relaves. Las presiones de poros calculadas fueron usadas posteriormente en el análisis de estabilidad física de taludes de la presa.

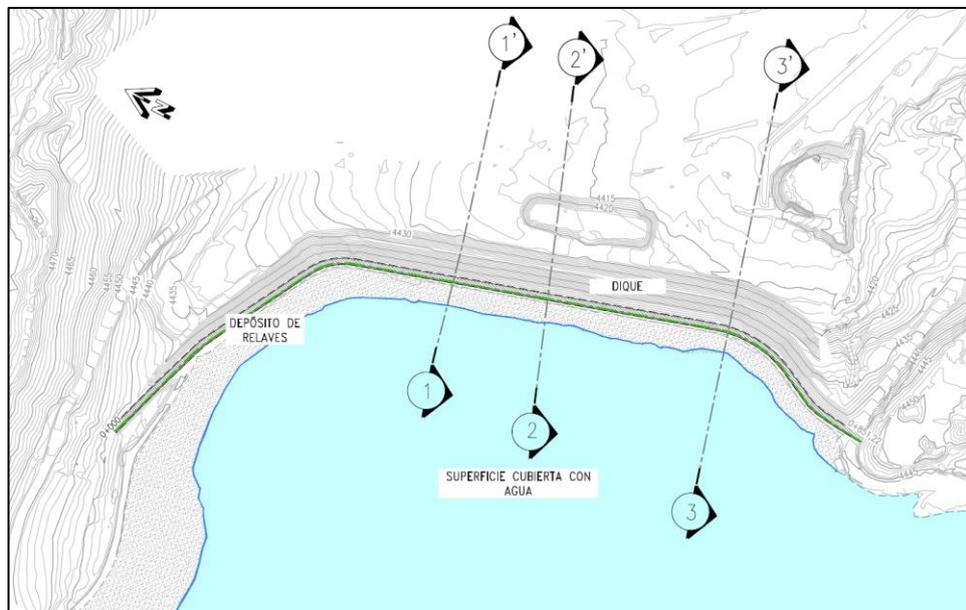
#### 4.2.1. Metodología de análisis

Para el análisis de infiltración de la presa de relaves se utilizó el programa de cómputo SLIDE versión 6.0 (Rocscience, 2010) el cual emplea el Método de Elementos Finitos (MEF). Este programa permite generar mallas de elementos finitos, asignar propiedades hidráulicas a los materiales y especificar condiciones de borde que simulen características de percolación, infiltración y confinamiento de la estructura analizada. La razón de flujo se calculó asumiendo un flujo permanente. El cálculo de la razón de flujo se estimó con base en la ley de Darcy, la cual considera que el caudal de infiltración en un medio poroso es proporcional a la permeabilidad del medio, al gradiente hidráulico y al área transversal de la sección de análisis. Asimismo, se consideró que la conductividad hidráulica de todos los materiales es constante.

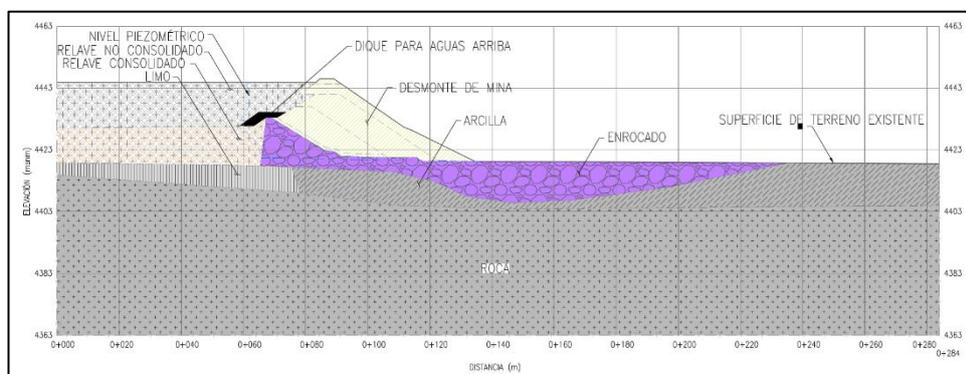
#### 4.2.2. Consideraciones de análisis

En el análisis de infiltración se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se consideró la configuración desfavorable y crítica de la presa de relaves, representada por las secciones 1-1', 2-2' y 3-3'. La ubicación en planta y el perfil geotécnico de las secciones analizadas se muestran en las **Figuras 3 al 6**.
- Se emplearon los parámetros hidráulicos descritos en la **Tabla 30**.
- En la malla de elementos finitos se empleó un tamaño de elemento de 1,0 m.
- Para la determinación de la posición del nivel de agua se tomó en cuenta los registros de los piezómetros de cuerda vibrante existentes.



**Figura 3.** Ubicación en planta de las secciones geotécnicas analizadas.



**Figura 4.** Sección geotécnica 1-1'.

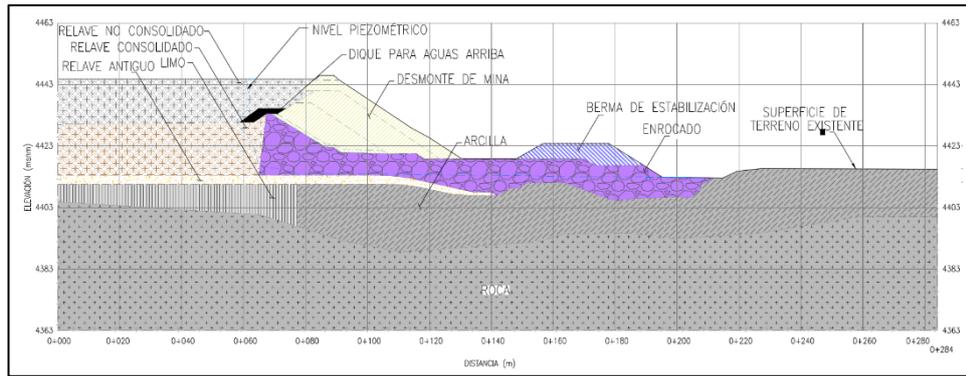


Figura 5. Sección geotécnica 2-2'.

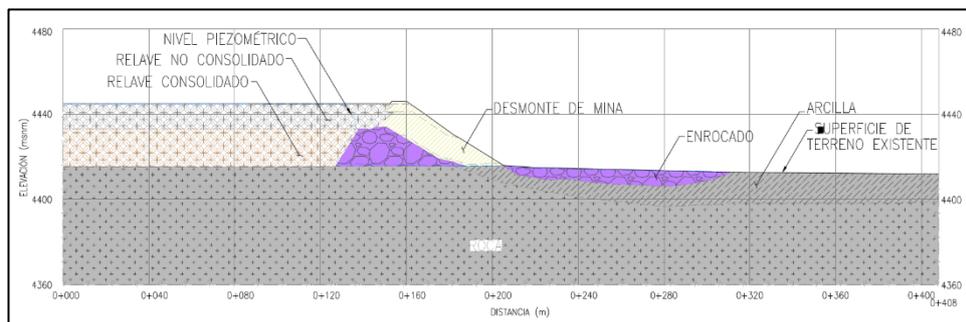


Figura 6. Sección geotécnica 3-3'.

#### 4.2.3. Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos del análisis de infiltración indican que en general el nivel de agua desciende a través del relave desde su posición inicial hasta la base de la presa para dirigirse horizontalmente hacia el pie de la misma y finalmente continuar superficialmente por el terreno natural. El nivel de agua resultante coincide con las mediciones de presiones de agua registradas en los piezómetros de cuerda vibrante existentes.

Cabe mencionar que los resultados obtenidos del análisis de infiltración para la condición actual de la presa de relaves fueron empleados en el análisis de estabilidad física de taludes de la misma en términos de presiones de poro. El **Anexo F** presenta las salidas gráficas del análisis de infiltración las cuales contienen la información geométrica de las secciones analizadas, malla de elementos finitos, propiedades de los materiales, presiones de poro y el nivel de agua en cada caso analizado.

### 4.3. ANÁLISIS DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL

Se realizó el análisis de consolidación unidimensional con la finalidad de evaluar el comportamiento a corto plazo de la arcilla que conforma la cimentación de la presa por efecto de las cargas inducidas por el proceso de construcción de los sucesivos recrecimientos de la presa.

#### 4.3.1. Metodología de análisis

En el análisis de consolidación unidimensional se calcularon los asentamientos por consolidación primaria y secundaria generados en el material arcilloso por efecto del incremento de esfuerzos como resultado de la aplicación de cargas a corto plazo. Para el cálculo del asentamiento por consolidación primaria se emplearon las siguientes ecuaciones:

Para arcillas normalmente consolidadas:

$$S_p = \frac{C_c H}{1 + e_0} \log\left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0}\right)$$

Para arcillas preconsolidadas:

- Cuando el esfuerzo efectivo presente es menor al esfuerzo de preconsolidación:

$$S_p = \frac{C_s H}{1 + e_0} \log\left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0}\right)$$

- Cuando el esfuerzo efectivo presente es mayor al esfuerzo de preconsolidación:

$$S_p = \frac{C_e H}{1 + e_0} \log\frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} + \frac{C_c H}{1 + e_0} \log\frac{(\sigma'_c + \Delta\sigma')}{\sigma'_0}$$

Donde:

$S_p$  : Asentamiento por consolidación primaria.

$C_c$  : Índice de compresión.

$C_s$  : Índice de expansión.

$H$  : Espesor del estrato.

- $e_o$  : Relación de vacíos inicial.
- $\sigma'_o$  : Esfuerzo vertical efectivo inicial para el estrato.
- $\Delta\sigma'$  : Incremento del esfuerzo vertical para el estrato.
- $\sigma'_c$  : Esfuerzo de preconsolidación

Para el cálculo del asentamiento por consolidación secundaria se empleó la siguiente ecuación considerando el intervalo de tiempo entre el tiempo necesario para alcanzar el 90% de consolidación y el tiempo de vida del proyecto.

$$S_s = \frac{C_\alpha H}{1 + e_p} \log \frac{t_1}{t_2}$$

Donde:

- $S_s$  : Asentamiento por consolidación secundaria.
- $C_\alpha$  : Índice de compresión secundaria.
- $H$  : Espesor del estrato.
- $e_p$  : Relación de vacíos al final de la consolidación primaria.
- $t_1, t_2$  : Tiempo.

#### 4.3.2. Consideraciones de análisis

En el análisis de consolidación unidimensional se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se emplearon las secciones consideradas en el análisis de infiltración.
- Se evaluaron cuatro columnas de suelo de las cuales tres representan la zona del pie de la presa de las secciones 1-1', 2-2' y 3-3, y una representa la zona ubicada a 30 m aguas abajo del pie de la presa de la sección 3-3'.
- El perfil de suelo de la columna que representa el pie de la presa de la sección 1-1' está conformado por 12 m de enrocado y 3 m de arcilla. Asimismo, para esta columna se consideró una carga de consolidación de 120 kPa generada por la colocación del contrafuerte de desmonte de

mina hasta la cota 4426 msnm (Fase 2). Se consideró que esta carga tiene influencia hasta los 15 m de profundidad y que el basamento rocoso subyacente actúa como barrera impermeable.

- El perfil de suelo de la columna que representa el pie de la presa de la sección 2-2' está conformado por 12 m de enrocado y 7 m de arcilla. Asimismo, para esta columna se consideró una carga de consolidación de 140 kPa generada por la colocación del contrafuerte de desmonte de mina hasta la cota 4426 msnm (Fase 2), la cual tiene influencia hasta los 19 m de profundidad. Por debajo de esta profundidad se consideró a la arcilla como un material impermeable.
- El perfil de suelo de la columna que representa el pie de la presa de la sección 3-3' está conformado por 7,5 m de arcilla. Asimismo, para esta columna se consideró una carga de consolidación 200 kPa generada por la colocación del contrafuerte de desmonte de mina hasta la cota 4426 msnm (Fase 2), la cual tiene influencia en todo el estrato de arcilla. Se consideró que el basamento rocoso subyacente actúa como barrera impermeable.
- El perfil de suelo de la columna que representa la zona ubicada a 30 m aguas abajo del pie de la presa de la sección 3-3' está conformado por 5,5 m de enrocado y 3,0 m arcilla. Asimismo, para esta columna se consideró una carga de consolidación de 80 kPa generada por 4,0 m de material de enrocado o desmonte de mina colocado como medida de estabilización, la cual tiene influencia hasta los 8,5 m de profundidad. Por debajo de esta profundidad se consideró a la arcilla como un material impermeable.
- Se consideró el nivel de agua y distribuciones de presiones de poro resultantes del análisis de infiltración.
- Los parámetros geotécnicos de la arcilla para el análisis de consolidación fueron obtenidos a partir de los resultados obtenidos del ensayo de consolidación realizado para el presente estudio.

#### 4.3.3. Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos del análisis de consolidación unidimensional en términos de asentamientos primarios, asentamientos secundarios y los tiempos necesarios para alcanzar el 90% de consolidación se resumen en la **Tabla 33**.

**Tabla 33.** Resumen de resultados del análisis de consolidación unidimensional.

Columna	Asentamiento (cm)		Tiempo necesario para el 90% de grado de consolidación primaria
	Primario	Secundario (2 años)	
Pie de la sección 1-1'	8,1	3,7	2 a 3 meses
Pie de la sección 2-2'	18,2	3,4	12 a 13 meses
Pie de la sección 3-3'	103,0	3,0	13 a 14 meses
30 m del pie de la sección 3-3'	13,1	5,2	2 a 3 meses

Los resultados indican que el tiempo necesario para alcanzar el 90% de consolidación primaria en la zona del pie de la presa de la sección 1-1' y la zona ubicada a 30 m del pie de la presa de la sección 3-3' luego de aplicar la carga producida por el contrafuerte de desmonte de mina hasta la cota 4426 msnm (Fase 2) y por el material de enrocado o desmonte de mina colocado como medida de estabilización es de 2 a 3 meses. Asimismo, el tiempo necesario para alcanzar el 90% de consolidación en la zona del pie de la presa de las secciones 2-2' y 3-3' es de 12 a 14 meses luego de aplicar las cargas de construcción.

Por otro lado, a partir de los resultados obtenidos y considerando que la construcción del crecimiento de la presa de relaves hasta la cota 4426 msnm (Fase 2) será realizado en aproximadamente 2 a 3 meses, se espera que solamente durante dicho periodo la arcilla que conforma la cimentación ubicada en la zona del pie de la presa de la sección 1-1', presente un comportamiento no drenado. Asimismo, considerando que la construcción del crecimiento de la presa de relaves hasta la cota 4446 msnm (Fases 2 y 3) será realizado en aproximadamente 4 a 5 meses, se espera que durante todo ese periodo la arcilla que conforma la cimentación ubicada en las zonas del pie de la presa de las secciones 2-2' y 3-3' presente un comportamiento no drenado. Estas condiciones

críticas han sido consideradas en el análisis de estabilidad física de la presa en estudio.

Asimismo, de la **Tabla 33** se observa que en la zona del pie de la presa de la sección 3-3', los asentamientos generados por la carga producida por el contrafuerte de desmonte de mina hasta la cota 4426 msnm (Fase 2) son significativos. Por ello, desde el inicio de la construcción de dicho contrafuerte hasta 14 meses después, los asentamientos en el dique deben de ser monitoreados.

El **Anexo G** presenta los cálculos efectuados a detalle del análisis de consolidación unidimensional de la presa de relaves realizado en el presente estudio.

#### 4.4. ANÁLISIS DE RESPUESTA SÍSMICA UNIDIMENSIONAL

Se realizó el análisis de respuesta sísmica unidimensional con la finalidad de determinar los espectros de respuesta en superficie que son fundamentales para la evaluación sísmica de la presa de relaves. Los espectros de respuesta en superficie fueron calculados con base en los espectros de peligro uniforme del estudio de peligro sísmico existente y la caracterización sísmica de la cimentación de la presa de relaves en estudio.

Las aceleraciones espectrales calculadas a partir de los espectros de respuesta en superficie resultantes, se emplearon posteriormente para el cálculo del coeficiente sísmico por el método de Bray y Travararou (2009) y para el análisis de desplazamientos permanentes por el método de Bray y Travararou (2007).

##### 4.4.1. Registros sísmicos sintéticos

El análisis de respuesta sísmica unidimensional requiere de registros sísmicos característicos del sitio de estudio y del material por donde se propagan, en este caso, un terreno correspondiente a la clasificación B o roca, de acuerdo al código IBC (2012). Sin embargo, no se cuentan con registros sísmicos registrados en roca propios de la región, por ello se

adoptaron registros sísmicos de otras zonas con similares características sismotectónicas para ajustarlos a la sismicidad de la zona de estudio con procedimientos exhaustivos, más que con un simple escalamiento lineal, a los valores de aceleraciones espectrales de sitio.

La generación de un registro sísmico sintético se puede realizar mediante un proceso iterativo en el que se modifica el registro tiempo-historia (con similares características sismotectónicas y con el mismo tipo de mecanismo focal de la zona de estudio), mediante una función sinusoidal, de modo que su espectro de respuesta se ajuste estrechamente al espectro de respuesta objetivo, este procedimiento se denomina ajuste espectral. En este caso, el espectro deseado corresponde al espectro de peligro uniforme para terrenos correspondiente a la clasificación B o roca, de acuerdo al código IBC (2012) que es presentado en el estudio de peligro sísmico existente. El proceso se lleva a cabo controlando el contenido de frecuencias y cubriendo todo el rango deseado de ordenadas espectrales. De esta manera, el registro sintético pretende modelar el tiempo-historia del escenario sísmico de la zona de estudio, considerando los valores de aceleraciones espectrales asociados al período de retorno de diseño.

La técnica del ajuste espectral del tiempo-historia de aceleraciones en el dominio del tiempo se encuentra implementada en el programa SeismoMatch de la empresa SeismoSoft. Este programa ejecuta una modificación del tiempo-historia de un registro de aceleraciones para hacerlo compatible con un espectro especificado por el usuario. La metodología está basada en el uso del algoritmo de ondículas (*wavelets*) propuesto por Abrahamson (1992) y posteriormente actualizado por Hancock et al. (2006). La modificación del contenido de frecuencias se realiza mediante la adición o sustracción de pequeñas porciones de onda, o *wavelets*, en el dominio del tiempo. Estos modelos de ajuste preservan el periodo de fase no estacionario del registro tiempo-historia original. Esta metodología reduce significativamente el número de registros tiempo-historia requeridos en el análisis.

Por lo general, se utilizan una serie de registros tiempo-historia de sismos seleccionados para tomar en cuenta la aleatoriedad de los registros sísmicos de ingreso y evitar así una potencial polarización en los resultados debido a uno de estos en particular. En consecuencia, se usaron seis registros tiempo-historia de tres sismos significativos ocurridos en el Perú y Chile, los cuales fueron ajustados espectralmente a los espectros de diseño en roca. Asimismo, estos registros fueron seleccionados con base en la duración del evento, ambiente tectónico (fallamiento en zona de subducción), distancia fuente-lugar, contenido de frecuencia y condiciones locales de sitio. Los registros sísmicos seleccionados pertenecen a las componentes norte-sur y este-oeste de los siguientes sismos:

- Sismo de Lima del 3 de octubre de 1974, registrado en la estación “Surco” instalada en una vivienda privada en el distrito de Santiago de Surco en la ciudad Lima.
- Sismo de Atico en Arequipa del 23 de junio de 2001, registrado en la estación “César Vizcarra Vargas” instalada en el Complejo Deportivo del Gobierno Regional de Moquegua.
- Sismo de Tarapacá del 13 de junio de 2005, registrado en la estación “Alberto Giesecke Matto” instalada en el Campus de la Universidad Privada de Tacna.

La estación Surco fue instalada por el Instituto Geofísico del Perú (IGP), mientras que el resto de las estaciones mencionadas fueron instaladas por el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) a través de su red acelerográfica (REDACIS). En la **Tabla 34** se resumen los principales parámetros sismológicos de los sismos empleados.

**Tabla 34.** Parámetros sismológicos de los registros sísmicos para ajuste espectral.

Sismo	Estación	Ubicación de estación	Fecha de ocurrencia	Mecanismo focal	PGA (g)
Lima	Surco	Distrito de Santiago de Surco en Lima	03/10/1974	Subducción de interfase	0,207

Sismo	Estación	Ubicación de estación	Fecha de ocurrencia	Mecanismo focal	PGA (g)
Atico	César Vizcarra Vargas	Complejo Deportivo del Gobierno Regional de Moquegua	23/06/2001	Subducción de interfase	0,295
Tarapacá	Alberto Giesecke Matto	Campus de la Universidad Privada de Tacna	13/06/2005	Subducción de intraplaca	0,119

**Abreviaturas:**

PGA: Aceleración máxima horizontal del suelo.

Los registros bases fueron corregidos por línea base y luego filtrados. Asimismo, se usó una tolerancia para la convergencia de 5% para preservar los picos y valles de los registros originales, características que tienden a impactar la respuesta no lineal de la estructura analizada. En el **Anexo H** se presentan los registros tiempo-historia bases filtrados por pasa banda y corregidos por línea base, los registros sísmicos ajustados espectralmente, y los espectros de respuesta de los registros sísmicos ajustados para un periodo de retorno de 475 años.

#### 4.4.2. Metodología de análisis

Para el análisis de respuesta sísmica unidimensional se empleó el programa de cómputo *DeepSoil V5.1.17* (2014), el cual permite realizar análisis de respuesta sísmica de tipo lineal, lineal equivalente y no lineal en los dominios de las frecuencias y el tiempo, según corresponda. Este programa ha sido desarrollado y viene siendo constantemente actualizado por un equipo liderado por el profesor Youssef Hashash de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign, Illinois, Estados Unidos y goza actualmente de una amplia aceptación internacional.

Debido a que el comportamiento de los suelos frente a cargas estáticas y dinámicas es no lineal, existen métodos que buscan aproximar el comportamiento real de los suelos mediante una serie de simplificaciones. El método lineal-equivalente propuesto por Schnabel et al. (1972) es el más empleado dado su efectividad y relativa simplicidad. Sin embargo, para el presente estudio se empleó el método no lineal el cual considera una variación no lineal de las propiedades dinámicas del suelo para diferentes niveles de deformación cortante representando así el comportamiento dinámico real de los suelos. Asimismo, este método

hace uso de un modelo constitutivo de naturaleza hiperbólica y de reglas básicas para el comportamiento de descarga y recarga cíclica.

#### 4.4.3. Consideraciones de análisis

En el análisis de respuesta sísmica unidimensional se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se evaluaron tres columnas unidimensionales las cuales representan las tres zonas sísmicas identificadas para el presente estudio.
- La columna 1 representa las condiciones críticas de cimentación de la presa y está compuesta por suelos arcillosos, limosos, relaves antiguos y material de enrocado.
- La columna 2 representa la condición crítica del pie de la presa y está compuesta por suelos arcillosos y material de enrocado.
- La columna 3 representa la condición aguas abajo del pie del dique y está compuesta principalmente por suelos arcillosos. Esta columna no considera el material de enrocado.
- Los perfiles de velocidad de ondas de corte de las columnas se elaboraron con base en los resultados obtenidos de los ensayos SCPTu y ensayos geofísicos. Estos perfiles se presentan en las **Figuras 7 a la 9**.
- Las columnas evaluaron la condición de respuesta sísmica mediante el ingreso de registros sísmicos ajustados espectralmente en la base. El ajuste fue realizado para el espectro de sitio en suelo tipo B (IBC, 2012) para un periodo de retorno de 475 años.

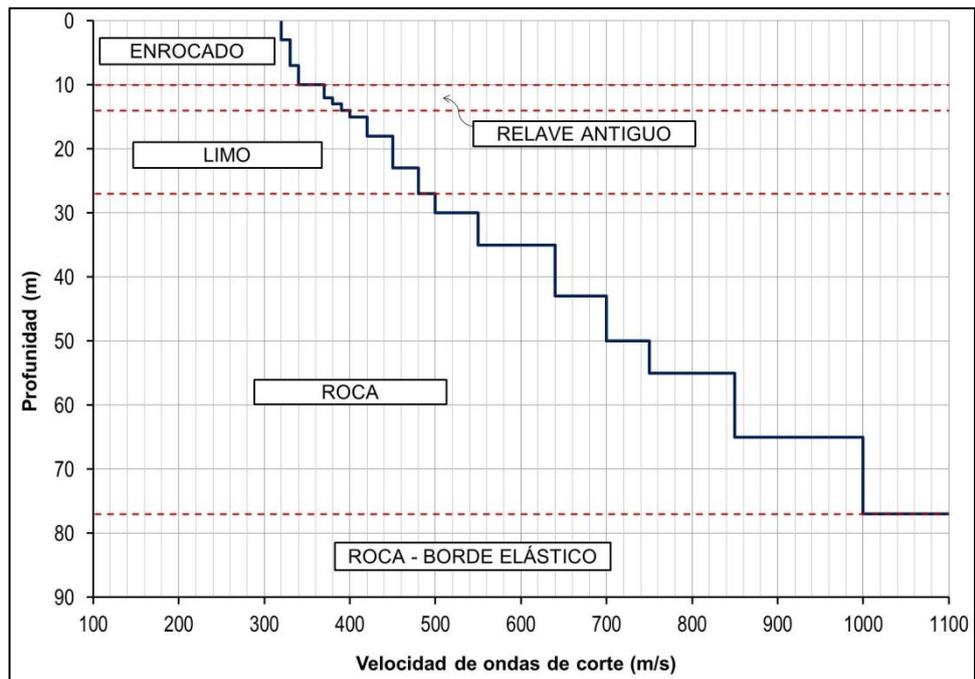


Figura 7. Perfil de velocidad de ondas de corte de la columna 1.

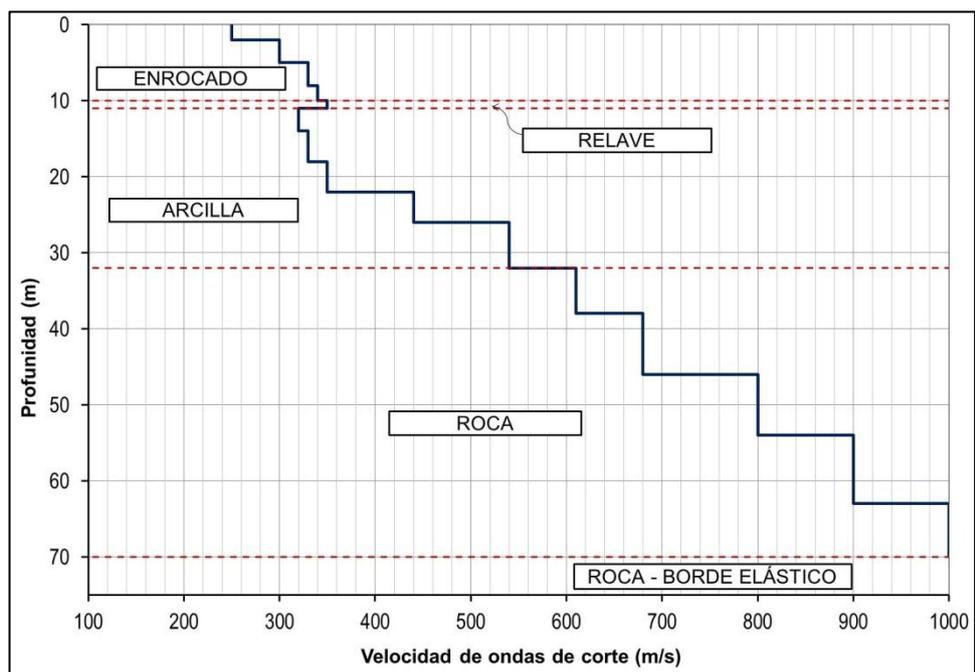


Figura 8. Perfil de velocidad de ondas de corte de la columna 2.

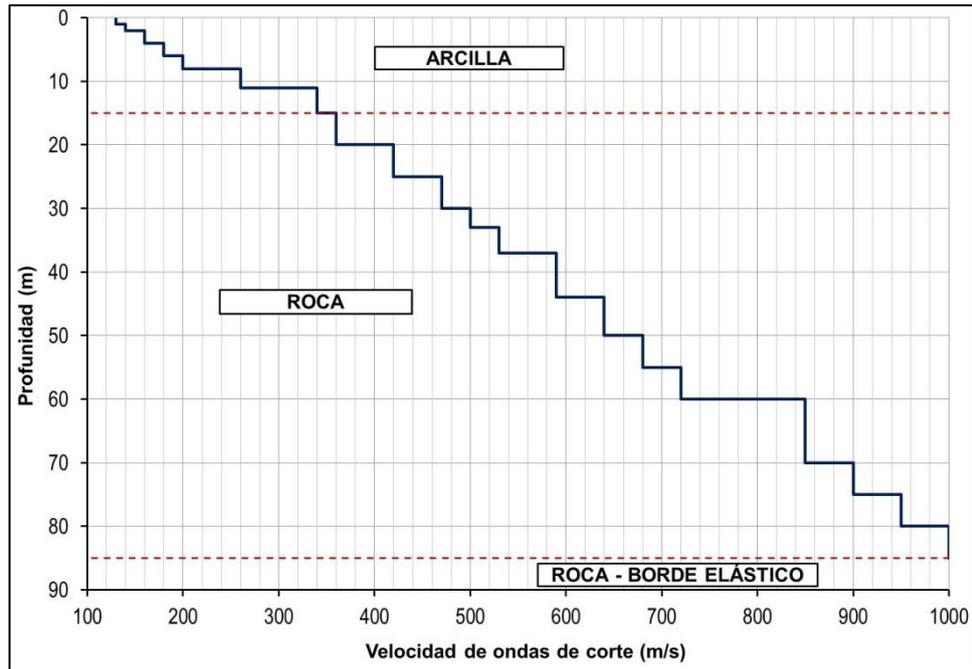


Figura 9. Perfil de velocidad de ondas de corte de la columna 3.

- Los materiales que componen cada columna fueron discretizados de tal manera que permitan la transmisión de ondas de hasta 25 Hz de frecuencia. Se verificó también que la curva intrínseca o back-bone curve de cada material tenga un ángulo de fricción dinámico crítico compatible con las características de cada material. En caso de no presentarse esta condición, se modificaron las curvas dinámicas a partir deformaciones cortantes de 0,1%.
- Se usaron todos los registros sísmicos sintéticos obtenidos para el presente estudio.
- Se emplearon las propiedades dinámicas de los materiales descritas en la **Tabla 32** y mostradas en el **Anexo H**.

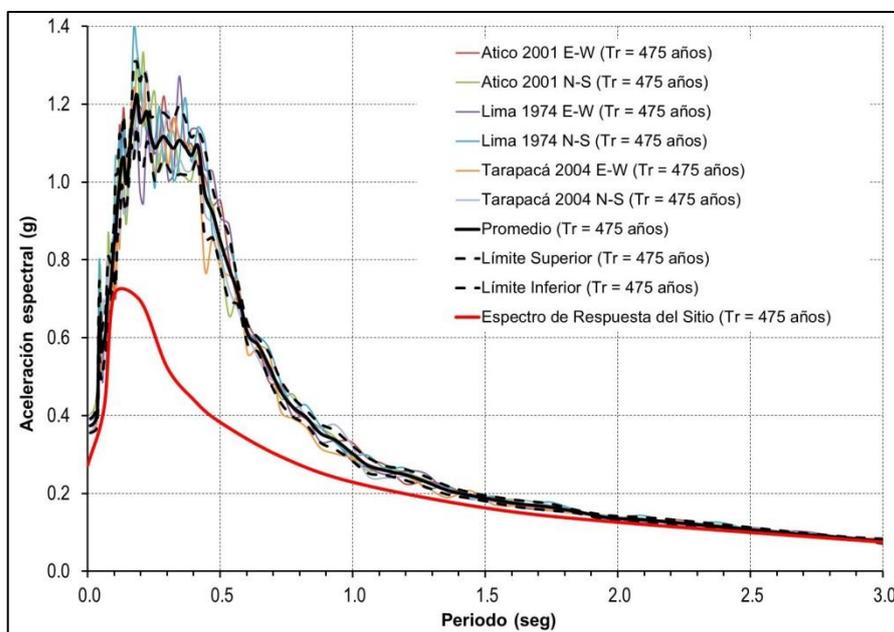
#### 4.4.4. Resultados obtenidos

A continuación se presenta los resultados obtenidos del análisis de respuesta sísmica unidimensional:

- Los suelos arcillosos que se encuentran en la superficie presentan un comportamiento no lineal con deformaciones cortantes mayores a 0,1%.

Por ello, se empleó del modelo no lineal y la corrección de las curvas dinámicas y *backbone curves*.

- Columna 1: Los espectros de respuesta en superficie de la columna 1 para cada uno de los registros sísmicos empleados, así como el valor promedio y los límites superior e inferior de los mismos se presentan en la **Figura 10**. Los resultados indican una amplificación significativa del orden de 2 de las aceleraciones espectrales, para periodos de 0,1 a 0,75 segundos, producto del material de enrocado. Para periodos mayores a 1,0 segundo, prácticamente no existe una variación de las aceleraciones espectrales.



**Figura 10.** Espectros de respuesta en superficie para la columna 1.

- Columna 2: Los espectros de respuesta en superficie de la columna 2 para cada uno de los registros sísmicos empleados, así como el valor promedio y los límites superior e inferior de los mismos se presentan en la **Figura 11**. Los resultados indican una ligera amplificación de las aceleraciones espectrales para periodos de 0,1 a 0,3 segundos, mientras que para periodos entre 0,4 y 1,0 segundos se presenta una amplificación significativa del orden de 2. Para periodos mayores a 1,5, prácticamente no existe una variación de las aceleraciones espectrales.

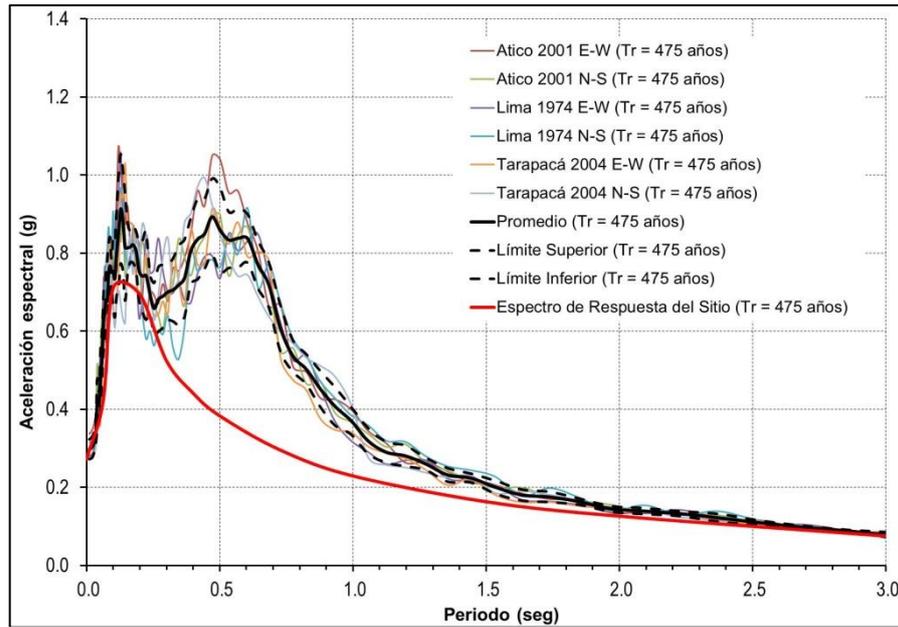


Figura 11. Espectros de respuesta en superficie para la columna 2.

- Columna 3: Los espectros de respuesta en superficie de la columna 3 para cada uno de los registros sísmicos empleados, así como el valor promedio y los límites superior e inferior de los mismos se presentan en la **Figura 12**. En esta se evidencia una atenuación de las aceleraciones espectrales entre los periodos de 0,1 a 0,25 segundos. Asimismo, se observa una amplificación del orden de 1 a 2 entre los periodos de 0,3 a 1,5 segundos.

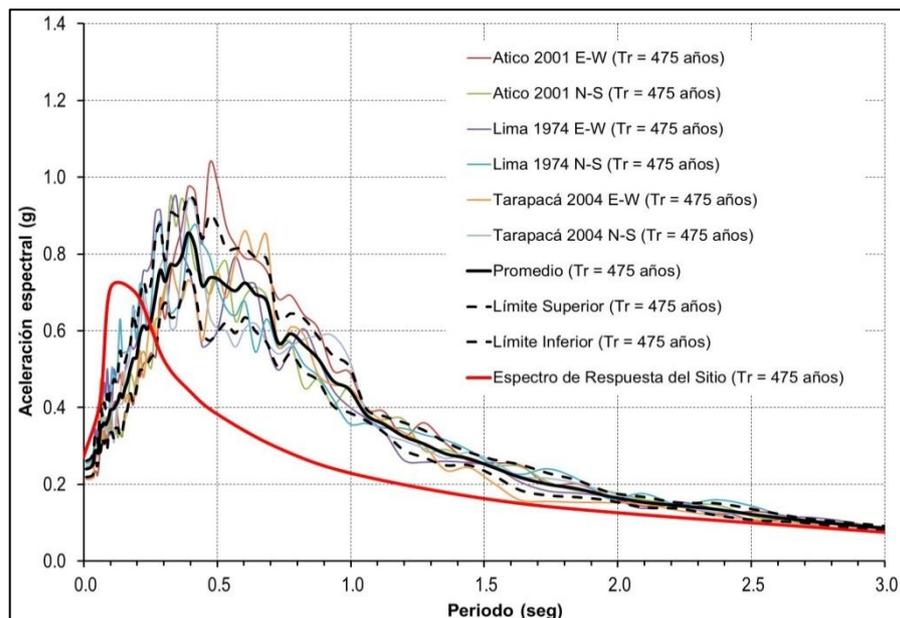
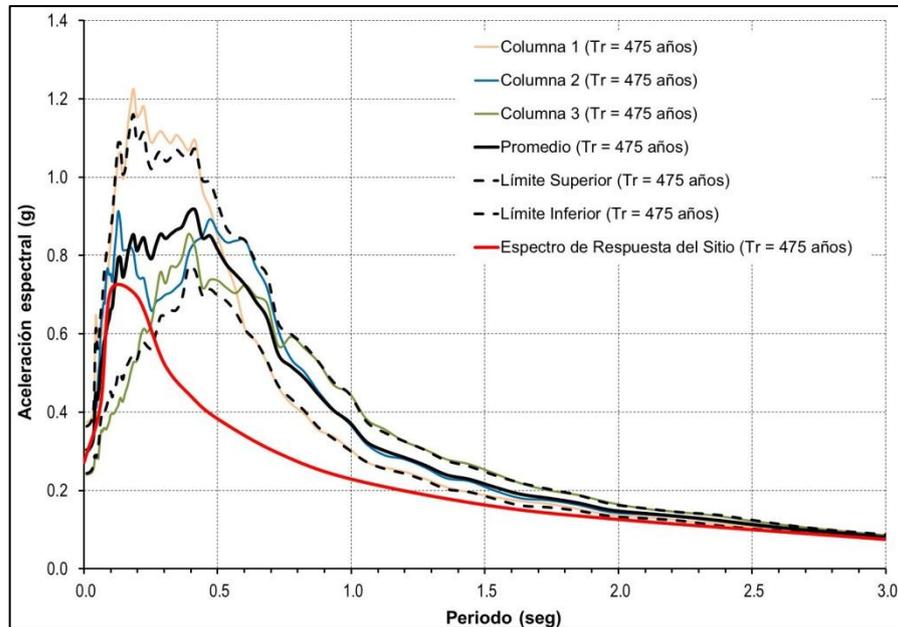


Figura 12. Espectros de respuesta en superficie para la columna 3.

- Se determinó el espectro promedio y los límites inferior y superior de las tres columnas analizadas la cual se muestra en la **Figura 13**.



**Figura 13.** Espectros de respuesta promedio en superficie para la presa de relaves.

- En el espectro promedio de las tres columnas analizadas se evidencia una amplificación del orden de 1 a 2 entre los periodos de 0,15 a 1,25 segundos. Cabe mencionar que este espectro promedio engloba posibles mecanismos de falla a lo largo del cuerpo de la presa así como a través de su cimentación. Asimismo, este espectro promedio fue empleado como el espectro de respuesta en superficie para el cálculo del coeficiente sísmico de la presa de relaves.
- El espectro resultante de la columna 3 conformada por material arcilloso y basamento rocoso fue empleado en el cálculo de los desplazamientos permanentes de la presa relaves debido a que las superficies de falla del análisis de estabilidad pseudoestático atraviesan directamente la arcilla presente en la cimentación.

#### 4.5. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Se realizó el análisis de estabilidad física de taludes de la presa de relaves por el método de equilibrio límite con la finalidad de determinar las condiciones de estabilidad de la misma para condición estática, pseudoestática y postsismo.

##### 4.5.1. Criterios de análisis

Los criterios de análisis o factores de seguridad mínimos considerados en el análisis de estabilidad física de taludes cumplen con los requeridos por las agencias *United States Society of Dam (USSD)* y *United States Bureau of Reclamation (USBR)*. La **Tabla 35** presenta los factores de seguridad mínimos aceptables para el análisis de estabilidad física de taludes realizado en el presente estudio.

**Tabla 35.** Factores de seguridad mínimos admisibles

Condición del análisis	Factor de seguridad mínimo requerido
Estática a corto plazo	1,3
Estático a largo plazo	1,5
Pseudoestático a largo plazo	1,0
Postsismo a largo plazo	1,1

##### 4.5.2. Coeficiente sísmico

Para el análisis de estabilidad pseudoestático se consideró que la masa involucrada en la falla está sometida a una fuerza horizontal igual a un coeficiente sísmico multiplicado por el peso de la masa deslizante, a fin de tomar en cuenta de manera aproximada y simplificada el efecto de las fuerzas inerciales producidas por el evento sísmico.

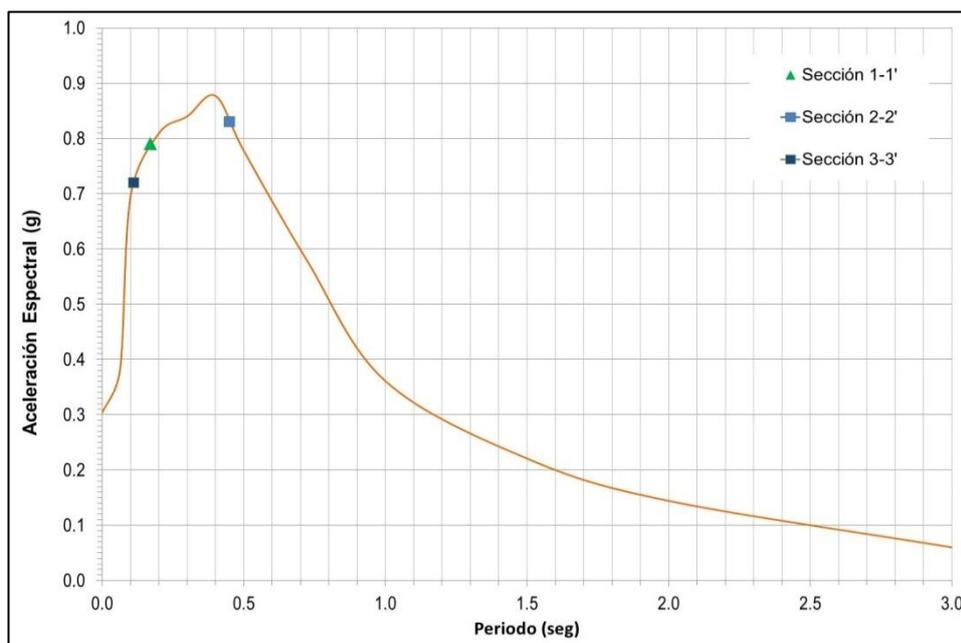
En el presente estudio, se empleó el método de Bray y Travasarou (2009) para el cálculo del coeficiente sísmico basado en el concepto de servicialidad de la estructura de tierra a analizar y la demanda sísmica expresada por un espectro de respuesta. Entre otros parámetros que toma en cuenta este método está la altura del posible bloque deslizante,

su respectivo periodo fundamental basado en la velocidad de ondas de corte promedio del talud de suelo analizado, la magnitud del sismo de diseño y el máximo desplazamiento permanente permisible que pueda soportar la estructura analizada. Es importante mencionar que el uso de dicho coeficiente sísmico considera una magnitud conservadora del desplazamiento inducido por el sismo que no puede ser superado y que asegura el correcto funcionamiento de las instalaciones analizadas, siempre y cuando el factor de seguridad sea mayor a 1.

La **Tabla 36** presenta el coeficiente sísmico calculado para un periodo de retorno de 475 años; asimismo, se indica el desplazamiento permanente máximo permisible asumido para la presa en estudio. En el **Anexo I** se presenta la memoria de cálculo de los coeficientes calculados por cada sección, de los cuales se empleó el valor crítico. Finalmente, en la **Figura 14** se presenta el espectro de respuesta con los valores de periodo degradado de los posibles bloques de falla ajustados a dicho espectro, con las respectivas aceleraciones espectrales.

**Tabla 36.** Resumen de coeficiente sísmico

Periodo de retorno (años)	Servicialidad (cm)	Coeficiente sísmico
475	100	0,11



**Figura 14.** Aceleraciones espectrales para el cálculo del coeficiente sísmico.

#### 4.5.3. Metodología de análisis

Para el análisis de estabilidad física de taludes se empleó el método de equilibrio límite, para ello se utilizó el programa de cómputo SLIDE versión 6.0 (Rocscience, 2010). Este programa permite modelar configuraciones geométricas complejas, definir criterios de rotura para el suelo y roca, tales como: Mohr-Coulomb, Hoek-Brown anisotrópico, Hoek-Brown generalizado, Barton-Bandis, función esfuerzo normal-corte, entre otros. El cálculo del factor de seguridad se realiza en una sección donde se tienen las condiciones geométricas más críticas, permitiendo llevar a cabo un análisis de forma bidimensional y aproximando el problema a un estado de deformación plana. La evaluación está basada en el método de equilibrio límite, el cual incorpora diversos procedimientos simplificados y rigurosos para el cálculo del factor de seguridad (Bishop, Spencer, Morgenster-Price, entre otros). El programa tiene la opción de utilizar diferentes métodos de análisis de estabilidad de manera simultánea; sin embargo, para el presente análisis se utilizó el método de Spencer, el cual satisface simultáneamente todas las ecuaciones de equilibrio estático (fuerzas y momentos) y es considerado el más estable numéricamente.

Como hipótesis de análisis se consideró que las propiedades de los materiales que conforman la estructura son homogéneas e isotrópicas y que el colapso se produciría como resultado de fallas simultáneas a lo largo de la superficie de deslizamiento. Cada material tiene sus características físicas y propiedades mecánicas.

#### 4.5.4. Consideraciones de análisis

En el análisis de estabilidad física se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se evaluaron las tres secciones consideradas para el análisis de infiltración. La ubicación en planta y el perfil geotécnico de las secciones analizadas se muestran en las **Figuras 3 al 6**.
- Se emplearon los parámetros geotécnicos descritos en la

**Tabla 31.**

- El análisis de estabilidad fue realizado la condición estática (actual, corto y largo plazo), pseudoestático y postsismo.
- Para la condición actual se evaluaron todos los materiales en condiciones drenadas, a excepción del relave no consolidado en el que se consideró su resistencia residual no drenada expresada como relación de resistencia residual.
- Para la condición estática a corto plazo se consideró que la arcilla en consolidación y el relave no consolidado presentan un comportamiento no drenado, por ello se consideró su relación de resistencia residual no drenada, mientras que para el resto de materiales se consideraron parámetros drenados. Asimismo, se tomó en cuenta los resultados obtenidos del análisis de consolidación unidimensional. Cabe mencionar que se consideró que solo un espesor del estrato de arcilla se encuentra influenciado por las cargas inducidas por el proceso de construcción del crecimiento de la presa. Asimismo, se consideró que la construcción de la Fase 2 será realizado en un periodo de 2 a 3 meses.
- Para la condición estática a corto plazo en la sección 1-1', se consideró que solamente la carga producida por el recrecimiento de la Fase 2 genera que la arcilla presente un comportamiento no drenado debido a que el tiempo necesario para que este material alcance el 90% de grado de consolidación (2 a 3 meses) es igual al tiempo de construcción de la Fase 2.
- Para la condición estática a corto plazo en las secciones 2-2' y 3-3', se consideró que la carga producida por el recrecimiento de las Fases 2 y 3 genera que la arcilla presente un comportamiento no drenado, debido a que el tiempo necesario para que este material alcance el 90% de grado de consolidación (12 a 14 meses) es mayor al tiempo de construcción de las Fases 2 y 3 (4 a 5 meses).
- Para la condición estática a largo plazo se evaluaron todos los materiales en condiciones drenadas.

- Para el análisis de estabilidad pseudoestático se empleó un coeficiente sísmico horizontal de 0,11 determinado por el método de Bray y Travarrou (2009). El espectro de respuesta empleado para esta metodología fue determinado para un periodo de retorno de 475 años. El detalle de la determinación del coeficiente sísmico se presenta en el **Anexo I**. Asimismo, para esta condición se evaluaron los relaves y la arcilla en condiciones consolidadas no drenadas, mientras que para el resto de materiales se consideraron parámetros drenados.
- El análisis de estabilidad postsismo fue realizado con el objetivo de evaluar la estabilidad de la presa de relaves frente a la ocurrencia del fenómeno de licuación en los relaves. Por ello, se modeló la resistencia cortante de este material en condiciones residuales no drenadas. Asimismo, la arcilla se evaluó en condiciones consolidadas no drenadas, mientras que para el resto de materiales se consideraron parámetros drenados. Es importante mencionar que debido a la incertidumbre del fenómeno de licuación del relave por falta de información se ha evaluado la estabilidad física de la presa relaves tanto en condición pseudoestática y postsismo, hecho que como se sabe usualmente no se realiza.
- Para todos los análisis de estabilidad se emplearon las presiones de poros resultantes del análisis de infiltración que fueron importadas y consideradas como puntos discretos en los modelos geotécnicos. Posteriormente, estos puntos discretos fueron interpolados a las bases de las dovelas para calcular los esfuerzos efectivos. Finalmente, este procedimiento permitió representar adecuadamente el nivel de agua y la distribución de las presiones de poros tanto en la cimentación como en el cuerpo de la presa.

#### 4.5.5. Resultados obtenidos

El resumen de los resultados obtenidos del análisis de estabilidad física de la presa de relaves para las condiciones analizadas se presenta en la **Tabla 37**. Asimismo, el **Anexo J** presenta las salidas gráficas del análisis de estabilidad las cuales contienen la información geométrica de las secciones analizadas, propiedades de los materiales y superficies de fallas críticas en cada caso analizado.

**Tabla 37.** Resumen de resultados del análisis de estabilidad por el método de equilibrio límite.

Sección	Factor de seguridad					
	Estático				Pseudo estático	Postsismo
	Actual	Corto plazo Fase 2	Corto plazo Fase 3	Largo plazo		
1-1'	1,43	1,55	1,53	1,53	1,01	1,36
2-2'	1,48	1,53	1,41	1,53	0,98	1,34
3-3' (sin contrafuerte)	1,21	1,01	0,78	-	-	-
3-3' (contrafuerte)	-	1,31*	1,33**	1,84**	1,11**	1,68**

**Notas:**

\*: Empleando contrafuerte 2A.

\*\*: Empleando contrafuertes 2A, 3A y 3B.

A continuación se presentan los comentarios relacionados a los resultados obtenidos del análisis de estabilidad física de la presa de relaves:

- Para la condición actual de la presa de relaves los resultados indican que para las secciones 1-1' y 2-2' los factores de seguridad calculados presentan valores mayores al mínimo recomendado establecido en 1,3, mientras que para la sección 3-3' el factor de seguridad calculado es menor a este valor. Sin embargo, esta última condición sería controlada en las posteriores etapas de crecimiento de la presa las cuales también fueron evaluadas en el presente estudio.
- Para la condición estática a corto plazo de las Fases 2 y 3 del crecimiento de la presa a la cota 4446 msnm, los resultados indican que para las secciones 1-1' y 2-2' los factores de seguridad calculados presentan valores mayores al mínimo recomendado establecido de 1,3, mientras que para la sección 3-3' el factor de seguridad calculado es menor a este valor. Por ello, se propone como medida de estabilización la colocación de un contrafuerte de desmonte de mina o enrocado hasta la cota 4419 mnsn (4 a 5 m de altura) desde el pie de la presa hasta 45 m aguas abajo del mismo, denominado "contrafuerte 2A". La ubicación en planta y la sección del contrafuerte 2A se muestran en las **Figuras 15 y 16**, respectivamente.

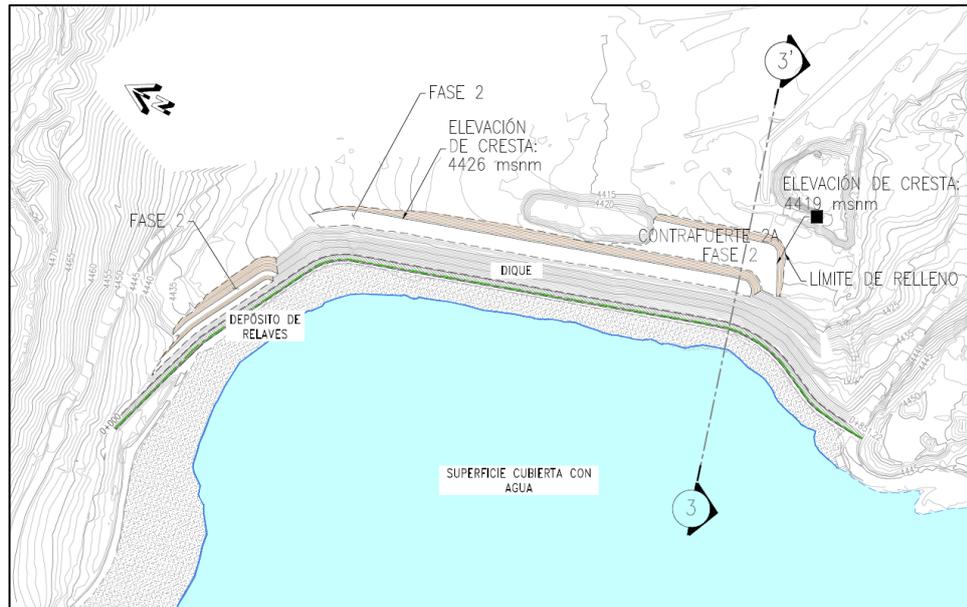


Figura 15. Ubicación en planta del contrafuerte 2A.

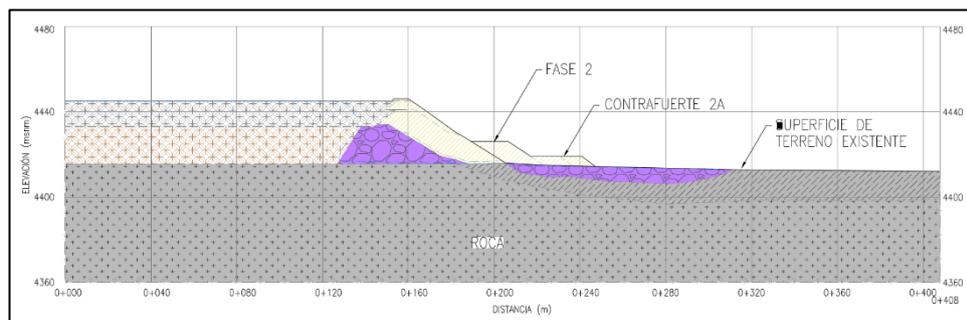
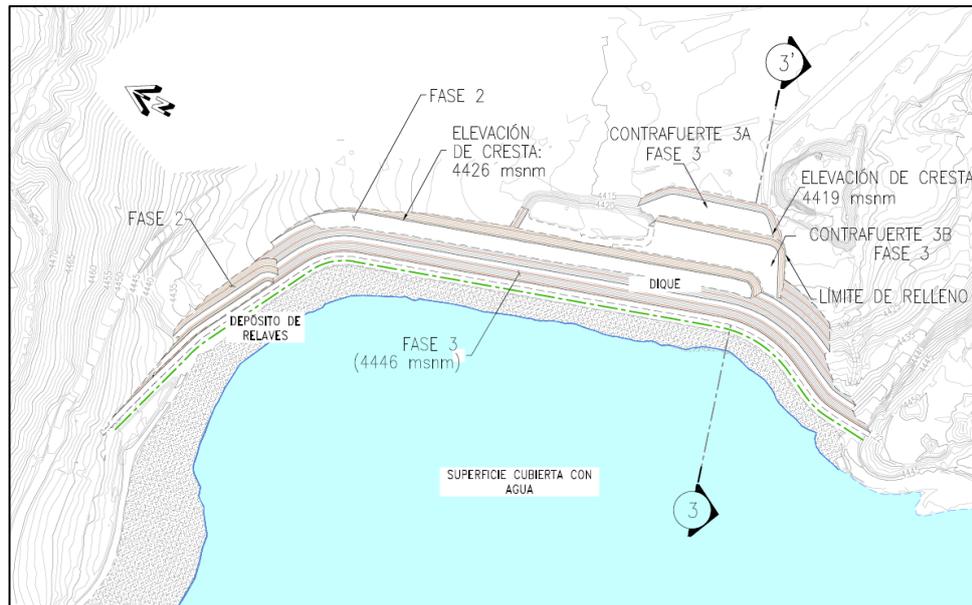


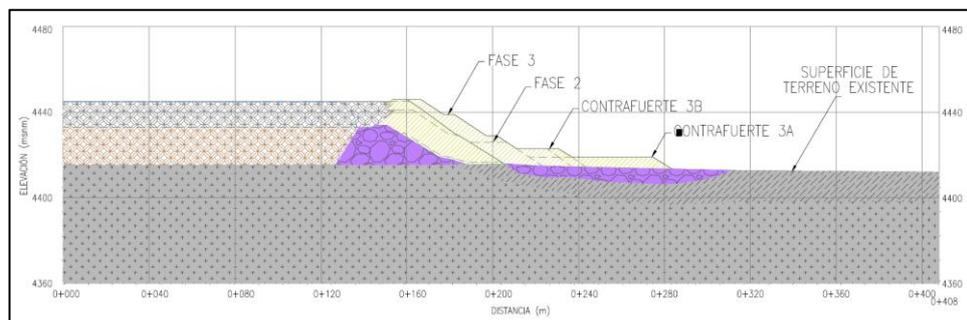
Figura 16. Sección geotécnica 3-3'- Contrafuerte 2A.

- Con base en los resultados obtenidos del análisis de consolidación unidimensional, se consideró que la arcilla que conforma la cimentación de la sección 3-3' presenta un comportamiento no drenado incluso luego de finalizar la construcción de la Fase 3. Por ello, como medida de estabilización se propone ampliar el contrafuerte 2A en 30 m adicionales previo a la construcción de esta fase, denominándose esta elevación como “contrafuerte 3A”. Asimismo, como medida de estabilización se propone elevar el contrafuerte 2A hasta la cota 4423 msnm, denominándose esta elevación como “contrafuerte 3B”. De esta manera, la presa de relaves a corto plazo presentaría adecuadas condiciones de estabilidad. Es importante recalcar que la construcción de este contrafuerte adicional se debe realizar en un periodo de tiempo mínimo de 2 meses para asegurar la disipación del exceso de presión de poros

en la base. La ubicación en planta y la sección de los contrafuertes 3A y 3B se muestran en las **Figuras 17 y 18**, respectivamente.



**Figura 17.** Ubicación en planta de los contrafuertes 3A y 3B.



**Figura 18.** Sección geotécnica 3-3' - Contrafuertes 3A y 3B.

- Para la condición estática a largo plazo los resultados indican que para todas las secciones los factores de seguridad calculados presentan valores mayores al mínimo recomendado establecido de 1,5.
- Para la condición pseudoestática a largo plazo los resultados indican que para las secciones 1-1' y 3-3' los factores de seguridad calculados presentan valores mayores al mínimo recomendado establecido de 1,0, mientras que para la sección 2-2' el factor de seguridad calculado es ligeramente menor a este valor (0,98). Por ello, con la finalidad de verificar la estabilidad física de la presa de relaves bajo condiciones

sísmicas se calcularon los desplazamientos permanentes inducidos por sismo (ver ítem 4.6).

- Para la condición postsismo los resultados indican que para todas las secciones los factores de seguridad calculados presentan valores mayores al mínimo recomendado establecido de 1,1.

#### 4.6. ANÁLISIS DE DESPLAZAMIENTOS PERMANENTES

Se realizó el cálculo de desplazamientos permanentes inducidos por sismo por el método de Bray y Travasarou (2007) y de Newmark (1965) modificado por Houston et al. (1987), con la finalidad de verificar la estabilidad física de la presa de relaves frente a la acción de fuerzas sísmicas cuando el factor de seguridad pseudoestático se encuentra por debajo de la unidad. Cabe indicar que la estabilidad sísmica de estructuras de tierra no sólo se define por un factor de seguridad obtenido por una evaluación pseudoestática, sino también por los desplazamientos permanentes inducidos por un evento sísmico. A continuación se presenta el desarrollo de esta evaluación.

##### 4.6.1. Criterios de análisis

El valor de desplazamiento permanente permisible que asegure la servicialidad de la estructura analizada se presenta en la **Tabla 38**, el cual es conservador y considera que de producirse una falla que origine un desplazamiento de tal magnitud, este no ocasionará la paralización de la operación ni pérdidas significativas.

**Tabla 38.** Desplazamiento permanente máximo permisible

Periodo de retorno (años)	Desplazamiento máximo permisible (cm)
Estática a corto plazo	100

##### 4.6.2. Método de Bray y Travasarou (2007)

Se realizó el análisis de desplazamientos permanentes inducidos por sismo por el método de Bray y Travasarou (2007), con la finalidad de

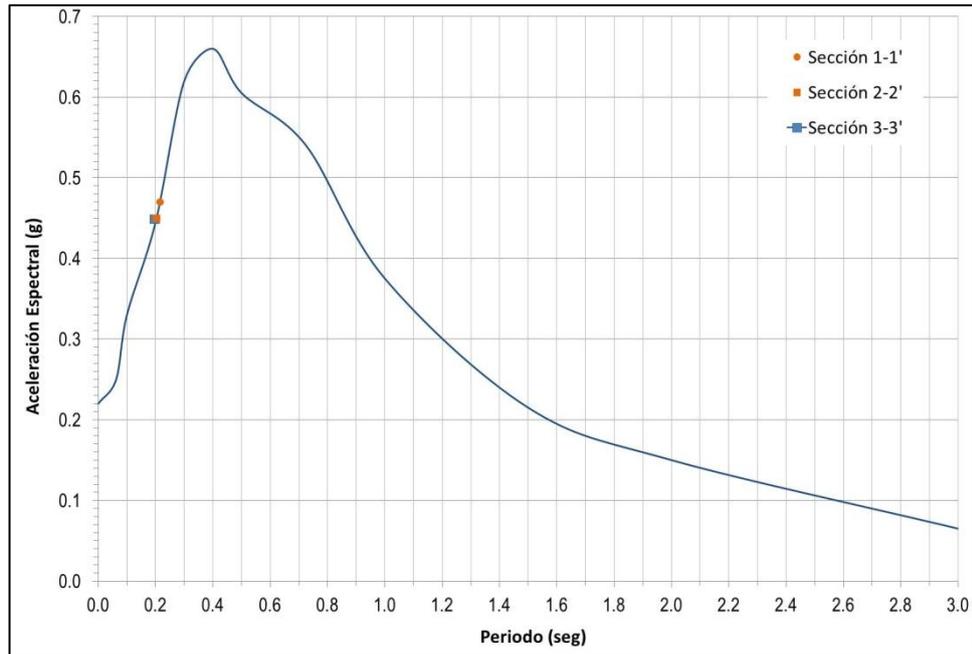
estimar los desplazamientos generados por el evento sísmico de diseño y así evaluar la estabilidad sísmica de la presa con un criterio moderno y de servicialidad. Por lo general, los desplazamientos son calculados para secciones de análisis con factores de seguridad pseudoestáticos menores a la unidad; sin embargo, en el presente estudio se realizaron los cálculos para todas las secciones.

El método de Bray y Travararou (2007) es un procedimiento simplificado acoplado para el cálculo de desplazamientos permanentes inducidos por sismos el cual está basado en el análisis de estadístico de una gran base de datos de análisis acoplados no lineales del tipo Newmark (1965), que permitieron definir que las principales características que influyen en los desplazamientos son la aceleración de fluencia, el periodo natural y la aceleración espectral para el periodo degradado de la masa deslizante y la magnitud del sismo diseño. El método de Bray y Travararou (2007) constituye una actualización y mejora del trabajo pionero de Makdisi y Seed (1978) y ha sido verificado en diferentes aplicaciones prácticas, tanto en la industria civil como en la minera.

#### 4.6.2.1 Consideraciones de análisis

En el análisis de desplazamientos permanentes por el método de Bray y Travararou (2007) se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se evaluaron las tres secciones consideradas para el análisis de infiltración y de estabilidad física.
- Se empleó el espectro de respuesta en superficie de la columna 3 obtenido del análisis de respuesta sísmica unidimensional correspondiente a un periodo de retorno de 475 años, debido a que esta columna representa la condición de cimentación por debajo de la superficie de falla crítica. En la **Figura 19** se presenta el espectro de respuesta en superficie suavizado y los valores de aceleraciones espectrales para los periodos de las masas deslizantes en cada sección analizada.



**Figura 19.** Aceleraciones espectrales para el cálculo de desplazamientos permanentes por el método de Bray y Travararou (2007).

- Las velocidades de ondas de corte necesarias para el cálculo del periodo natural del bloque deslizante se calcularon con base en los resultados obtenidos de los ensayos SCPTu y ensayos geofísicos ejecutados en la zona de estudio.
- Se evaluó la probabilidad de presentarse desplazamientos despreciables o cercanos a cero ante el evento sísmico de diseño.
- Los desplazamientos son presentados en términos del valor promedio y los rangos definidos por la formulación de Bray y Travararou (2007). Sin embargo, para el presente estudio se recomienda emplear conservadoramente los valores máximos.

#### 4.6.2.2 Resultados obtenidos

El resumen de los resultados obtenidos del análisis de desplazamientos permanentes inducidos por sismo de la presa de relaves por el método de Bray y Travararou (2007) se presenta en la **Tabla 39**. Asimismo, el **Anexo K** presenta los cálculos efectuados a detalle de este análisis.

**Tabla 39.** Resumen de resultados de desplazamientos permanentes - Método de Bray y Travasarou (2007).

Sección	Desplazamientos permanentes (cm)	
	Promedio	Rango
1-1'	11,9	6,0 - 23,8
2-2'	13,1	6,6 - 26,2
3-3'	6,8	3,4 - 13,6

De los resultados obtenidos, se observa que todos los valores de desplazamientos permanentes calculados son menores al desplazamiento máximo permisible establecido de 100 cm. Cabe mencionar que estos resultados son referenciales dado que la configuración de la presa estará sujeta a cambios en el corto a mediano plazo; sin embargo, estos resultados servirán para futuros análisis sísmicos de la misma.

#### 4.6.3. Método de Houston et al. (1987)

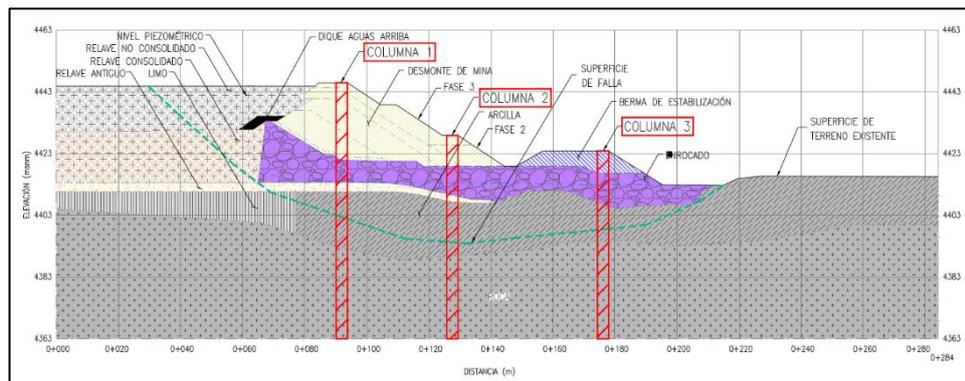
Se realizó el análisis de desplazamientos permanentes inducidos por sismo por el método de Houston et al. (1987) el cual es una modificación a la metodología pionera propuesta por Newmark (1965), con la finalidad de estimar los desplazamientos generados por el evento sísmico de diseño.

El método de Houston et al. (1987) corresponde a una modificación del clásico procedimiento de bloque rígido de Newmark (1965). Houston et al. (1987) introducen una capa o estratos deslizantes cuyas propiedades dinámicas reducidas previenen que las aceleraciones pico del bloque rígido deslizante superen la aceleración de fluencia. De esta manera, se previene que aceleraciones mayores a la de fluencia generen movimientos en el bloque deslizante que resulten inconsistentes con la asunción original de bloque rígido de Newmark (1965). El método de Houston et al. (1987) es ampliamente empleado en diseño de estructuras de tierra.

#### 4.6.3.1 Consideraciones de análisis

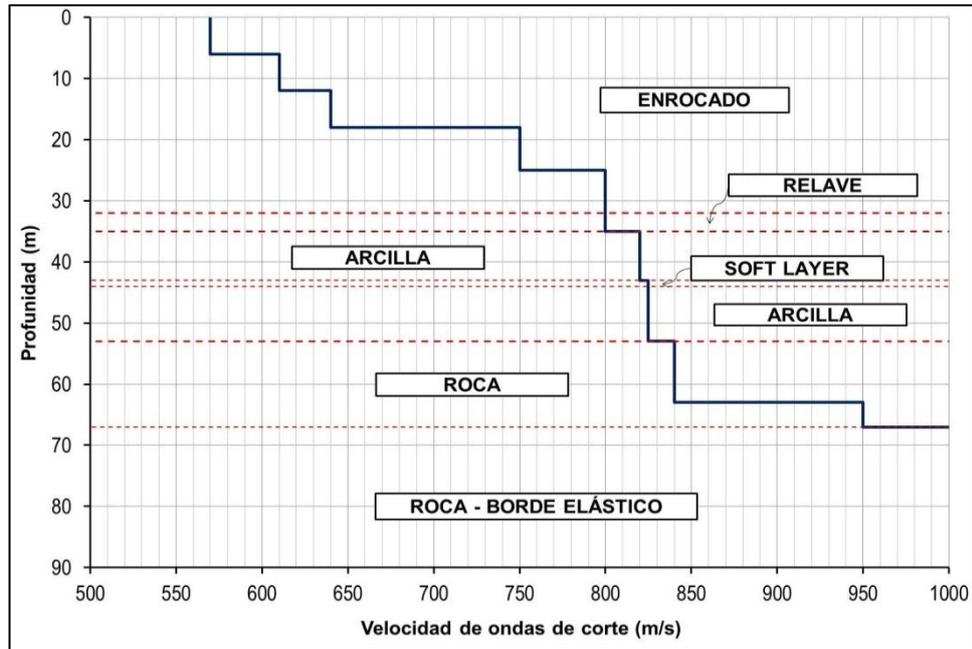
En el análisis de desplazamientos permanentes por el método de Houston et al. (1987) se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se evaluó la sección 2-2' la cual representa la condición crítica dado que en esta sección se presenta el menor factor de seguridad pseudoestático y los máximos desplazamientos permanentes obtenidos por el método de Bray y Travasarou (2007).
- Se emplearon tres columnas de suelo contenidas dentro de la superficie de falla. La columna 1 representa el cuerpo de la presa, la columna 2 simula el pie del cuerpo y la columna 3 modela la condición de la falla en la berma de estabilidad. La **Figura 20** presenta la sección 2-2' empleada para el análisis de estabilidad física y la ubicación esquemática de cada una de estas columnas.

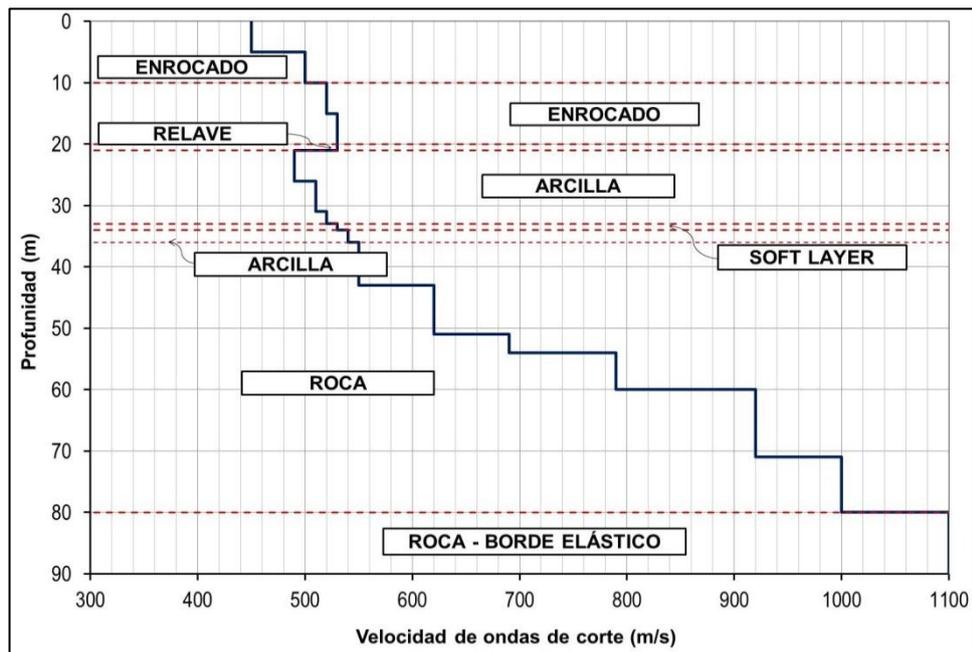


**Figura 20.** Sección geotécnica para el cálculo de desplazamientos permanentes por el método de Houston et al. (1987).

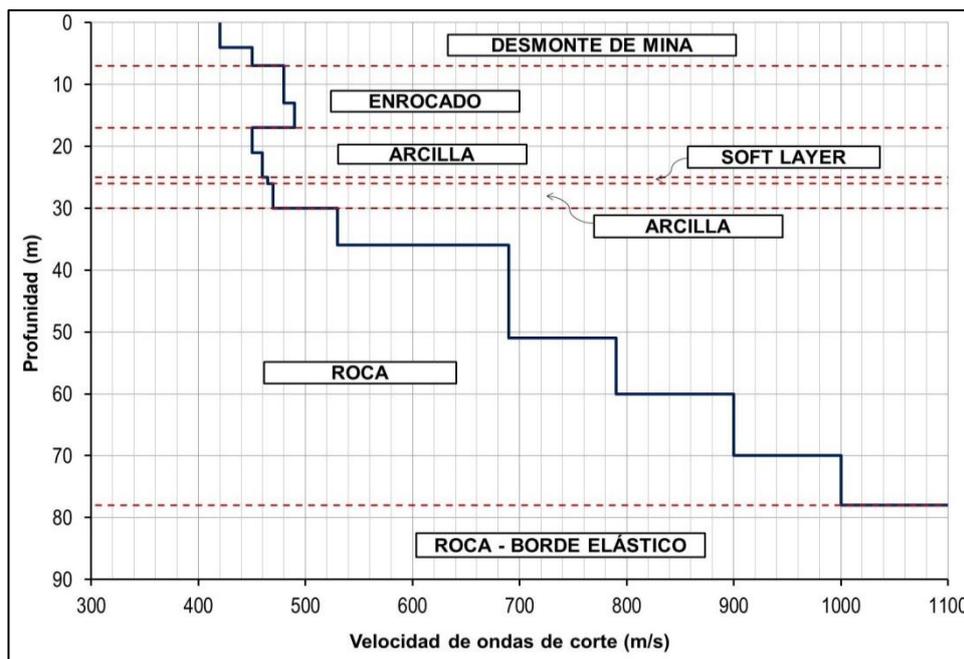
- Cada columna incluye un estrato de falla de 1 m de espesor, a una profundidad determinada, que representa la superficie de falla. Las **Figuras 21 al 23** presentan los perfiles de velocidad de las columnas empleadas en el análisis.



**Figura 21.** Perfil de velocidad de ondas de corte de la columna 1 para el análisis de desplazamientos permanentes por el método de Houston et al. (1987).



**Figura 22.** Perfil de velocidad de ondas de corte de la columna 2 para el análisis de desplazamientos permanentes por el método de Houston et al. (1987).



**Figura 23.** Perfil de velocidad de ondas de corte de la columna 3 para el análisis de desplazamientos permanentes por el método de Houston et al. (1987).

- Los perfiles de velocidad de ondas de corte se elaboraron con base en los resultados obtenidos de los ensayos SCPTu y ensayos geofísicos ejecutados en la zona de estudio.
- Los materiales que componen cada columna fueron discretizados de tal manera que permitan la transmisión de ondas de hasta 25 Hz de frecuencia. Asimismo, se verificó que la curva intrínseca o back-bone curve de cada material tenga un ángulo de fricción dinámico crítico compatible con las características de cada material. En caso no presentarse esta condición, se modificaron las curvas dinámicas a partir de deformaciones cortantes de 0,1%.
- Se emplearon todos los registros sísmicos sintéticos empleados en el análisis de respuesta sísmica.

#### 4.6.3.2 Resultados obtenidos

El **Anexo K** presenta los registros tiempo-historia integrados para el cálculo de desplazamientos en cada una de las columnas, en donde se puede observar que el sismo de Tarapacá de 2005 presenta solamente algunos picos puntuales por encima de la aceleración de fluencia, los

cuales fueron integrados para el cálculo de desplazamientos, por ello se consideró que estos resultados no son representativos de la sismicidad de la zona, por lo que solamente los resultados de desplazamientos de los sismos de Lima de 1974 y Atico de 2001 fueron considerados válidos. Es importante resaltar que en nuestro medio no se cuentan con registros sísmicos en roca de eventos de subducción importantes. Solo los sismos de Lima de 1974 y Atico de 2001 cuentan con registros en suelos rígidos. El sismo de Pisco de 2007, de una magnitud  $M_w = 8,0$ , es el sismo moderno de mayor importancia en el Perú y cuenta solo con registros en suelos arenosos sueltos cuya clasificación de sitio no se conoce.

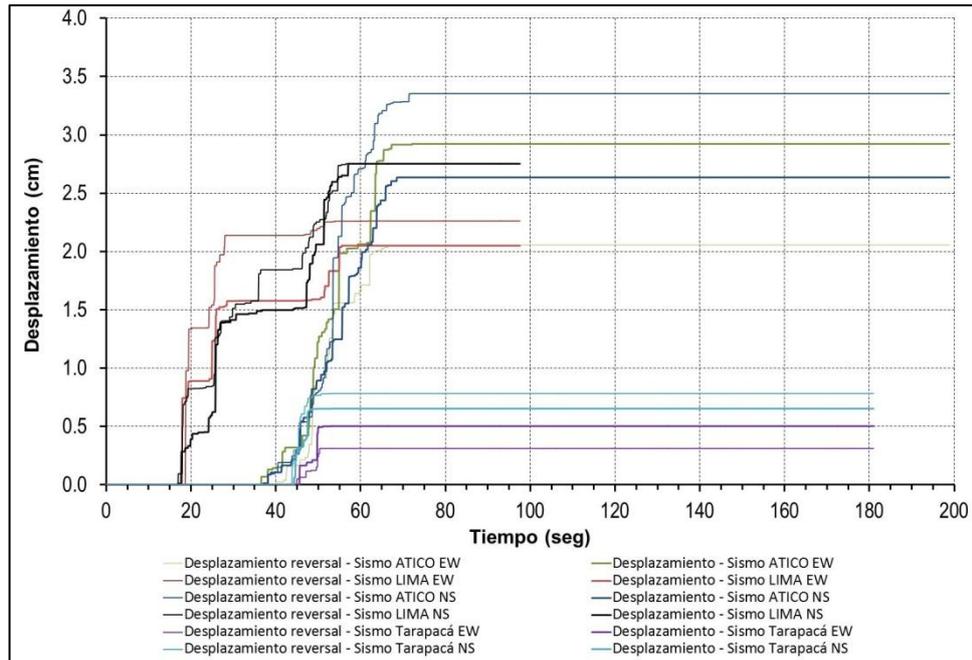
La **Tabla 40** presenta el resumen de los resultados obtenidos del análisis de desplazamientos permanentes inducidos por sismo por el método de Houston et al. (1987) así también, el promedio de los mismos considerando solamente los eventos sísmicos de Lima de 1974 y Atico de 2001. Asimismo, las **Figuras 24 al 26** presentan los desplazamientos permanentes acumulados por cada columna analizada.

**Tabla 40.** Resumen de resultados de desplazamientos permanentes - Houston et al. (1987).

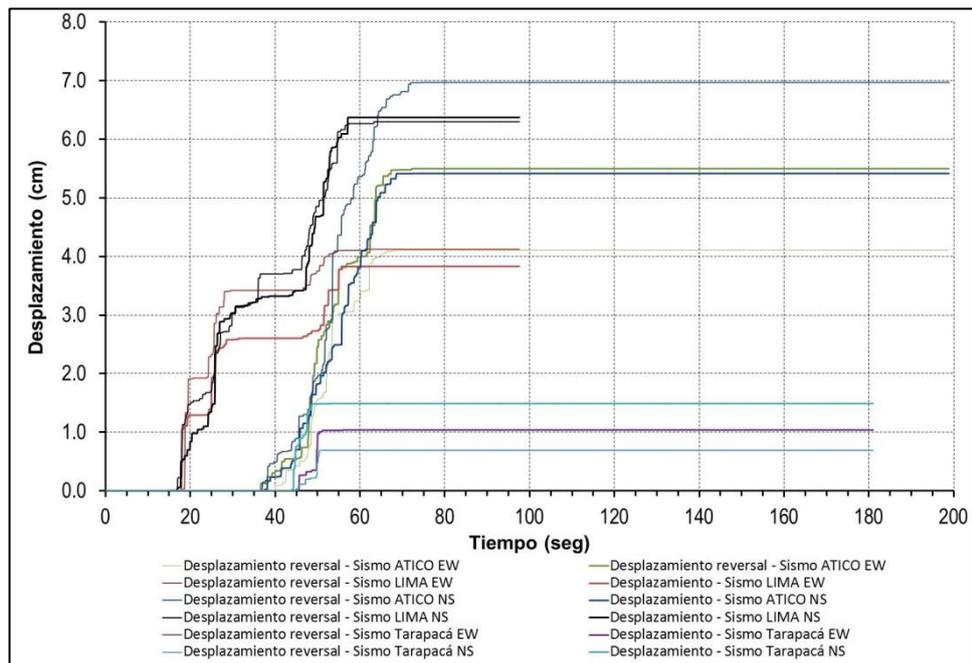
Columna	Desplazamientos permanentes (cm)						Promedio*
	Lima E-W	Lima N-S	Atico E-W	Atico N-S	Tarapacá E-W	Tarapacá N-S	
1	2,2	2,8	2,5	3,0	0,4	0,7	2,6
2	4,0	6,3	4,8	6,2	0,9	1,7	5,3
3	5,7	9,2	7,3	9,3	1,5	2,9	7,9
Promedio	4,0	6,1	4,9	6,2	0,9	1,8	5,3

**Notas:**

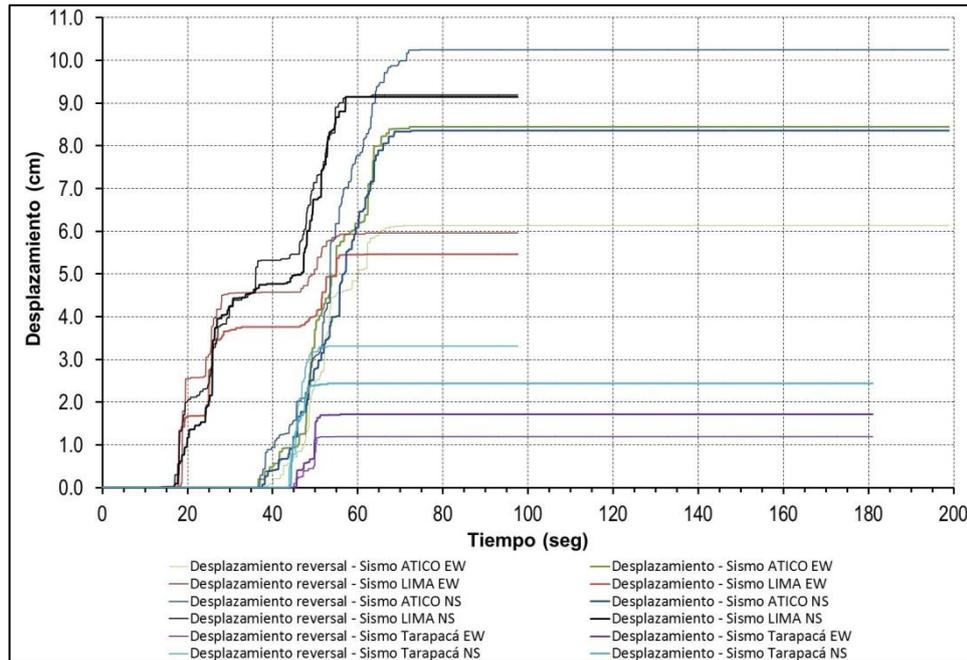
\*: Considera solo los sismos de Lima de 1974 y Atico de 2001.



**Figura 24.** Desplazamientos permanentes acumulados determinados por el método de Houston et al. (1987) para la columna 1.



**Figura 25.** Desplazamientos permanentes acumulados determinados por el método de Houston et al. (1987) para la columna 2.



**Figura 26.** Desplazamientos permanentes acumulados determinados por el método de Houston et al. (1987) para la columna 3.

De los resultados obtenidos, se observa que todos los valores de desplazamientos permanentes calculados obtenidos por el método de Houston et al. (1987) son compatibles con el rango definido por el límite inferior y promedio determinado por el método de Bray y Travasarou (2007) para la misma sección y consecuentemente menores al desplazamiento máximo permisible establecido en 100 cm. Como en el caso anterior, cabe mencionar que estos resultados son referenciales dado que la configuración de la presa de relaves cambiará en el corto a mediano plazo; sin embargo, estos resultados servirán para futuros análisis sísmicos de la misma.

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- La revisión del informe de peligro sísmico existente permitió determinar un valor de 0,27 g como PGA esperado en la zona de estudio para un periodo de retorno de 475 años en un terreno correspondiente a la clasificación B o roca, de acuerdo al código IBC (2012), el cual corresponde a un tiempo de exposición de una estructura de 50 años de vida útil, con una probabilidad de excedencia de 10%.
- Las investigaciones geotécnicas de campo permitieron obtener muestras disturbadas e inalteradas representativas de los suelos arcillosos y los relaves depositados de la presa para posteriormente ser derivadas a un laboratorio geotécnico para su caracterización física y mecánica. Asimismo, los ensayos SCPTu y geofísicos fueron fundamentales en la caracterización física, mecánica y sobretodo dinámica de los materiales que componen el cuerpo, el dique y la cimentación de la presa de relaves.
- Los parámetros geotécnicos de los materiales que conforman el modelo geotécnico de la presa de relaves y su cimentación se determinaron con base en los resultados de las investigaciones geotécnicas y ensayos de laboratorio realizados en la zona en estudio.
- Se consideraron dos estratos de relave fino. El primer estrato está conformado por los relaves depositados hasta la cresta de la presa de enrocado aguas arriba, aproximadamente a la cota 4435,2 msnm, los cuales fueron sometidos a un proceso de consolidación durante la operación de la presa. El segundo estrato está conformado por los relaves depositados por encima de la cota 4435,2 msnm los cuales no se encuentran consolidados.
- Los parámetros de resistencia cortante no drenados del relave fino se determinaron con base en los resultados obtenidos de los ensayos SCPTu y de los ensayos de compresión triaxial consolidado no drenado (CU). Asimismo, los parámetros de resistencia cortante drenados de este

material se determinaron con base en los resultados obtenidos de los ensayos de compresión triaxial consolidado drenado (CU) en términos de esfuerzos efectivos.

- Los parámetros de resistencia cortante de la arcilla se determinaron con base en los resultados obtenidos de los ensayos SCPTu y de los ensayos de compresión triaxial consolidado no drenado (CU), mientras que los parámetros de resistencia cortante drenados de este material se determinaron con base en los resultados obtenidos de los ensayos de compresión triaxial consolidado drenado (CU) en términos de esfuerzos efectivos. Asimismo, los parámetros de consolidación tales como el OCR y los coeficientes de deformación de la arcilla se determinaron con base en los resultados obtenidos del ensayo de consolidación realizado a este material.
- Los parámetros de resistencia cortante drenados del resto de materiales se determinaron con base en los resultados obtenidos de los ensayos triaxiales realizados a estos materiales y a la experiencia del consultor en materiales similares.
- Para el presente estudio se realizó una evaluación geotécnica integral de la condición actual de la presa de relaves la cual se encuentra en la fase inicial del diseño original del crecimiento de la presa a la cota 4446 msnm. Asimismo, se evaluaron las dos fases restantes del crecimiento de esta presa, denominadas Fases 2 y 3 consistentes en la construcción secuencial de un contrafuerte de desmonte de mina a lo largo de todo el pie de la presa. Finalmente, de manera referencial, se evaluaron las condiciones de estabilidad para la condición estática a largo plazo, sísmica y postsismo de la presa.
- La evaluación geotécnica consistió en efectuar el análisis de infiltración, consolidación unidimensional, respuesta sísmica, estabilidad física de taludes y el análisis de desplazamientos permanentes inducidos por sismo de la presa de relaves en estudio.
- Los resultados obtenidos del análisis de infiltración indican que en general el nivel de agua desciende a través del relave desde su posición

inicial hasta la base de la presa para dirigirse horizontalmente hacia el pie de la misma y finalmente continuar superficialmente por el terreno natural. El nivel de agua resultante coincide con las mediciones de presiones de agua registradas en los piezómetros de cuerda vibrante instalados en el cuerpo de la presa y su cimentación. Cabe mencionar que los resultados obtenidos del análisis de infiltración para la condición actual de la presa de relaves fueron empleados en el análisis de estabilidad física de taludes de la misma en términos de distribución de presiones de poros.

- El análisis de consolidación unidimensional se realizó con la finalidad de estimar los asentamientos por efecto de las cargas inducidas por el proceso de construcción de las Fases 2 y 3 del crecimiento de la presa hasta la cota 4446 msnm. Los resultados indican un asentamiento de aproximadamente 1,0 m en la zona sur de la presa el cual deberá ser controlado durante el proceso de construcción. Asimismo, el análisis de consolidación unidimensional se realizó con la finalidad de evaluar el comportamiento de la arcilla que conforma la cimentación de la presa y así definir las condiciones del análisis de estabilidad física de la misma.
- El análisis de respuesta sísmica unidimensional fue realizado con la finalidad de determinar los espectros de respuesta en superficie los cuales son fundamentales para la evaluación sísmica de la presa de relaves. Se evaluaron tres columnas de suelo las cuales representan los sectores de la cimentación, pie y aguas abajo de la presa. Los parámetros dinámicos fueron obtenidos de los resultados obtenidos de los ensayos de campo y publicaciones existentes en la literatura, mientras que los registros sísmicos empleados en el análisis fueron ajustados espectralmente para representar la sismicidad de la zona.
- El análisis de estabilidad física de taludes de la presa de relaves fue realizado con la finalidad de determinar las condiciones de estabilidad de la misma para condición estática (actual, corto y largo plazo), pseudoestática y postsismo. La condición a corto plazo corresponde a las Fases 2 y 3 de crecimiento de la presa hasta la cota 4446 msnm. Se

analizaron tres secciones las cuales representan los sectores norte, centro y sur de la presa de relaves.

- Para la condición actual de la presa de relaves los resultados del análisis de estabilidad indican que para las zonas norte y centro (secciones 1-1' y 2-2') los factores de seguridad calculados presentan valores mayores al mínimo recomendado establecido en 1,3, mientras que para la zona sur (sección 3-3') el factor de seguridad calculado es menor a este valor. Sin embargo, esta última condición sería controlada en las posteriores etapas de crecimiento de la presa las cuales también fueron evaluadas en el presente estudio.
- Para la condición estática a corto plazo de la Fase 2 del crecimiento de la presa a la cota 4446 msnm, los resultados del análisis de estabilidad indican que para las zonas norte y centro (secciones 1-1' y 2-2') los factores de seguridad calculados presentan valores mayores al mínimo recomendado establecido en 1,3, mientras que para la zona sur (sección 3-3') el factor de seguridad calculado es menor a este valor. Por ello, se propone como medida de estabilización la colocación de un contrafuerte de desmonte de mina o enrocado hasta la cota 4419 msnm (4 a 5 m de altura) desde el pie de la presa hasta 45 m aguas abajo del mismo, denominado "contrafuerte 2A". Este contrafuerte formará parte de la Fase 2 y deberá ser construido en un tiempo no menor de dos meses para garantizar la consolidación del material arcilloso de cimentación.
- Para la condición estática a corto plazo de la Fase 3 del crecimiento de la presa a la cota 4446 msnm, los resultados del análisis de estabilidad indican que para las zonas norte y centro (secciones 1-1' y 2-2') los factores de seguridad calculados presentan valores mayores al mínimo recomendado establecido de 1,3, mientras que para la zona sur (sección 3-3') el factor de seguridad calculado es menor a este valor. Por ello, se propone como medida de estabilización la ampliar el contrafuerte 2A en 30 m adicionales previo a la construcción de esta fase, denominándose esta elevación como "contrafuerte 3A". Asimismo, se propone elevar el contrafuerte 2A hasta la cota 4423 msnm, denominándose esta elevación

como “contrafuerte 3B”. Los contrafuertes 3A y 3B formarán parte de la Fase 3 del crecimiento.

- Los contrafuertes 2A, 3A y 3B serán conformados por desmonte de mina compactado en las zonas en donde se prevé que estos formarán parte del cuerpo de la presa en futuros crecimientos. Aquellas zonas que corresponden al contrafuerte pero que no constituyen parte del crecimiento final de la presa, podrán ser conformados por enrocado, desmonte de mina u otro material colocado al volteo (sin compactar), pudiendo eventualmente utilizarse el material acopiado en la zona sur de la presa. Asimismo, se recalca que los contrafuertes 2A y 3A deberán construirse en un tiempo no menor a dos meses para para garantizar la consolidación de la arcilla que conforma la cimentación de la presa.
- Para la condición estática a largo plazo y postsismo los resultados del análisis de estabilidad indican adecuadas condiciones de estabilidad ya que los factores de seguridad calculados presentan valores mayores a los mínimos recomendados establecidos.
- Para el análisis de estabilidad pseudoestático se empleó un coeficiente sísmico horizontal de 0,11 determinado por el método de Bray y Travararou (2009). El espectro de respuesta en superficie empleado fue determinado para un periodo de retorno de 475 años el cual resultó del análisis de respuesta sísmica unidimensional.
- Para la condición pseudoestática a largo plazo los resultados del análisis de estabilidad indican que en las zonas norte y sur (secciones 1-1' y 3-3') los factores de seguridad calculados presentan valores mayores al mínimo recomendado establecido de 1,0, mientras que para la zona centro (sección 2-2') el factor de seguridad calculado es ligeramente menor a este valor. Por ello, con la finalidad de verificar la estabilidad física de la presa de relaves bajo condiciones sísmicas se calcularon los desplazamientos permanentes inducidos por sismo.
- Los análisis de desplazamientos permanentes inducidos por sismo por los métodos de Bray y Travararou (2007) y Newmark (1965) modificado por Houston et al. (1987), indican que la zona centro (sección 2-2')

presenta los mayores valores de desplazamientos permanentes que son menores al desplazamiento máximo permisible establecido en 1 m. Estos resultados son referenciales dado que la configuración de la presa estará sujeta a cambios en el corto a mediano plazo, por condiciones de construcción y operación. Es importante mencionar que los desplazamientos inducidos por sismo para la configuración evaluada están influenciados por la arcilla de la cimentación de la presa. Sin embargo, los cambios en la configuración de esta podrían ocasionar nuevas condiciones de análisis.

- Sobre la base de los resultados obtenidos de estos análisis, se concluye que actualmente la presa de relaves presenta adecuadas condiciones de estabilidad. Sin embargo, como parte de los trabajos de crecimiento hasta la cota 4446 msnm, se requiere como medida de estabilidad conformar los contrafuertes descritos anteriormente de manera que se garantice la estabilidad física a corto plazo de la presa en la zona sur.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Durante la construcción de la presa de relaves, se recomienda monitorear los piezómetros existentes ubicados en el dique. Asimismo, se recomienda la instalación de piezómetros de cuerda vibrante adicionales en el material de arcilla que conforma la cimentación en la zona del pie de la presa para monitorear el nivel de agua durante la construcción de la misma.
- Se recomienda la instalación de sensores de asentamientos en la zona del pie de la presa de relaves.
- Se recomienda la instalación de por lo menos tres acelerógrafos, el primero ubicado en el afloramiento rocoso cercano al pie de la presa, el segundo en la cresta del mismo y el tercero sobre el material arcilloso localizado aguas abajo del pie de la presa. Los registros sísmicos permitirán una mejor caracterización de los efectos sísmicos de sitio que constituye, en conjunto con el comportamiento no drenado de la arcilla de cimentación, unas de las principales amenazas a la estabilidad física de la presa.

- Se recomienda mantener el espejo de agua de la presa a una distancia mínima de 100 m de la cresta de la misma con la finalidad de evitar un incremento de la presión de poros en el cuerpo de la presa.
- Para futuros diseños de crecimiento de la presa, se recomienda complementar las investigaciones geotécnicas existentes con perforaciones que permitan definir con mayor precisión la estratigrafía de la cimentación de la presa, tanto en el dique como en el pie de la misma.
- De continuar con un crecimiento de la presa con material de desmonte de mina como cuerpo del dique, se recomienda ejecutar un análisis numérico hidromecánico que permita estimar las presiones de poros generadas por los crecimientos, velocidad de disipación y factores de seguridad durante cada fase de construcción.
- Para futuros crecimientos de la presa de relave se recomienda estudiar el empleo de relave cicloneado para el cuerpo siguiendo el proceso de construcción aguas abajo. Este proceso de construcción permitirá la disposición del relave grueso de manera gradual y a largo plazo evitando así la generación de presiones de poros en los suelos arcillosos de la cimentación comprometa la estabilidad de la presa. Asimismo, este tipo de crecimiento permite el desarrollo de asentamientos progresivos por consolidación, siempre que sean monitoreados, ya que el relave se acomodará en la medida que se presenten los asentamientos.
- Para futuros análisis sísmicos de la presa de relaves se recomienda determinar los desplazamientos inducidos por sismo ejecutando análisis dinámicos por los métodos de elementos finitos o diferencias finitas. Estos análisis dinámicos deberán incluir una correcta caracterización de las propiedades dinámicas de las arcillas mediante la ejecución de ensayos de columna resonante, corte torsional o triaxial cíclico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRAHAMSON N. (1992). "Non-stationary spectral matching", *Seismol. Res. Lett.* 63, 30.
2. BRAY J. Y TRAVASAROU T. (2007). "Simplified Seismic Slope Displacement Procedures", K.D. Pitilakis (ed.), *Earthquake Geotechnical Engineering*, 327-353, Springer, 2007. Bray J. y Travararou T. (2009), "Pseudostatic Coefficient for Use in Simplified Seismic Slope Stability Evaluation", ASCE; *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 135, No.9, Septiembre 1, 2009.
3. BRAY J. Y TRAVASAROU T. (2009). "Pseudostatic Coefficient for Use in Simplified Seismic Slope Stability Evaluation", ASCE; *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 135, No.9, Septiembre 1, 2009.
4. CASTILLO J. Y ALVA J. (1993). "Peligro Sísmico en el Perú", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
5. DARENDELI M. (2001). "Development of a new family of normalized modulus reduction and material damping curves". (Ph. D. Dissertation). University of Texas at Austin, Austin, Texas.
6. GAMARRA C. Y AGUILAR Z. (2009). "Nuevas Fuentes Sismogénicas para la Evaluación del Peligro Sísmico y Generación de Espectros de Peligro Uniforme en el Perú", XVI Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería Civil, Lima, Perú.
7. HANCOCK J., WATSON-LAMPREY J., ABRAHAMSON N., BOMMER J., MARKATIS A., MCCOY E. Y MENDIS R. (2006). "An improved method of matching response spectra of recorded earthquake ground motion using wavelets", *J. Earthquake Eng.* 10, 67-89.
8. HASHASH, Y. "DEEPSOIL V5.1.7 - "User Manual and Tutorial" (2014). Department of civil and Environmental Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign. Kavazanjian E.JR., Mohamed G.A., Matasovic, N.

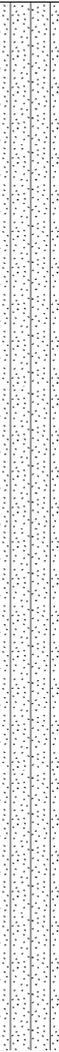
- (2011). "Seismic Analysis Heap Leach Pad Liner Systems". 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Chile.
9. HOUSTON S., HOUSTON W. Y PADILLA J. (1987). "Microcomputer-aided evaluation of earthquake-induced permanent slope displacements". *Microcomputers in Civil Engineering*: 207-222.
10. LIAO T., MASSOUDI N., MCHOOD M., STOKOE, K. Y MENQ F. (2013). "Normalized Shear Modulus of Compacted Gravel". En *Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Paris.
11. LUNNE T., ROBERTSON P., POWELL J. (1997). "Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice". Blackie Academic and Professional.
12. MAKDISI F. Y SEED H. (1978). "Simplified procedure for estimating dam and embankment earthquake-induced deformations". *Journal of Geotechnical Engineering* 104(7): 849-867.
13. MAYNE P. (2013). "Diseño ingenieril usando el ensayo de penetración con cono - Guía de aplicaciones geotécnicas". Conetec, Agosto de 2013. Traducido al español por Rodio-Swissboring Guatemala.
14. MENQ F. (2003). "Dynamic properties of sandy and gravelly soils". (Ph. D. dissertation). University of Texas at Austin, Austin, Texas. Newmark N. M. (1965), "Effects of Earthquakes on Dams and Embankments", *Géotechnique*, Vol. 15, No 2, pp. 139-160.
15. NEWMARK N. (1965). "Effects of Earthquakes on Dams and Embankments", *Géotechnique*, Vol. 15, No 2, pp. 139-160.
16. OLSON S. Y STARK T. (2002). "Liquified Strength Ratio from Liquefaction Flow Failure Case Histories. NRC Research Press Web Site".
17. ROCSCIENCE (2010). Slide v6.0 - 2-D Limit Equilibrium Slope Stability Analysis. Rocscience, Inc. ([www.rocscience.com](http://www.rocscience.com)), Toronto, Ontario.
18. ROCSCIENCE (2010). Slide v6.0 - 2-D Limit Equilibrium Slope Stability Analysis. Rocscience, Inc. ([www.rocscience.com](http://www.rocscience.com)), Toronto, Ontario.

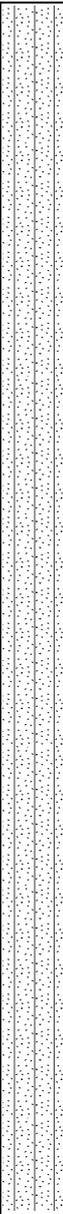
19. SADIGH K., CHANG C., EGAN J., MAKDISI F. Y YOUNGS R. (1997). "Attenuation Relationship for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data", Seismological Research Letters.
20. SEED H., WONG R., IDRIS I. Y TOKIMATSU K. (1986). "Moduli and damping factors for dynamic analyses of cohesionless soils", J. Geotech. Eng., 112(11):1016-1032.
21. SILGADO E. (1978). "Historia de los Sismos más Notables ocurridos en el Perú 1513 - 1974", Instituto de Geología y Minería, Boletín N°3, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, Perú.
22. SCHNABEL P., LYSMER J. Y SEED H. (1972). "SHAKE: A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites", Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California.
23. SLIDE (2010). "2D Limit Equilibrium Slope Stability for Soil and Rock Slopes". User's Guide.
24. WOLFF T. (1989). "Pile Capacity Prediction Using Parameter Functions". ASCE Geotechnical Special Publications No. 23, 1989, pp. 96-106.
25. YOUNGS R., CHIOU S., SILVA W. Y HUMPREY J. (1997). "Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes", Seismological Research Letters, U.S.A.
26. ZHAO J., ZHANG J., ASANO A., OHNO Y., OOUCHI T., ET AL (2006). "Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 96, No. 3, pp. 898 - 913, June 2006, doi: 10.1785/0120050122.

# **ANEXOS**

## ***ANEXO A: REGISTRO DE CAMPO***

## ***ANEXO A.1: REGISTRO DE CALICATAS***

		Ubicación :		<b>CALICATA CA-HU14-01</b>		
		Fecha de inicio : 11/12/2014				Página 1 de 1
		Fecha de término : 11/12/2014		Sistema de coordenadas :		
		Tipo de excavación : Mecánica		Norte :		
		Tipo de equipo : CAT-336D		Este :		
		Dimensión de excava: 2,0 x 3,5m		Elevación (m.s.n.m.) :		
		Registrado por : I.A.C.		Nivel freático (m) : No encontrado		
		Condición superficial : Ladera de pendiente baja		Prof. calicata (m) : 4.0		
Profundidad (m)	SUCS	Gráfico	Condición de la muestra	Muestra	Código muestra	Comentarios
			 Disturbada  En bloque			
			Descripción			
0			Arena limosa, plasticidad alta, suelta, saturada, color gris, estructura homogénea, arena de grano fino. Arena = 85,0 %. Finos = 15,0 %.			Relave.
1						
2	SM				S/M	
3						
			Arcilla con arena, plasticidad media, firme a rígida, saturada, color pardo rojizo, estructura homogénea, arena de grano fino. Arena = 21,8 %. Finos = 78,2 %.		M-1	Suelo residual.
4			Límite de excavación (alcance de máquina).			

		Ubicación :		<b>CALICATA CA-HU14-03</b>				
		Fecha de inicio : 11/12/2014				Página 1 de 1		
		Fecha de término : 11/12/2014		Sistema de coordenadas :				
		Tipo de excavación : Mecánica		Norte :				
		Tipo de equipo : CAT-336D		Este :				
		Dimensión de excava: 2,0 x 3,5m		Elevación (m.s.n.m.) :				
		Registrado por : I.A.C.		Nivel freático (m) : No encontrado				
		Condición superficial : Ladera de pendiente baja		Prof. calicata (m) : 5.0				
Profundidad (m)	SUCS	Gráfico	Condición de la muestra		Muestra	Código muestra	Comentarios	
			 Disturbada	 En bloque				Descripción
0			Arena limosa, plasticidad nula, suelta, muy húmeda, color gris, estructura homogénea, arena de grano fino. Arena = 85,0 %. Finos = 15,0 %.				Relave.	
1								
2								
3	SM					S/M		
4								
5								
			Límite de excavación (alcance de máquina).					

Profundidad (m)		SUCS	Gráfico	Condición de la muestra	Muestra	Código muestra	Comentarios	
				 Disturbada  En bloque				
				Descripción				
0		OL		Limo orgánico con arena, plasticidad nula a baja, blando, color pardo, estructura homogénea, arena de grano fino. Arena = 15,0 %. Finos = 85,0 %.		S/M	Suelo orgánico. Presencia de raíces y vegetación superficial.	
				Arcilla, plasticidad alta, firme a rígida, saturada, color marrón, estructura homogénea, arena de grano fino. Arena = 0,3 %. Finos = 99,7 %.		M-1	Suelo residual.	
3	Límite de excavación (alcance de máquina).							

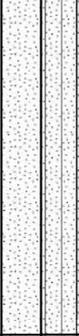
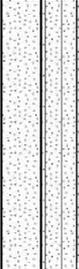
Ubicación :  
 Fecha de inicio : 11/12/2014  
 Fecha de término : 11/12/2014  
 Tipo de excavación : Mecánica  
 Tipo de equipo : CAT-336D  
 Dimensión de excava: 2,0 x 3,5m  
 Registrado por : I.A.C.  
 Condición superficial : Ladera de pendiente baja

**CALICATA CA-HU14-05**

Sistema de coordenadas :  
 Norte :  
 Este :  
 Elevación (m.s.n.m.) :  
 Nivel freático (m) : No encontrado  
 Prof. calicata (m) : 3.0

PROFUNDIDAD (m)		SUCS	GRÁFICO	CONDICIÓN DE MUESTRA		MUESTRA	CÓDIGO MUESTRA	COMENTARIOS
				 DISTURBADA  EN BLOQUE	DESCRIPCIÓN			
					Ubicación Fecha de excavación : 03/06/2009 Fecha de registro : 03/06/2009 Método de excavación : Mecánica Equipo de excavación : Komatsu PC 300 LC Dimensión calicata : 1.50 m. x 3.00 m. Registrado por : P.Ch.F. Condición superficial : Superficie plana		<b>CALICATA TP_H09 - 101</b> (Página 1 de 1) Sist. de coordenadas : Norte : Este : Elevación (msnm) : Nivel freático (m) : No encontrado Prof. calicata (m) : 0.50	
0	GM		Grava limosa con arena y bolonería, plasticidad nula, densa, ligeramente húmeda, marrón, estructura homogénea, grava angulosa de tamaño variado, con bolonería de tamaño máximo = 6".			M - 1	Material de relleno.	
	Roca		Bolonería: 20.0% Grava: 40.0% Arena: 20.0% Finos: 20.0% Roca, resistencia medianamente dura (R3.0), fracturada, gris.				Df = 0.50 m. Rechazo a la excavación (basamento rocoso).	
1								
2								
3								
4								
5								

Notas:  
Df = Profundidad de fundación propuesta.

PROFUNDIDAD (m)		SUCS	GRÁFICO	CONDICIÓN DE MUESTRA	MUESTRA	CÓDIGO MUESTRA	COMENTARIOS
				 DISTURBADA  EN BLOQUE			
				DESCRIPCIÓN			
0	OL			Limo orgánico, plasticidad media, firme, húmedo, marrón, estructura homogénea.			Presencia de raíces y vegetación superficial.
	GC - GM			Grava arcillo limosa con arena, plasticidad media, medianamente densa, húmeda, marrón, estructura homogénea, grava subangulosa de tamaño variado.			Material de relleno. Presencia de raíces.
1	SP - SM			Arena pobremente gradada con limo, plasticidad nula, medianamente densa, húmeda, gris azulado con tonalidades verduzcas, estructura homogénea.			Relave. Paredes inestables.
2							
3	SP - SM			Arena pobremente gradada con limo, plasticidad nula, suelta, saturada, gris verduzco, estructura homogénea.		M - 1	Relave. Paredes inestables. Nivel freático a 2.80 m.
4							Df = No determinado. Límite de excavación.
5							
6							
7							

Ubicación

Fecha de excavación : 04/06/2009  
 Fecha de registro : 04/06/2009  
 Método de excavación : Mecánica  
 Equipo de excavación : Komatsu PC 300 LC  
 Dimensión calicata : 4.00 m. x 5.60 m.  
 Registrado por : P.Ch.F.  
 Condición superficial : Superficie plana

**CALICATA TP\_H09 - 116**  
 (Página 1 de 1)

Sist. de coordenadas :  
 Norte :  
 Este :  
 Elevación (msnm) :  
 Nivel freático (m) : 2.80  
 Prof. calicata (m) : 4.00

Notas:  
 Df = Profundidad de fundación propuesta.

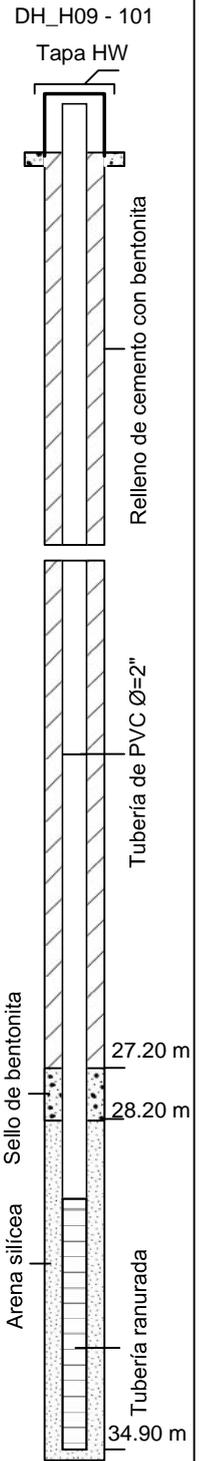
PROFUNDIDAD (m)		SUCS	GRÁFICO	CONDICIÓN DE MUESTRA		MUESTRA	CÓDIGO MUESTRA	COMENTARIOS
				 DISTURBADA	 EN BLOQUE			
		Ubicación			CALICATA TP_H09 - 125 (Página 1 de 1)			
		Fecha de excavación : 05/06/2009			Sist. de coordenadas :			
		Fecha de registro : 05/06/2009			Norte :			
		Método de excavación : Manual			Este :			
		Equipo de excavación : ---			Elevación (msnm) :			
		Dimensión calicata : Corte existente			Nivel freático (m) : No encontrado			
		Registrado por : P.Ch.F.			Prof. calicata (m) : 0.20			
		Condición superficial : Ladera de pendiente baja						
0	OL		Limo orgánico con arena, plasticidad nula, firme, húmedo, marrón, estructura homogénea.				Presencia de raíces y vegetación superficial. Df = 0.20 m.	
			Roca, resistencia medianamente dura (R3.0), poco fracturada, rojiza.		M - 1		Rechazo a la excavación (basamento rocoso).	
1								
2								
3								

Notas:  
Df = Profundidad de fundación propuesta.

## **ANEXO A.2: REGISTRO DE PERFORACIONES**

		Ubicación		<b>SONDAJE DH_H09 - 101</b> (Página 1 de 1)	
		Fecha de inicio : 20/07/2009 Fecha de término : 22/07/2009			
		Cía. de perforación : GEMCO		Sist. de coordenadas : Norte	
		Tipo de equipo : LY -38		Este	
		Martillo : 140 lbs		Elevación (msnm)	
		Registrado por : F.C.R.		Nivel freático (m) : 7.21	
		Condición superficial : Superficie plana		Prof. perforación (m) : 35.20	

PROFUNDIDAD (m)	SUCS	GRÁFICO	DESCRIPCIÓN DE CAMPO	Nº de Muestra	Muestra Rec. (frac.)	Nº de Golpes (en 6")	N (Valor de SPT)	Nº Golpes Gráfico		OBSERV.		
								10	50			
0	OL		Limo orgánico, plasticidad baja a nula, blando, húmedo, marrón oscuro, con presencia aislada de grava.	SPT-1 h=1.50 m	45/45	4/7/11	18			Relleno de vegetación.		
1	SM		Arena limosa, plasticidad nula, medianamente densa a muy suelta, húmeda, gris verduzco.	SPT-2 h=3.45 m	45/45	3/0/1	1			Depósito de relave antiguo.		
2												
3	OH		Arcilla orgánica, plasticidad media a alta, muy blanda, muy húmeda, verde oscuro a verde con tonalidades naranjas.	SPT-3 h=6.90 m	45/45	1/0/0	0			Presencia de raíces.		
4												
5												De 6.9 a 7.35 m. se encontró una arena limosa (SM)
6												
7	CH		Arcilla, plasticidad alta, muy blanda a rígida, húmeda, rojizo oscuro a gris verduzco.	SPT-4 h=8.85 m	45/45	1/0/0	0					
8												
9	CL		Arcilla, plasticidad media, rígida a dura, húmeda, pardo.	SPT-5 h=10.80 m	45/45	1/0/0	0					
10												
11	SC		Arena arcillosa, plasticidad media, medianamente densa a densa, gris verduzco.	SPT-6 h=12.75 m	45/45	1/0/0	0					
12												
13				SPT-7 h=14.70 m	45/45	2/5/8	13			Muestra shelby - 1 (h = 15.65 m.)		
14				SPT-8 h=20.75 m	45/45	20/31/23	50					
15	De 21.20 a 35.20, toba lítica y toba ceniza.									Fin de perforación a los 35.20 m.		
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												



## REGISTRO GEOMECÁNICO DE PERFORACIONES

**PROYECTO :** SISTEMA DE COORDENADAS (UTM) **ORIENTACIÓN DEL COLLAR** **SONDAJE** : DH\_H09 - 101  
**SIST. DE COORDENADAS :** AZIMUT : - **CÍA. DE PERFORACIÓN** : GEMCO S.A.  
**PROYECTO N° :** NORTE : -90° **BUZAMIENTO** : HQ3 **TIPO DE PERFORACIÓN / BROCA :** Diamantina  
**UBICACIÓN :** ESTE : **DIÁMETRO** : HQ3 **NIVEL FREÁTICO (m)** : 7.21  
**FECHA :** 20/07/2009 - 22/07/2009 **ELEVACIÓN (msnm)** : **REGISTRADO POR :** F.C.R. **PROF. PERFORACIÓN (m)** : 35.20

N°	PROFUNDIDAD (m)	LONGITUD DE AVANCE (m)	LITOLOGÍA	RECUPERACIÓN		RQD		N° DE FRACTURAS		COND. DISCONT.	GRADO DE FRACT.	ALTER/ METEOR.	DUREZA	COMENTARIOS
				LONG. (m)	(%)	LONG. (m)	(%)	JN	FREQ.					
	0.00													
1-15	21.20	21.20	Suelo											
16-17	22.00	0.80	Toba Areniscosa	0.80	100	0.00	-	-	30	0	B+	A+	R0.0	
18	22.90	0.90	Toba Areniscosa	0.90	100	0.45	50	8	9	15	D-	C+	R2.0	Gris verduzca.
19	24.40	1.50	Toba Areniscosa	1.50	100	0.50	33	12	8	15	D	C+	R2.0	Gris verduzca.
20	26.00	1.60	Toba Areniscosa	1.60	100	0.80	50	12	8	18	D+	E-	R4.5	Gris verduzca.
21	27.50	1.50	Toba ceniza	1.50	100	0.00	-	-	30	0	D-	C-	R1.5	Gris verduzca.
22	29.00	1.50	Toba ceniza	1.40	93	0.00	-	-	30	0	D-	C-	R1.5	Gris verduzca.
23	29.90	0.90	Toba ceniza	0.90	100	0.00	-	-	30	0	C+	C+	R1.5	Gris verduzca.
24	30.50	0.60	Toba ceniza	0.60	100	0.00	-	-	30	0	B+	A+	R0.5	Gris verduzca.
25	31.10	0.60	Toba ceniza	0.60	100	0.00	-	-	30	0	B-	A+	R0.5	Zona de falla
25-A	32.10	1.00	Toba ceniza	1.00	100	0.80	80	3	3	17	C+	C+	R2.0	De 30.50 a 31.20 m R1.0. De 31.20 a 32.10 m R2.5.
26	33.60	1.50	Toba ceniza	1.50	100	1.50	100	9	6	17	C+	D-	R2.5	Gris verduzca a rojizo.
27	35.20	1.60	Toba litica	1.55	97	1.55	97	6	4	17	C+	E-	R3.5	Gris verduzca a rojizo.

## CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO (BIENIAWSKI, 89)

PROYECTO :  
 PROYECTO N° :  
 UBICACIÓN :  
 FECHA : 20/07/2009 - 22/07/2009

SISTEMA DE COORDENADAS (UTM)  
 SIST. DE COORDENADAS :  
 NORTE :  
 ESTE :  
 ELEVACIÓN (msnm) :

ORIENTACIÓN DEL COLLAR  
 AZIMUT : -  
 BUZAMIENTO : -90°  
 DIÁMETRO : HQ3  
 REGISTRADO POR : F.C.R.

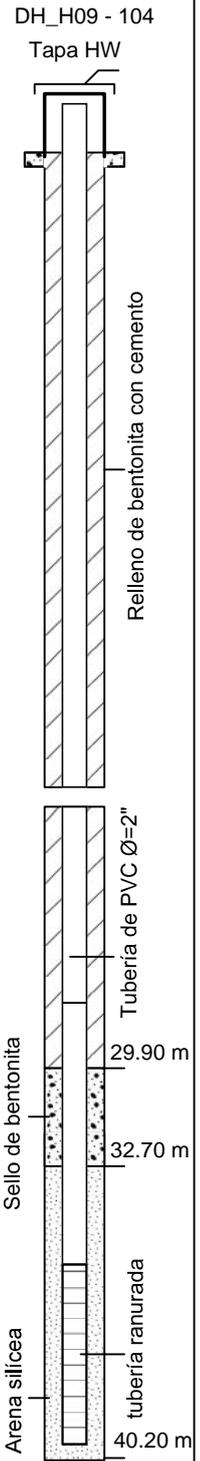
SONDAJE : DH\_H09 - 101  
 CIA. DE PERFORACIÓN : GEMCO S.A.  
 TIPO DE PERFORACIÓN / BROCA : Diamantina  
 NIVEL FREÁTICO (m) : 7.21  
 PROF. PERFORACIÓN (m) : 35.20

N°	DE (m)	A (m)	LONGITUD DE AVANCE (m)	LITOLOGÍA	RECUPERACIÓN	
					LONG. (m)	(%)
1-15	0.00	21.20	21.20	Suelo		
16-17	21.20	22.00	0.80	Toba Areniscosa	0.80	100
18	21.70	22.90	1.20	Toba Areniscosa	0.90	75
18	22.00	22.90	0.90	Toba Areniscosa	0.90	100
19	22.90	24.40	1.50	Toba Areniscosa	1.50	100
20	24.40	26.00	1.60	Toba ceniza	1.60	100
21	26.00	27.50	1.50	Toba ceniza	1.50	100
22	27.50	29.00	1.50	Toba ceniza	1.40	93
23	29.00	29.90	0.90	Toba ceniza	0.90	100
24	29.90	30.50	0.60	Toba ceniza	0.60	100
25-A	30.50	32.10	1.60	Toba ceniza	1.00	62
26	32.10	33.60	1.50	Toba ceniza	1.50	100
27	33.60	35.20	1.60	Toba litica	1.55	97

LONG. (m)	RQD (%)	R	N° FRAC.	FRACTURAS		COND. DISCONTINUIDAD		DUREZA		COND. DE AGUA SUBTERRÁNEA		RMR BÁSICO	TIPO DE ROCA*
				LONG. (cm)	R	GRADO	R	GRADO	R	GRADO	R		
0.00	-	3	-	-	5	0	0	R0.0	0	B	4	12	Muy Mala
0.45	38	8	8	10.0	7	15	15	R0.5	0	B	4	34	Mala
0.45	50	10	8	10.0	7	15	15	R0.0	0	B	4	36	Mala
0.50	33	7	12	11.5	7	15	15	R1.5	1	B	4	34	Mala
0.80	50	9	12	12.3	7	18	18	R4.5	7	B	4	45	Regular
0.00	-	3	-	-	5	0	0	R1.5	1	B	4	13	Muy Mala
0.00	-	3	-	-	5	0	0	R1.5	1	B	4	13	Muy Mala
0.00	-	3	-	-	5	0	0	R1.0	1	B	4	13	Muy Mala
0.00	-	3	-	-	5	0	0	R1.0	1	B	4	13	Muy Mala
0.80	50	9	3	25.0	8	17	17	R0.5	0	B	4	38	Mala
1.50	100	20	9	15.0	7	17	17	R2.0	2	B	4	50	Regular
1.55	97	19	6	22.1	8	17	17	R2.5	2	B	4	50	Regular

		Ubicación		<b>SONDAJE DH_H09 - 104</b> (Página 1 de 1)	
		Fecha de inicio : 20/07/2009 Fecha de término : 22/07/2009			
		Cía. de perforación : GEMCO		Sist. de coordenadas : Norte	
		Tipo de equipo : LY -83		Este	
		Martillo : 140 lbs		Elevación (msnm)	
		Registrado por : F.C.R.		Nivel freático (m) : Superficial	
		Condición superficial : Superficie plana		Prof. perforación (m) : 40.20	

PROFUNDIDAD (m)	SUCS	GRÁFICO	DESCRIPCIÓN DE CAMPO	N° de Muestra	Muestra Rec. (frac.)	N° de Golpes (en 6")	N (Valor de LPT)	N° Golpes Gráfico		OBSERV.
								10	50	
0	OL		Limo orgánico, plasticidad baja a nula, blando, húmedo, marrón oscuro.							Relleno de suelo organico
1			Arena limosa, plasticidad nula, suelta, húmeda, gris verduzco a pardo amarillento.	SPT-1 h=1.90 m	45/45	2/3/2	5			Depósito de relave antiguo.
2										
3	SM			SPT-2 h=3.85 m	45/45	4/4/2	6			
4										
5			Limo elástico, plasticidad alta, muy blanda a blanda, saturada, verde oscuro a verde con tonalidades naranja.	SPT-3 h=6.25 m	45/45	1/1/0	1			Presencia de raíces. Muestra shelby - 1 (5.80 m.)
6										
7										
8	MH			SPT-4 h=8.65 m	45/45	2/2/2	4			Muestra shelby - 2 (8.20 m.)
9										
10										
11				SPT-5 h=11.05	45/45	1/2/2	4			Muestra shelby - 3 (10.60 m.)
12			Arcilla, plasticidad alta, blanda a firme, húmeda, rojizo oscuro a verde claro.	SPT-6 h=13.45 m	45/45	2/1/2	3			Muestra shelby - 4 (13.00 m.)
13										
14	CH			SPT-7 h=15.85 m	45/45	2/3/4	7			Muestra shelby - 5 (16.40 m.) Contacto a 16.65 m de arcilla roja y toba gris verduzca.
15										
16										
17	CH		Arcilla con grava, plasticidad media, firme, húmeda, marrón claro.							Fin de perforación a 40.20 m.
18			De 17.40 a 40.20, toba lítica.							
19										
20										



## REGISTRO GEOMECÁNICO DE PERFORACIONES

**PROYECTO :** SISTEMA DE COORDENADAS (UTM) **SONDAJE :** DH\_H09 - 104  
**PROYECTO N° :** SIST. DE COORDENADAS : **ORIENTACIÓN DEL COLLAR :** -  
**UBICACIÓN :** NORTE : **BUZAMIENTO :** -90°  
**FECHA :** 20/07/2009 - 22/07/2009 **ELEVACIÓN (msnm) :** **DIÁMETRO :** HQ3  
**PROF. PERFORACIÓN (m) :** 40.20

N°	PROFUNDIDAD (m)	LONGITUD DE AVANCE (m)	LITOLOGÍA	RECUPERACIÓN		RQD		N° DE FRACTURAS		COND. DISCONT.	GRADO DE FRACT.	ALTER/ METEOR.	DUREZA	COMENTARIOS
				LONG. (m)	(%)	LONG. (m)	(%)	JN	FREQ.					
	0.00													
1-11	17.40	17.40	Suelo											
12-13	18.45	1.05	Toba areniscosa	0.95	90	0.85	81	3	3	18	D-	E+	R4.0	Gris verduzca afanítica con precencia de carbonato.
14-15	19.45	1.00	Toba areniscosa	1.00	100	0.50	50	4	4	14	C+	E+	R4.0	Gris verduzca afanítica con precencia de carbonato.
16	20.65	1.20	Toba areniscosa	1.15	96	0.15	13	20	17	14	B+	E+	R4.0	Gris verduzca afanítica con precencia de carbonato.
17	21.45	0.80	Toba areniscosa	0.75	94	0.00	-	20	27	14	B+	E+	R4.0	Gris verduzca afanítica con precencia de carbonato.
18	22.85	1.40	Toba areniscosa	1.40	100	0.80	57	7	5	17	C+	E+	R4.0	Gris verduzca afanítica con precencia de carbonato.
19	24.45	1.60	Toba ceniza	1.60	100	1.10	69	14	9	16	C+	E+	R3.5	Gris rojiza porfirítica.
20	25.85	1.40	Toba ceniza	1.40	100	1.40	100	2	1	18	D+	E-	R2.5	Gris rojiza porfirítica.
21	27.45	1.60	Toba ceniza	1.60	100	1.60	100	2	1	18	E+	E-	R2.0	Gris rojiza porfirítica.
22	29.05	1.60	Toba ceniza	1.55	97	1.50	94	3	2	16	E+	E-	R2.5	Gris rojiza porfirítica. Presencia foliación.
23	30.65	1.60	Toba areniscosa	1.60	100	1.60	100	6	4	18	E+	E-	R2.5	Gris verduzca con clastos verduzcos.
24	32.25	1.60	Toba areniscosa	1.55	97	1.45	91	3	2	17	E+	E+	R4.0	Gris verduzca.
25	33.45	1.20	Toba areniscosa	1.20	100	0.60	50	8	7	16	C+	E+	R4.0	Gris verduzca porfirítica.
26	35.05	1.60	Toba areniscosa	1.60	100	1.55	97	3	2	18	E-	E+	R4.0	Gris verduzca porfirítica.
27	36.60	1.55	Toba areniscosa	1.55	100	1.50	97	2	1	18	E-	E+	R4.0	Gris verduzca porfirítica.
28	38.20	1.60	Toba areniscosa	1.60	100	1.55	97	2	1	18	E-	E+	R4.0	Gris verduzca porfirítica.
29	39.30	1.10	Toba areniscosa	1.10	100	1.05	95	2	2	18	D+	E+	R4.0	Gris verduzca porfirítica.
30	40.20	0.90	Toba areniscosa	0.90	100	0.90	100	2	2	18	E+	E-	R3.5	Gris verduzca porfirítica.

Nota: Durante el logueo geotécnico, en roca de dureza < 2.0, se ha considerado: RQD = 0, frecuencia de fracturas = 30 y condición de discontinuidad = 0.

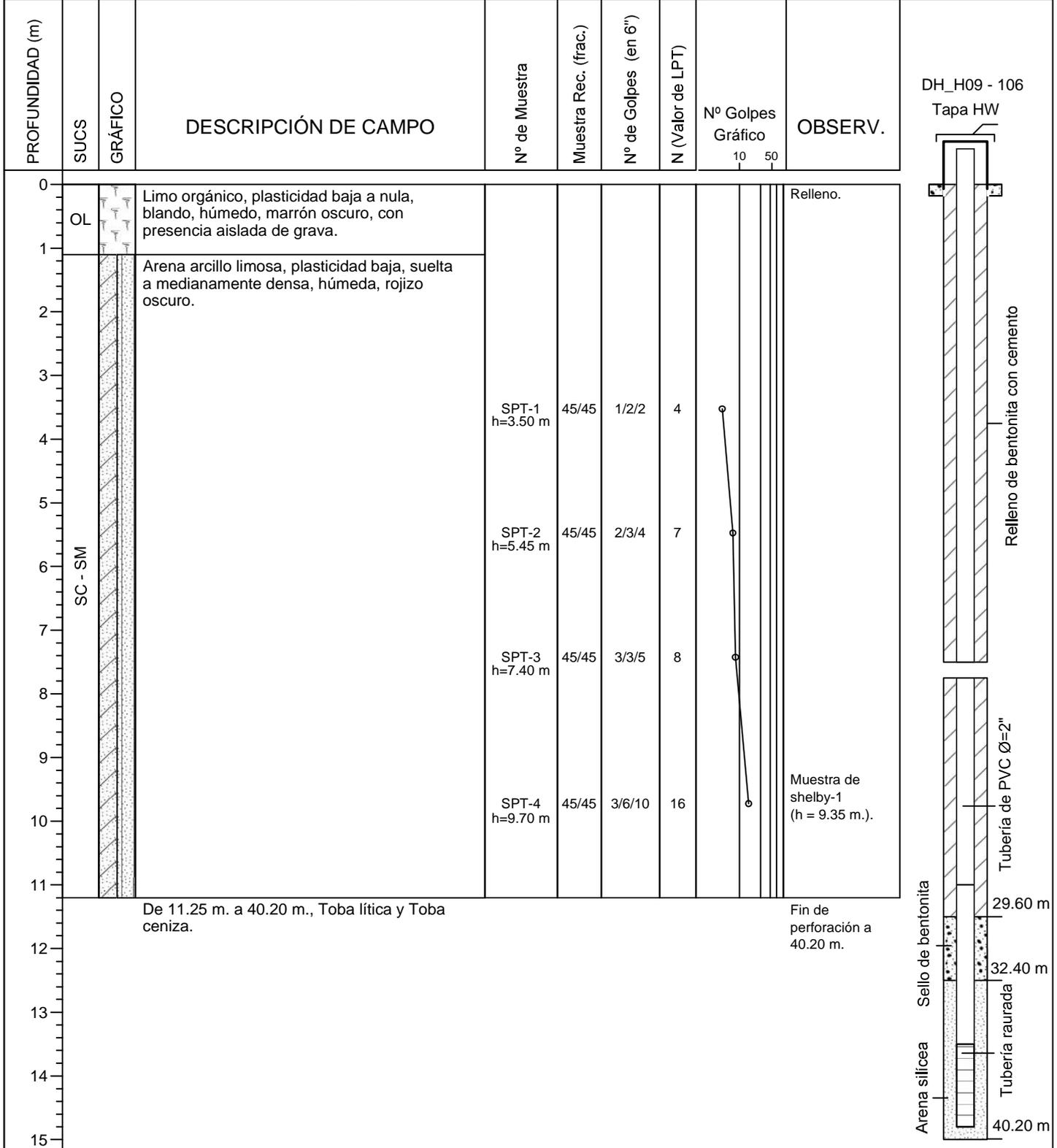
## CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO (BIENIAWSKI, 89)

**PROYECTO :** : DH\_H09 - 104  
**PROYECTO N° :** : GEMCO S.A.  
**UBICACIÓN :** : Diamantina  
**FECHA :** : 20/07/2009 - 22/07/2009  
**SISTEMA DE COORDENADAS (UTM)**  
**SIST. DE COORDENADAS :** : -  
**NORTE :** : -90°  
**ESTE :** : HQ3  
**ELEVACIÓN (msnm) :** : F.C.R.  
**SONDAJE :** : 40.20  
**ORIENTACIÓN DEL COLLAR**  
**AZIMUT :** : -  
**BUZAMIENTO :** : -90°  
**DIÁMETRO :** : HQ3  
**REGISTRADO POR :** : F.C.R.  
**CIA. DE PERFORACIÓN :** : GEMCO S.A.  
**TIPO DE PERFORACIÓN / BROCA :** : Diamantina  
**NIVEL FREÁTICO (m) :** : Superficial  
**COND. DE AGUA SUBTERRÁNEA :** : 40.20

N°	DE (m)	A (m)	LONGITUD DE AVANCE (m)	LITOLOGÍA	RECUPERACIÓN		RQD (%)	FRACTURAS			COND. DISCONTINUIDAD		DUREZA		COND. DE AGUA SUBTERRÁNEA		RMR BÁSICO	TIPO DE ROCA*	
					LONG. (m)	(%)		N° FRAC.	LONG. (cm)	R	GRADO	R	GRADO	R	GRADO	R			GRADO
1-11	0.00	17.40	17.40	Suelo															
12-13	17.40	18.45	1.05	Toba areniscosa	0.95	90	81	3	23.8	8	18	18	R4.0	7	B	4	53	Regular	
14-15	18.45	19.45	1.00	Toba	1.00	100	50	4	20.0	8	14	14	R4.0	7	B	4	43	Regular	
16	19.45	20.65	1.20	Toba	1.15	96	13	4	5.5	5	14	14	R4.0	7	B	4	34	Malta	
17	20.65	21.45	0.80	Toba	0.75	94	-	3	20	5	14	14	R4.0	7	B	4	33	Malta	
18	21.45	22.85	1.40	Toba	1.40	100	57	11	17.5	7	17	17	R4.0	7	B	4	46	Regular	
19	22.85	24.45	1.60	Toba	1.60	100	69	13	10.7	7	16	16	R3.5	4	B	4	44	Regular	
20	24.45	25.85	1.40	Toba	1.40	100	100	19	46.7	10	18	18	R2.5	2	B	4	53	Regular	
21	25.85	27.45	1.60	Toba	1.60	100	100	20	53.3	11	18	18	R2.0	2	B	4	55	Regular	
22	27.45	29.05	1.60	Toba	1.55	97	94	18	38.8	9	16	16	R2.0	2	B	4	49	Regular	
23	29.05	30.65	1.60	Toba	1.60	100	100	20	22.9	8	18	18	R2.5	2	B	4	52	Regular	
24	30.65	32.25	1.60	Toba	1.55	97	91	18	38.8	9	17	17	R4.0	7	B	4	55	Regular	
25	32.25	33.45	1.20	Toba	1.20	100	50	9	13.3	7	16	16	R4.0	7	B	4	43	Regular	
26	33.45	35.05	1.60	Toba	1.60	100	97	19	40.0	10	18	18	R4.0	7	B	4	58	Regular	
27	35.05	36.60	1.55	Toba	1.55	100	97	19	51.7	11	18	18	R4.0	7	B	4	59	Regular	
28	36.60	38.20	1.60	Toba	1.60	100	97	19	53.3	11	18	18	R4.0	7	B	4	59	Regular	
29	38.20	39.30	1.10	Toba	1.10	100	95	19	36.7	9	18	18	R4.0	7	B	4	57	Regular	
30	39.30	40.20	0.90	Toba	0.90	100	100	19	30.0	9	18	18	R3.5	4	B	4	54	Regular	



		Ubicación	<b>SONDAJE DH_H09 - 106</b>	
		Fecha de inicio : 15/07/2009	(Página 1 de 1)	
		Fecha de término : 18/07/2009		
		Cía. de perforación : GEMCO S.A.		
		Tipo de equipo : LY -38		
		Martillo : 140 lbs.		
		Registrado por : F.C.R.		
		Condición superficial : Superficie plana		
		Sist. de coordenadas : Norte		
		Elevación (msnm) : 30.66		
		Nivel freático (m) : 30.66		
		Prof. perforación (m) : 40.00		



## REGISTRO GEOMECÁNICO DE PERFORACIONES

**PROYECTO :** SISTEMA DE COORDENADAS (UTM) **SONDAJE :** DH\_H09 - 106  
**SIST. DE COORDENADAS :** NORTE **ORIENTACIÓN DEL COLLAR :** AZIMUT : -  
**PROYECTO N° :** BUZAMIENTO : -90° **CIA. DE PERFORACIÓN :** GEMCO S.A.  
**UBICACIÓN :** ESTE **DIÁMETRO :** H03 **TIPO DE PERFORACIÓN / BROCA :** Diamantina  
**FECHA :** 15/07/2009 - 18/07/2009 **ELEVACIÓN (msnm) :** **REGISTRADO POR :** F.C.R. **NIVEL FREÁTICO (m) :** 30.66  
**PROF. PERFORACIÓN (m) :** 40.20

N°	PROFUNDIDAD (m)	LONGITUD DE AVANCE (m)	LITOLOGÍA	RECUPERACIÓN		RQD		N° DE FRACTURAS		COND. DISCONT.	GRADO DE FRACT.	ALTER./METEOR.	DUREZA	COMENTARIOS
				LONG. (m)	(%)	LONG. (m)	(%)	JN	FREQ.					
	0.00													
1-8	11.25	11.25	Suelo											
9	11.65	0.40	Toba lítica	0.40	100	0.00	-	-	30	0	A+	B+	R0.5	Zona de falla, SPT-5 Nspt = 48.
10	13.60	1.95	Toba lítica	1.95	100	0.00	-	-	30	0	A+	B+	R0.5	Zona de falla, SPT-6 Nspt > 50.
11	14.20	0.60	Toba lítica	0.60	100	0.00	-	-	30	0	A+	B+	R0.5	Zona de falla.
12	14.70	0.50	Toba lítica	0.50	100	0.00	-	-	30	0	A+	B+	R0.5	Zona de falla.
13	15.40	0.70	Toba lítica	0.70	100	0.00	-	-	30	0	A+	B+	R0.5	Zona de falla.
14	16.90	1.50	Toba lítica	1.20	80	0.00	-	-	30	0	A+	B+	R0.5	Zona de falla.
15	18.40	1.50	Toba lítica	1.10	73	0.00	-	-	30	0	A+	B+	R0.5	Zona de falla, SPT-7 Nspt = 9.
16	19.55	1.15	Toba lítica	1.05	91	0.00	-	-	30	0	A+	B+	R0.5	Zona de falla.
17	20.30	0.75	Toba lítica	0.75	100	0.00	-	-	30	0	D	B+	R0.5	Zona de falla.
18	21.50	1.20	Toba lítica	1.20	100	0.00	-	-	30	0	A-	A+	R0	Zona de falla, SPT-8 Nspt > 50.
19	23.30	1.80	Toba lítica	1.80	100	0.00	-	-	30	0	A-	A+	R0	Zona de falla.
20	23.85	0.55	Toba lítica	0.55	100	0.00	-	-	30	0	A-	A+	R0	Zona de falla.
21	24.60	0.75	Toba lítica	0.75	100	0.00	-	-	30	0	A-	A+	R0	Zona de falla, SPT-9 Nspt = 28.
22	26.05	1.45	Toba lítica	1.40	97	0.00	-	-	30	0	A-	A+	R0	Zona de falla.
23	26.65	0.60	Toba ceniza	0.60	100	0.00	-	-	30	0	C-	B+	R1.5	Zona de falla.
24	27.35	0.70	Toba lítica	0.70	100	0.00	-	-	15	21	B+	D-	R2.5	Zona de falla.
25	27.95	0.60	Toba lítica	0.60	100	0.00	-	-	15	25	B+	D-	R2.5	Zona de falla.
26	28.25	0.30	Toba lítica	0.25	83	0.00	-	-	8	32	B	D-	R2.0	Zona de falla.
27	29.15	0.90	Toba lítica	0.80	89	0.00	-	-	19	24	B+	D-	R2.0	Zona de falla.
28	30.20	1.05	Toba ceniza	1.00	95	0.00	-	-	19	19	B+	D-	R2.0	Zona de falla.
29	31.00	0.80	Toba ceniza	0.80	100	0.00	-	-	22	28	B+	D-	R2.0	Zona de falla.
30	31.80	0.80	Toba ceniza	0.80	100	0.00	-	-	25	31	B+	D-	R2.0	Zona de falla.
31	32.60	0.80	Toba ceniza	0.80	100	0.00	-	-	25	31	B+	D-	R2.0	Zona de falla.
32	33.40	0.80	Toba ceniza	0.70	88	0.00	-	-	21	30	B+	D-	R2.0	Zona de falla.
33	33.90	0.50	Toba lítica	0.50	100	0.00	-	-	12	24	B+	D-	R2.0	Zona de falla.
34	34.40	0.50	Toba lítica	0.40	80	0.00	-	-	12	30	B+	D-	R2.0	Zona de falla.
35	34.90	0.50	Toba lítica	0.45	90	0.00	-	-	16	36	B+	D-	R2.0	Zona de falla.
36	35.50	0.60	Toba lítica	0.45	75	0.00	-	-	18	40	B+	D-	R2.0	Zona de falla.
37	36.40	0.90	Toba lítica	0.90	100	0.00	-	-	30	0	B+	C+	R2.0	Zona de falla.
38	37.90	1.50	Toba lítica	1.50	100	0.30	20	25	17	16	B+	D	R2.0	Zona de falla.

Nota: Durante el logueo geotécnico, en roca de dureza < 2.0, se ha considerado: RQD = 0, frecuencia de fracturas = 30 y condición de discontinuidad = 0.

## REGISTRO GEOMECÁNICO DE PERFORACIONES

**PROYECTO :** SISTEMA DE COORDENADAS (UTM) SONDAJE : DH\_H09 - 106  
**PROYECTO N° :** SIST. DE COORDENADAS : CÍA. DE PERFORACIÓN : GEMCO S.A.  
**UBICACIÓN :** NORTE : AZIMUT : -  
BUZAMIENTO : -90°  
TIPO DE PERFORACIÓN / BROCA : Diamantina  
DIÁMETRO : H03  
NIVEL FREÁTICO (m) : 30.66  
**FECHA :** 15/07/2009 - 18/07/2009 REGISTRADO POR : F.C.R.  
PROF. PERFORACIÓN (m) : 40.20

N°	PROFUNDIDAD (m)	LONGITUD DE AVANCE (m)	LITOLOGÍA	RECUPERACIÓN		RQD		N° DE FRACTURAS		COND. DISCONT.	GRADO DE FRACT.	ALTER./METEOR.	DUREZA	COMENTARIOS
				LONG. (m)	(%)	LONG. (m)	(%)	JN	FREQ.					
39	39.40	1.50	Toba lítica	1.50	100	0.15	10	30	20	6	C-	E-	R2.0	Toba gris verduzca residual.
40	40.20	0.80	Toba lítica	0.80	100	0.20	25	16	20	6	C-	E-	R2.0	Toba rojiza.

## CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO (BIENIAWSKI, 89)

PROYECTO : UBICACIÓN : FECHA :	SISTEMA DE COORDENADAS (UTM) SIST. DE COORDENADAS : NORTE : ESTE : ELEVACIÓN (msnm) :	ORIENTACIÓN DEL COLLAR AZIMUT : BUZAMIENTO : DIÁMETRO : REGISTRADO POR :	SONDADJE : CIA. DE PERFORACIÓN : TIPO DE PERFORACIÓN / BROCA : NIVEL FREÁTICO (m) PROF. PERFORACIÓN (m)
: 15/07/2009 - 18/07/2009	: DH_H09 - 106 : GEMCO S.A. : Diamantina : 30.66 : 40.20	: - : -90° : HQ3 : F.C.R.	: DH_H09 - 106 : GEMCO S.A. : Diamantina : 30.66 : 40.20

N°	DE (m)	A (m)	LONGITUD DE AVANCE (m)	LITOLOGÍA	RECUPERACIÓN		RQD		FRACTURAS		COND. DISCONTINUIDAD		DUREZA		COND. DE AGUA SUBTERRÁNEA		RMR BÁSICO	TIPO DE ROCA*
					LONG. (m)	(%)	LONG. (m)	N° FRAC.	LONG. (cm)	R	GRADO	R	GRADO	R	GRADO	R		
1-8	0.00	11.25	11.25	Suelo														
9	11.25	11.65	0.40	Toba litica	0.40	100	3	-	5	0	0	0	R0.5	0	D	10	18	Muy Mala
10	11.65	13.60	1.95	Toba litica	1.95	100	3	-	5	0	0	0	R0.5	0	D	10	18	Muy Mala
11	13.60	14.20	0.60	Toba litica	0.60	100	3	-	5	0	0	0	R0.5	0	D	10	18	Muy Mala
12	14.20	14.70	0.50	Toba litica	0.50	100	3	-	5	0	0	0	R0.5	0	D	10	18	Muy Mala
13	14.70	15.40	0.70	Toba litica	0.70	100	3	-	5	0	0	0	R0.5	0	D	10	18	Muy Mala
14	15.40	16.90	1.50	Toba litica	1.20	80	3	-	5	0	0	0	R0.5	0	D	10	18	Muy Mala
15	16.90	18.40	1.50	Toba litica	1.10	73	3	-	5	0	0	0	R0.5	0	D	10	18	Muy Mala
16	18.40	19.55	1.15	Toba litica	1.05	91	3	-	5	0	0	0	R0.5	0	D	10	18	Muy Mala
17	19.55	20.30	0.75	Toba litica	0.75	100	3	-	5	0	0	0	R0.5	0	D	10	18	Muy Mala
18	20.30	21.50	1.20	Toba litica	0.75	63	3	-	5	0	0	0	R0	0	D	10	18	Muy Mala
19	21.50	23.30	1.80	Toba litica	1.80	100	3	-	5	0	0	0	R0	0	D	10	18	Muy Mala
20	23.30	23.85	0.55	Toba litica	0.55	100	3	-	5	0	0	0	R0	0	D	10	18	Muy Mala
21	23.85	24.60	0.75	Toba litica	0.75	100	3	-	5	0	0	0	R0	0	D	10	18	Muy Mala
22	24.60	26.05	1.45	Toba litica	1.40	97	3	-	5	0	0	0	R0	0	D	10	18	Muy Mala
23	26.05	26.65	0.60	Toba ceniza	0.60	100	3	-	5	0	0	0	R1.5	1	D	10	19	Muy Mala
24	26.65	27.35	0.70	Toba litica	0.70	100	3	15	4.4	5	15	15	R2.5	2	D	10	35	Mala
25	27.35	27.95	0.60	Toba litica	0.60	100	3	15	3.8	5	15	15	R2.5	2	D	10	35	Mala
26	27.95	28.25	0.30	Toba litica	0.25	83	3	8	2.8	5	15	15	R2.0	2	D	10	35	Mala
27	28.25	29.15	0.90	Toba litica	0.80	89	3	19	4.0	5	16	16	R2.0	2	D	10	36	Mala
28	29.15	30.20	1.05	Toba ceniza	1.00	95	3	19	5.0	5	15	15	R2.0	2	D	10	35	Mala
29	30.20	31.00	0.80	Toba ceniza	0.80	100	3	22	3.5	5	16	16	R2.0	2	D	10	36	Mala
30	31.00	31.80	0.80	Toba ceniza	0.80	100	3	25	3.1	5	16	16	R2.0	2	C	7	33	Mala
31	31.80	32.60	0.80	Toba ceniza	0.80	100	3	25	3.1	5	15	15	R2.0	2	C	7	32	Mala
32	32.60	33.40	0.80	Toba ceniza	0.70	88	3	21	3.2	5	16	16	R2.0	2	C	7	33	Mala
33	33.40	33.90	0.50	Toba litica	0.50	100	3	12	3.8	5	14	14	R2.0	2	C	7	31	Mala
34	33.90	34.40	0.50	Toba litica	0.40	80	3	12	3.1	5	16	16	R2.0	2	C	7	33	Mala
35	34.40	34.90	0.50	Toba litica	0.45	90	3	16	2.6	5	15	15	R2.0	2	C	7	32	Mala
36	34.90	35.50	0.60	Toba litica	0.45	75	3	18	2.4	5	16	16	R2.0	2	C	7	33	Mala
37	35.50	36.40	0.90	Toba litica	0.90	100	3	-	-	5	0	0	R2.0	2	C	7	17	Muy Mala
38	36.40	37.90	1.50	Toba litica	1.50	100	5	25	5.8	5	16	16	R2.0	2	C	7	35	Mala
39	37.90	39.40	1.50	Toba litica	1.50	100	4	30	4.8	5	6	6	R2.0	2	B	4	21	Mala

Nota: Durante el logueo geotécnico, en roca de dureza < 2.0, se ha considerado: RQD = 0, frecuencia de fracturas = 30 y condición de discontinuidad = 0.

## CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO (BIENIAWSKI, 89)

PROYECTO :  
 UBICACIÓN :  
 FECHA :

SISTEMA DE COORDENADAS (UTM)  
 SIST. DE COORDENADAS :  
 NORTE :  
 ESTE :  
 ELEVACIÓN (msnm) :

ORIENTACIÓN DEL COLLAR  
 AZIMUT :  
 BUZAMIENTO :  
 DIÁMETRO :  
 REGISTRADO POR :

SONDAJE :  
 CÍA. DE PERFORACIÓN :  
 TIPO DE PERFORACIÓN / BROCA :  
 NIVEL FREÁTICO (m) :  
 PROF. PERFORACIÓN (m) :

N°	DE (m)	A (m)	LONGITUD DE AVANCE (m)	LITOLOGÍA	RECUPERACIÓN	
	39.40	40.20	0.80	Toba lítica	LONG. (m)	(%)
					0.80	100

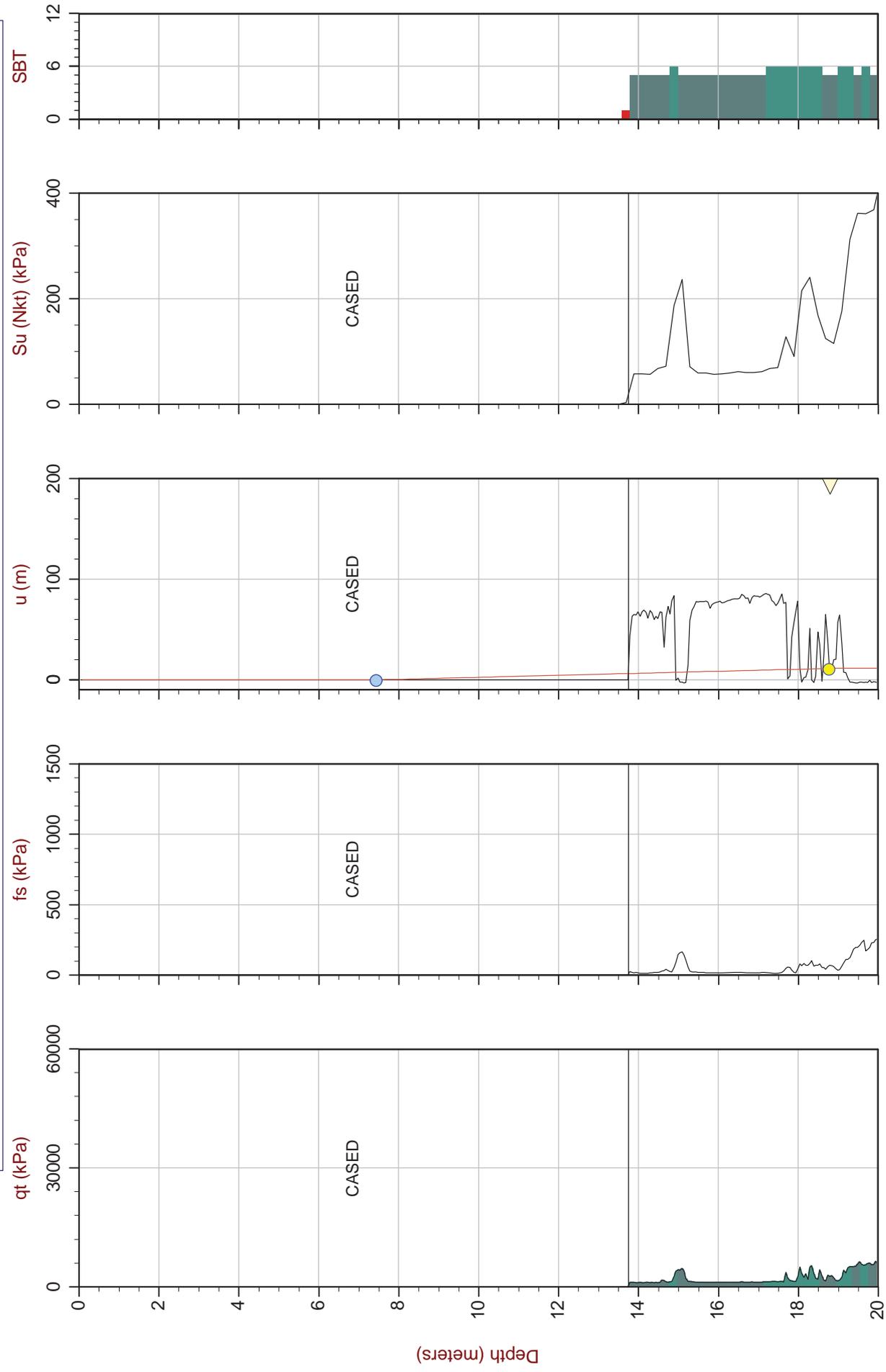
LONG. (m)	RQD		FRACTURAS	COND. DISCONTINUIDAD		DUREZA	COND. DE AGUA SUBTERRÁNEA	
	(%)			LONG. (cm)	GRADO		R	GRADO
0.20	25		N° FRAC.	GRADO	R	R2.0	B	B
			16	6	6	2		
			4.7	5	6			

RMR BÁSICO	TIPO DE ROCA*
22	Mala

## **ANEXO B: REGISTRO DE ENSAYOS SCPTU**

Job No: 15-72001  
 Date: 02:18:15 09:34  
 Site:

Sounding: SCPT15-02  
 Cone: 422:T1500F15U500



Max Depth: 27.900 m / 91.53 ft  
 Depth Inc: 0.050 m / 0.164 ft  
 Avg Int: 0.200 m  
 Overplot Item:

- Equilibrium Pore Pressure
- Assumed Equilibrium Pore Pressure
- Equilibrium Pore Pressure Line

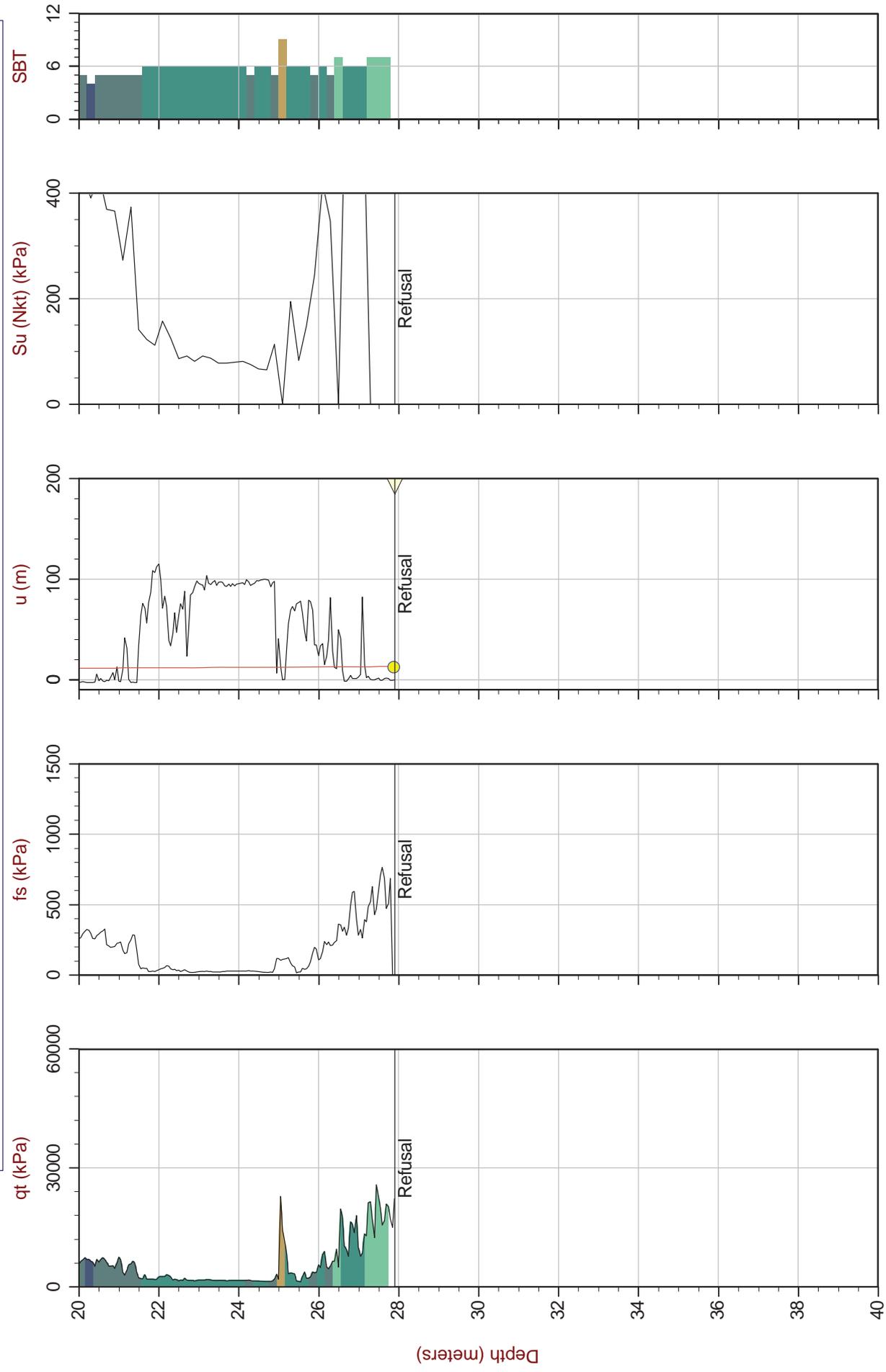
The reported coordinates were acquired from hand-held GPS equipment and are only approximate locations.

File: 15-72001\_SP02.COR  
 UnitWt: SBT Chart Soil Zones  
 SuNkt: 15.0

SBT: Lunne, Robertson and Powell, 1997  
 Coords: UTM18SN: 8783279mE: 347293m  
 SheetNo: 1 of 2

Job No: 15-72001  
 Date: 02:18:15 09:34  
 Site:

Sounding: SCPT15-02  
 Cone: 422:T1500F15U500



Max Depth: 27.900 m / 91.53 ft  
 Depth Inc: 0.050 m / 0.164 ft  
 Avg Int: 0.200 m  
 Overplot Item:

File: 15-72001\_SP02.COR  
 UnitWt: SBT Chart Soil Zones  
 SuNkt: 15.0

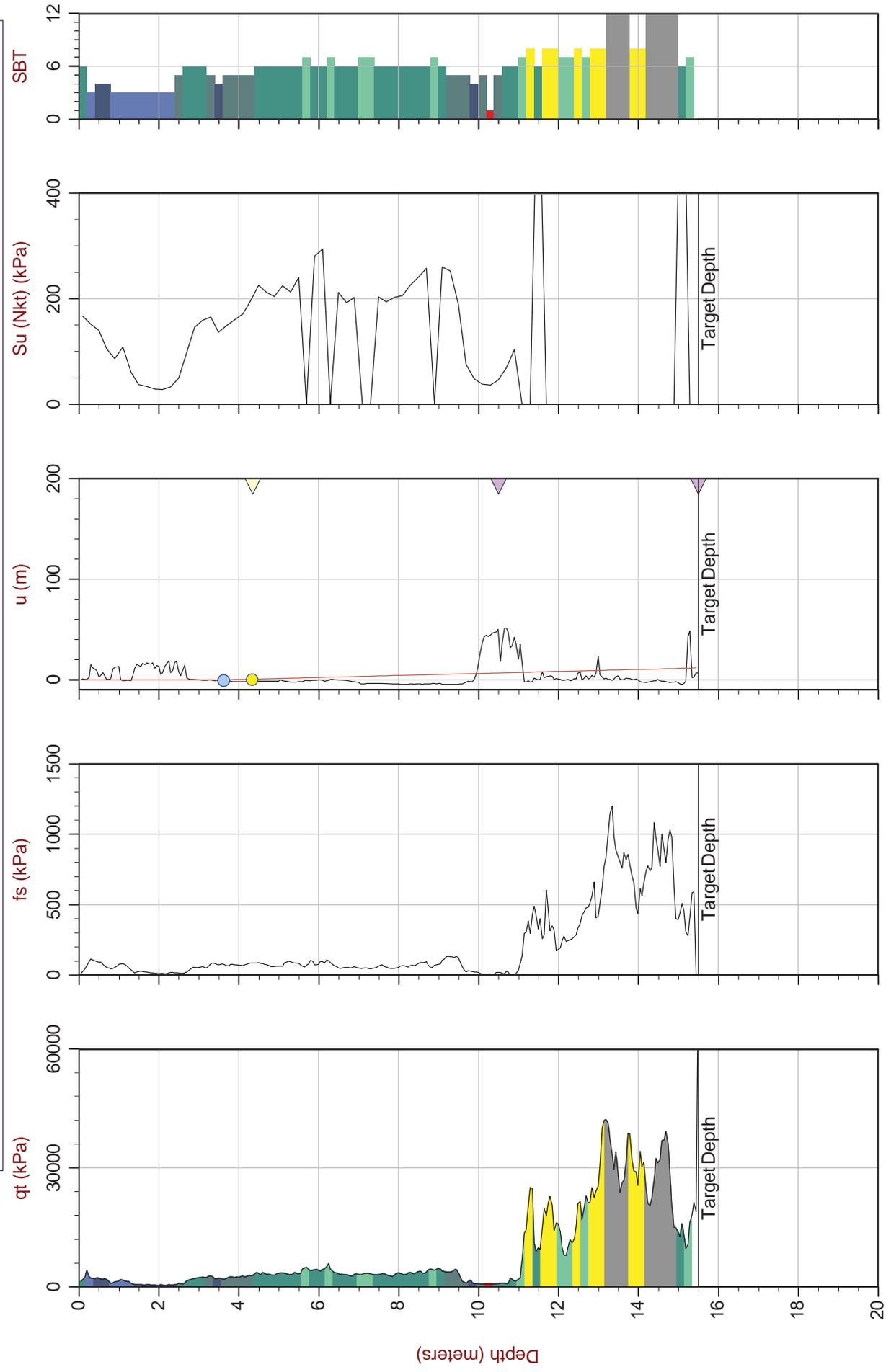
SBT: Lunne, Robertson and Powell, 1997  
 Coords: UTM18SN: 8783279m E: 347293m  
 Sheet No: 2 of 2

Equilibrium Pore Pressure (Yellow dot)  
 Assumed Equilibrium Pore Pressure (Blue dot)  
 Equilibrium Pore Pressure Line (Orange line)

The reported coordinates were acquired from hand-held GPS equipment and are only approximate locations.

Job No: 15-72001  
 Date: 02:15:15 08:04  
 Site:

Sounding: SCPT15-05  
 Cone: 422:T1500F15U500



Max Depth: 15.500 m / 50.85 ft  
 Depth Inc: 0.050 m / 0.164 ft  
 Avg Int: 0.200 m  
 Overplot Item:

- Equilibrium Pore Pressure
- Assumed Equilibrium Pore Pressure
- Equilibrium Pore Pressure Line

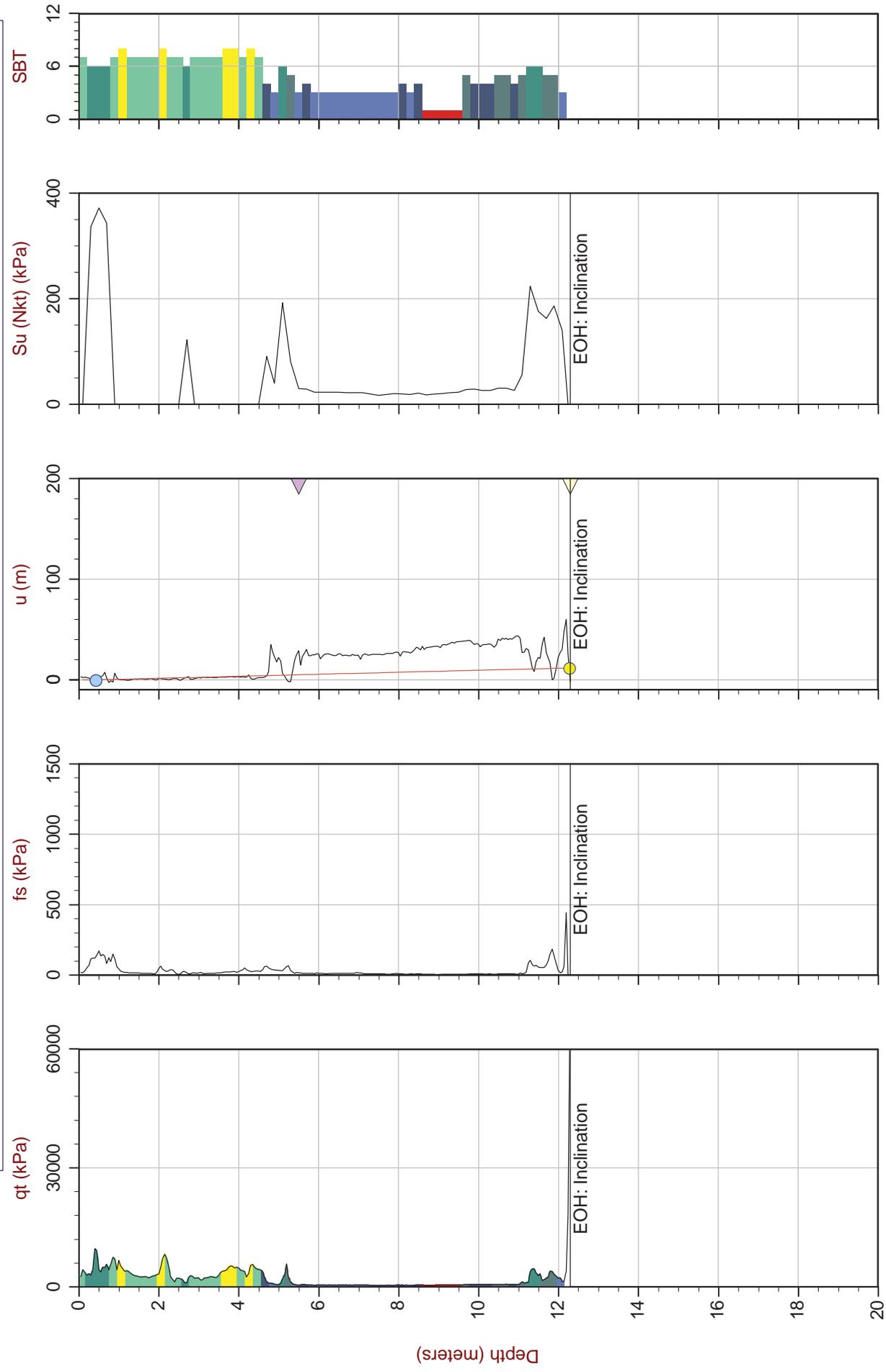
The reported coordinates were acquired from hand-held GPS equipment and are only approximate locations.

File: 15-72001\_SP05.COR  
 UnitWt: SBT Chart Soil Zones  
 SuNkt: 15.0

SBT: Lunne, Robertson and Powell, 1997  
 Coords: UTM18SN: 8783355mE: 347379m  
 Sheet No: 1 of 1

Job No: 15-72001  
 Date: 02:16:15 07:19  
 Site:

Sounding: SCPT15-06  
 Cone: 422:T1500F15U500



Max Depth: 12.300 m / 40.35 ft  
 Depth Inc: 0.050 m / 0.164 ft  
 Avg Int: 0.200 m  
 Overplot Item:

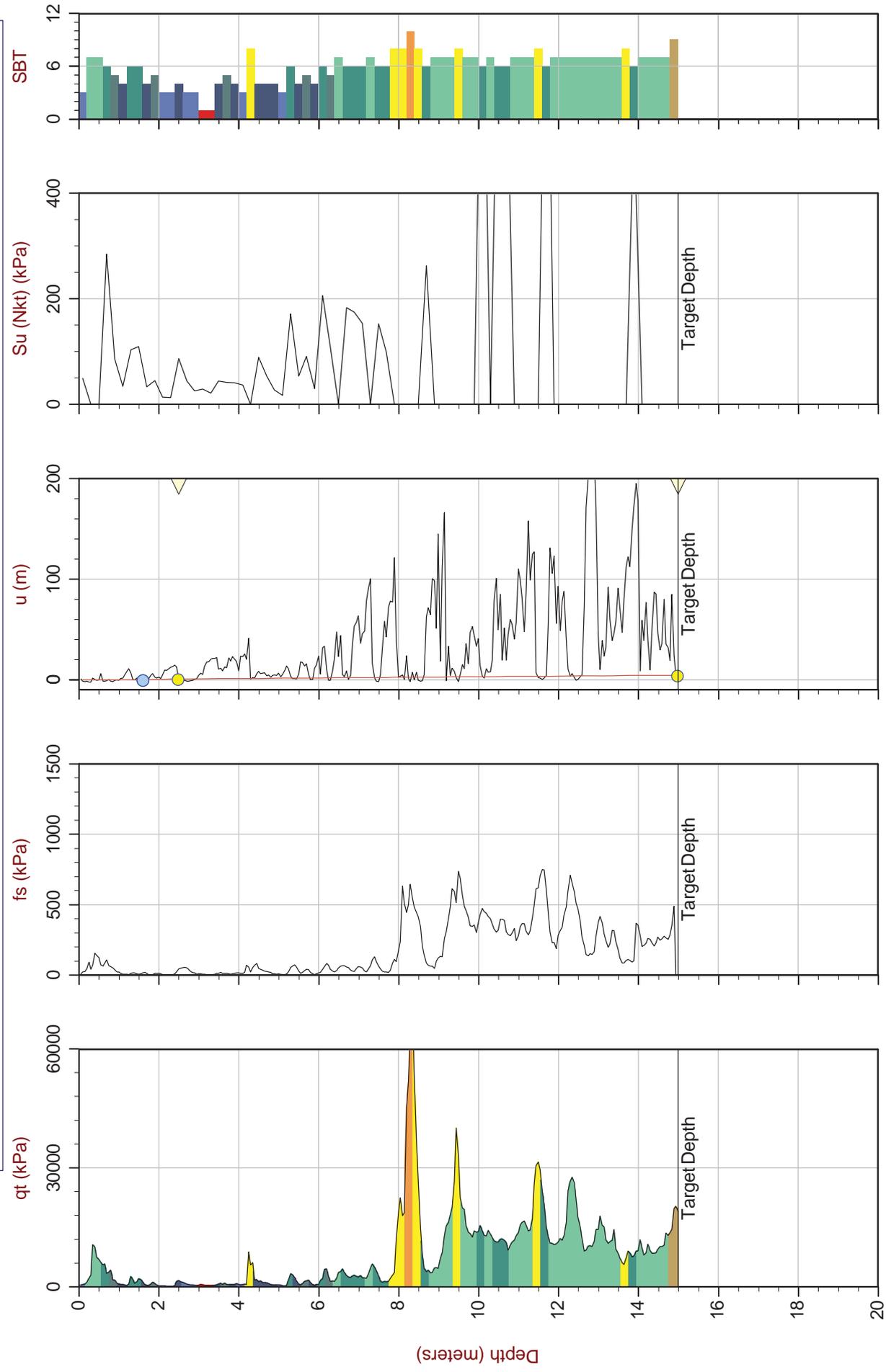
File: 15-72001\_SP06.COR  
 UnitWt: SBT Chart Soil Zones  
 SuNkt: 15.0

SBT: Lunne, Robertson and Powell, 1997  
 Coords: UTM18SN: 8783167mE: 347435m  
 SheetNo: 1 of 1

The reported coordinates were acquired from hand-held GPS equipment and are only approximate locations.

Legend:  
 ● Assumed Equilibrium Pore Pressure  
 ● Equilibrium Pore Pressure  
 — Equilibrium Pore Pressure Line

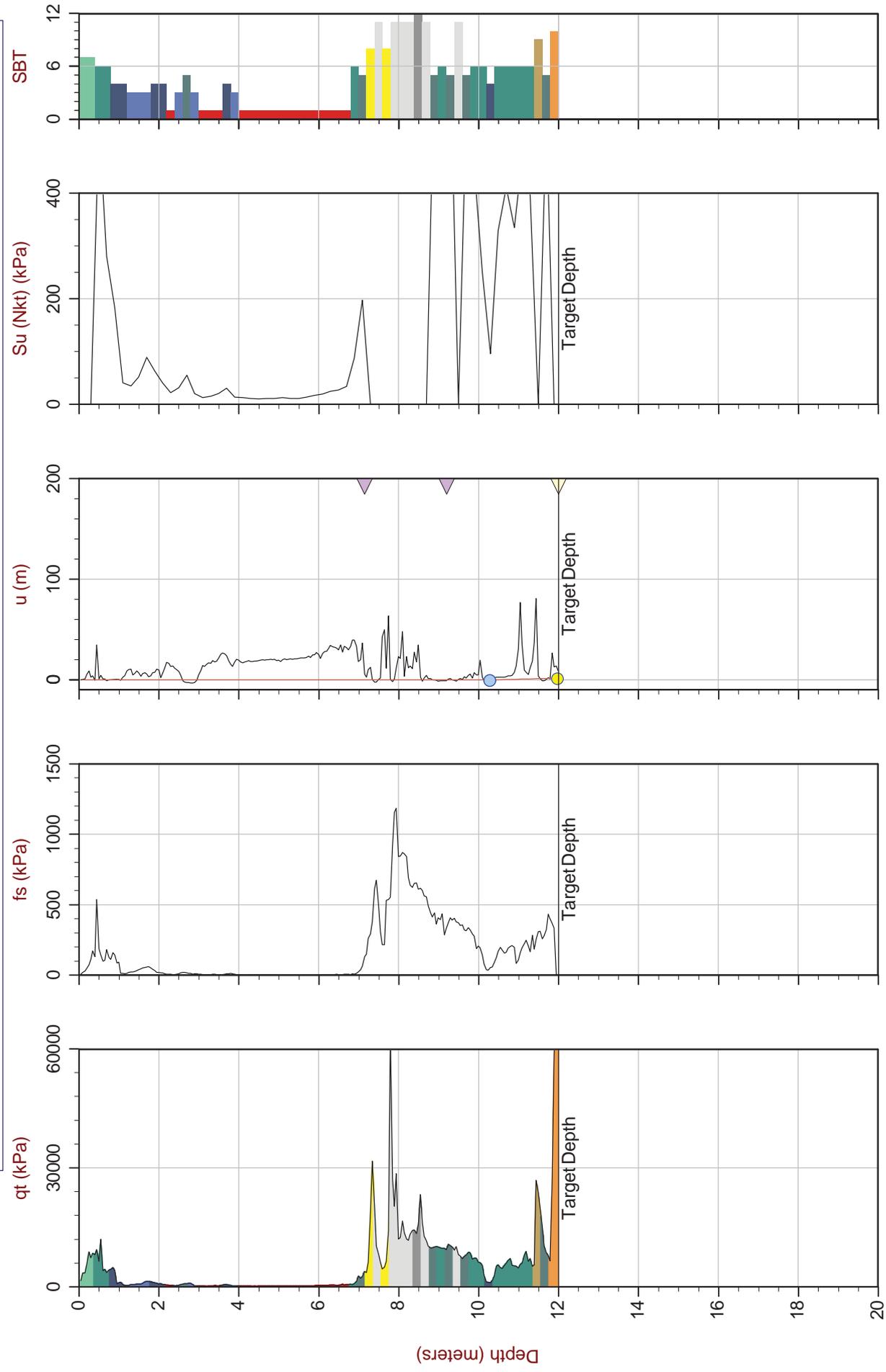
Job No: 15-72001  
 Date: 02:15:15 16:58  
 Site:  
 Sounding: SCPT15-07B  
 Cone: 422:T1500F15U500



Max Depth: 15.000 m / 49.21 ft  
 Depth Inc: 0.050 m / 0.164 ft  
 Avg Int: 0.200 m  
 Overplot Item:  
 ● Equilibrium Pore Pressure  
 ● Assumed Equilibrium Pore Pressure  
 — Equilibrium Pore Pressure Line  
 File: 15-72001\_SP07B.COR  
 UnitWt: SBT Chart Soil Zones  
 SuNkt: 15.0  
 SBT: Lunne, Robertson and Powell, 1997  
 Coords: UTM18SN: 8783246m E: 347539m  
 Sheet No: 1 of 1  
 The reported coordinates were acquired from hand-held GPS equipment and are only approximate locations.

Job No: 15-72001  
 Date: 02:15:15 13:06  
 Site:

Sounding: SCPT15-08  
 Cone: 422:T1500F15U500



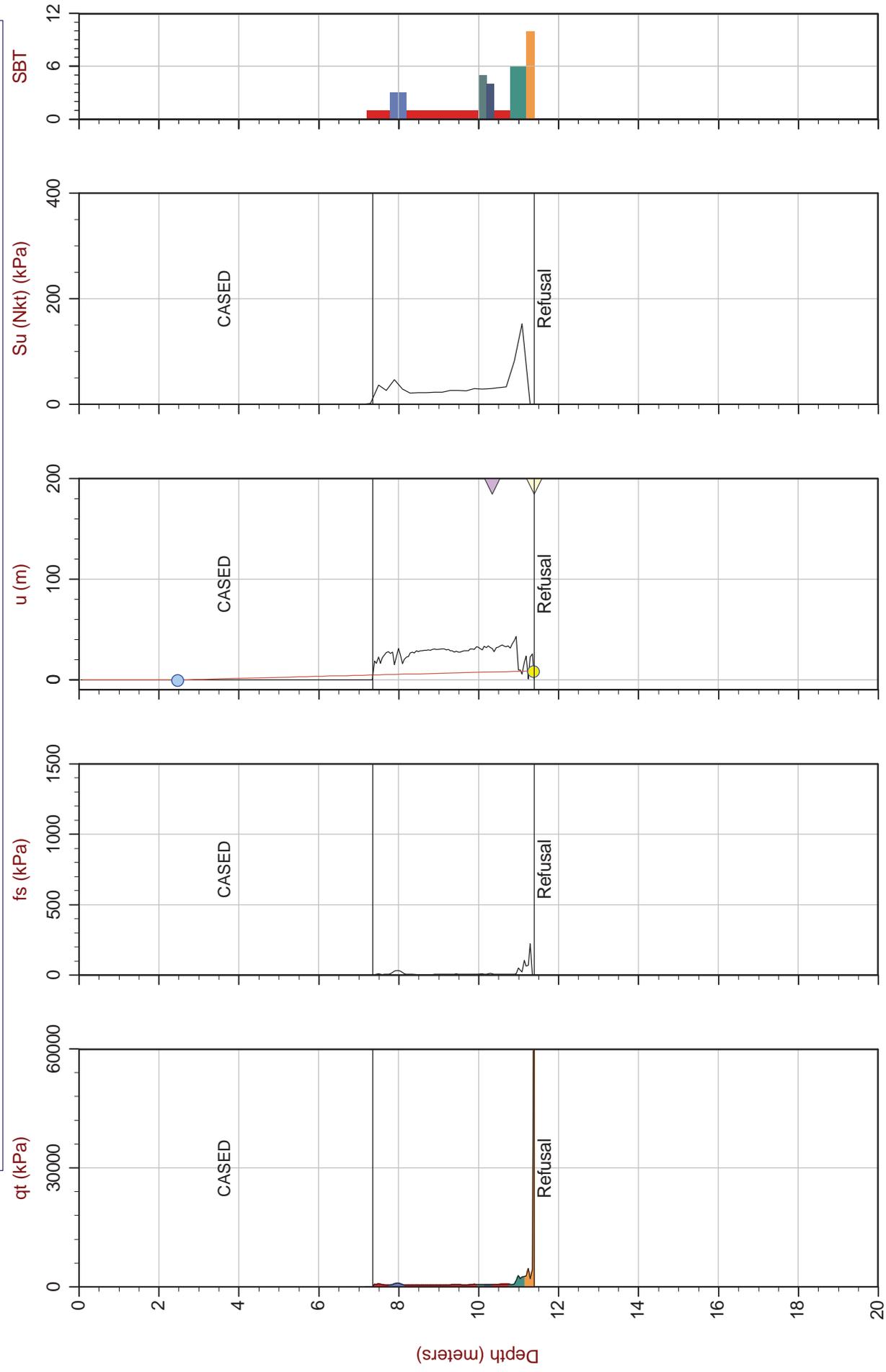
File: 15-72001\_SP08.COR  
 UnitWt: SBT Chart Soil Zones  
 SuNkt: 15.0  
 Max Depth: 12.000 m / 39.37 ft  
 Depth Inc: 0.050 m / 0.164 ft  
 Avg Int: 0.200 m  
 Overplot Item:

- Equilibrium Pore Pressure
- Assumed Equilibrium Pore Pressure
- Equilibrium Pore Pressure Line

SBT: Lunne, Robertson and Powell, 1997  
 Coords: UTM18SN: 8783310mE: 347464m  
 Sheet No: 1 of 1  
 The reported coordinates were acquired from hand-held GPS equipment and are only approximate locations.

Job No: 15-72001  
 Date: 02:19:15 08:32  
 Site:

Sounding: SCPT15-09  
 Cone: 404:T1000F10U500



Max Depth: 11.400 m / 37.40 ft  
 Depth Inc: 0.050 m / 0.164 ft  
 Avg Int: 0.200 m  
 Overplot Item:

File: 15-72001\_SP09.COR  
 UnitWt: SBT Chart Soil Zones  
 SuNkt: 15.0

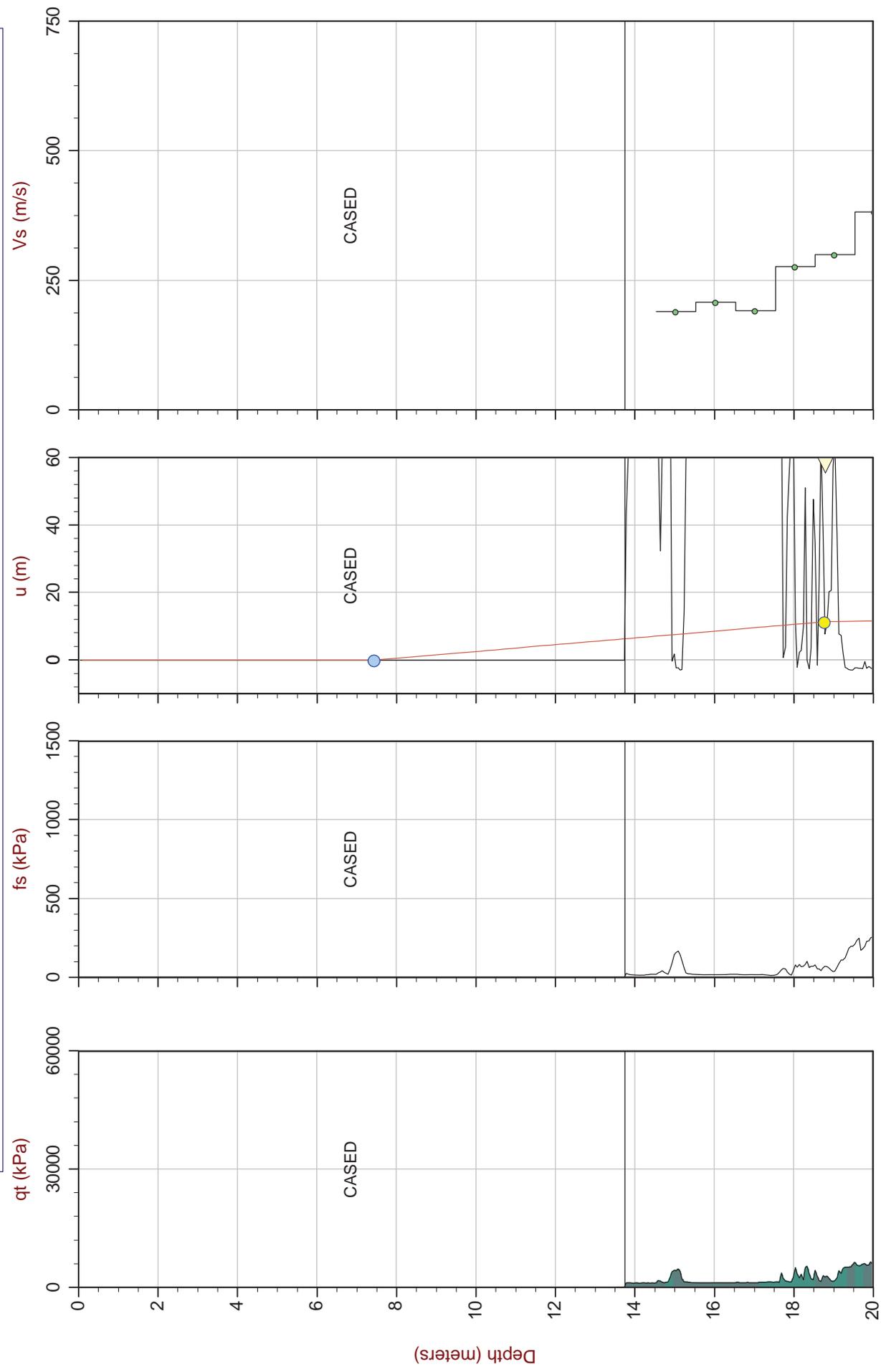
SBT: Lunne, Robertson and Powell, 1997  
 Coords: UTM18SN: 8783193mE: 347337m  
 SheetNo: 1 of 1

Equilibrium Pore Pressure (Yellow dot)  
 Assumed Equilibrium Pore Pressure (Blue dot)  
 Equilibrium Pore Pressure Line (Orange line)

The reported coordinates were acquired from hand-held GPS equipment and are only approximate locations.

Job No: 15-72001  
 Date: 02:18:15 09:34  
 Site:

Sounding: SCPT15-02  
 Cone: 422:T1500F15U500



File: 15-72001\_SP02.COR  
 UnitWt: SBT Chart Soil Zones  
 Max Depth: 27.900 m / 91.53 ft  
 Depth Inc: 0.050 m / 0.164 ft  
 Avg Int: 0.200 m  
 Overplot Item:

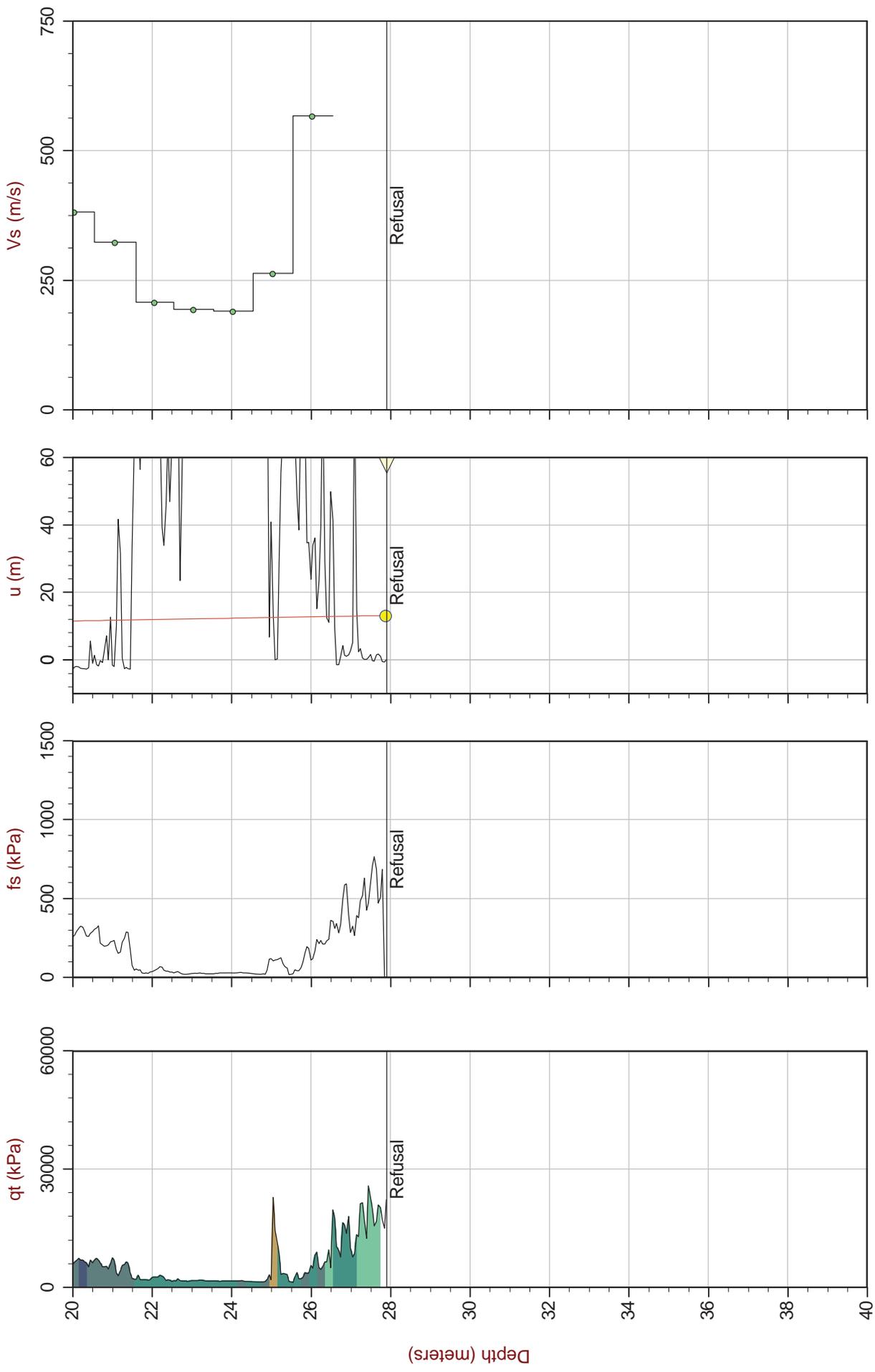
SBT: Lunne, Robertson and Powell, 1997  
 Coords: UTM18SN: 8783279mE: 347293m  
 Sheet No: 1 of 2

Legend:  
 ● Assumed Equilibrium Pore Pressure  
 ● Equilibrium Pore Pressure  
 — Equilibrium Pore Pressure Line

The reported coordinates were acquired from hand-held GPS equipment and are only approximate locations.

Job No: 15-72001  
 Date: 02:18:15 09:34  
 Site:

Sounding: SCPT15-02  
 Cone: 422:T1500F15U500



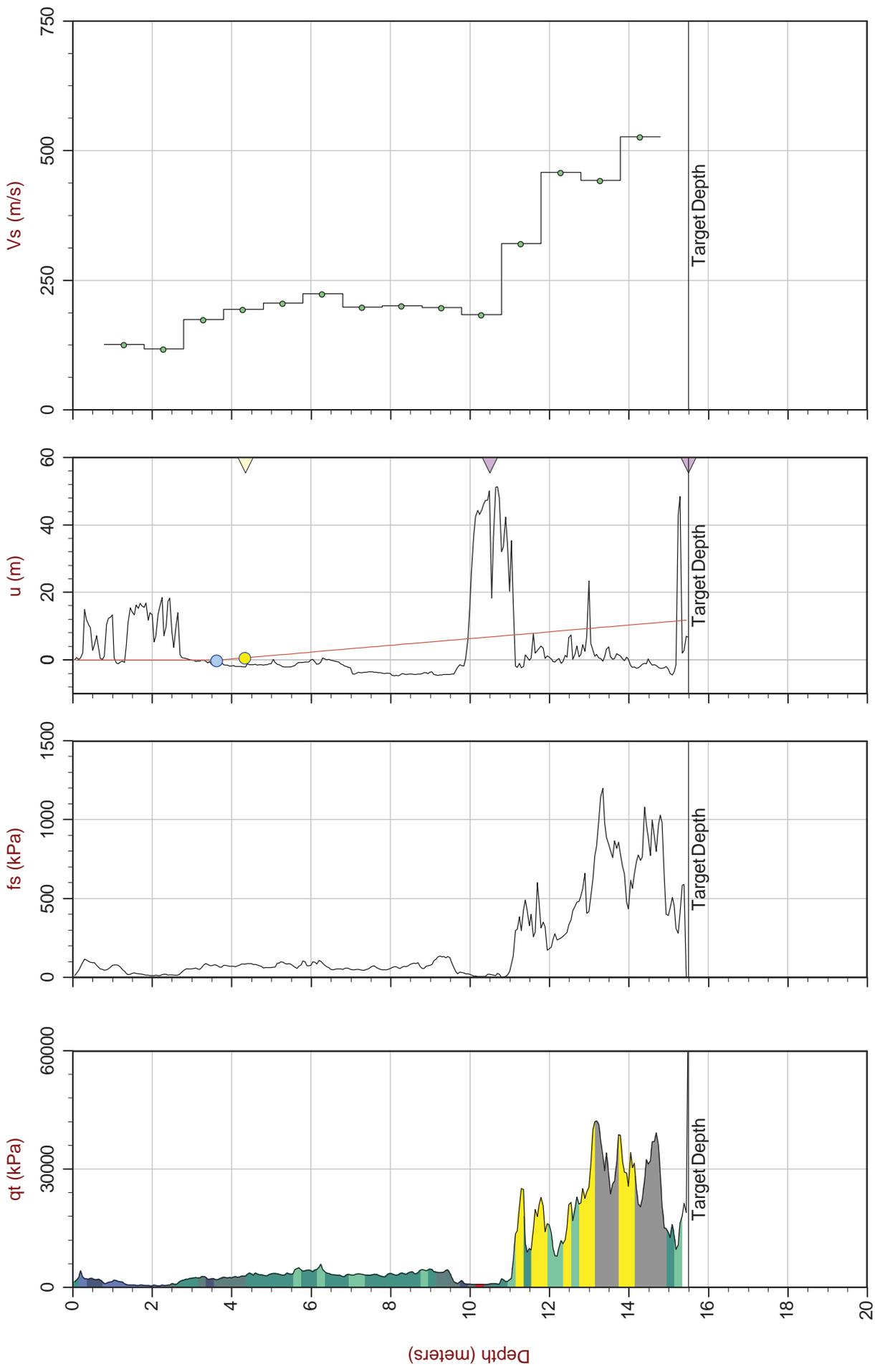
Max Depth: 27.900 m / 91.53 ft  
 Depth Inc: 0.050 m / 0.164 ft  
 Avg Int: 0.200 m  
 Overplot Item:

File: 15-72001\_SP02.COR  
 UnitWt: SBT Chart Soil Zones  
 Equilibrium Pore Pressure  
 Assumed Equilibrium Pore Pressure  
 The reported coordinates were acquired from hand-held GPS equipment and are only approximate locations.

SBT: Lunne, Robertson and Powell, 1997  
 Coords: UTM18SN: 8783279mE: 347293m  
 Sheet No: 2 of 2  
 Equilibrium Pore Pressure Line

Job No: 15-72001  
 Date: 02:15:15 08:04  
 Site:

Sounding: SCPT15-05  
 Cone: 422:T1500F15U500



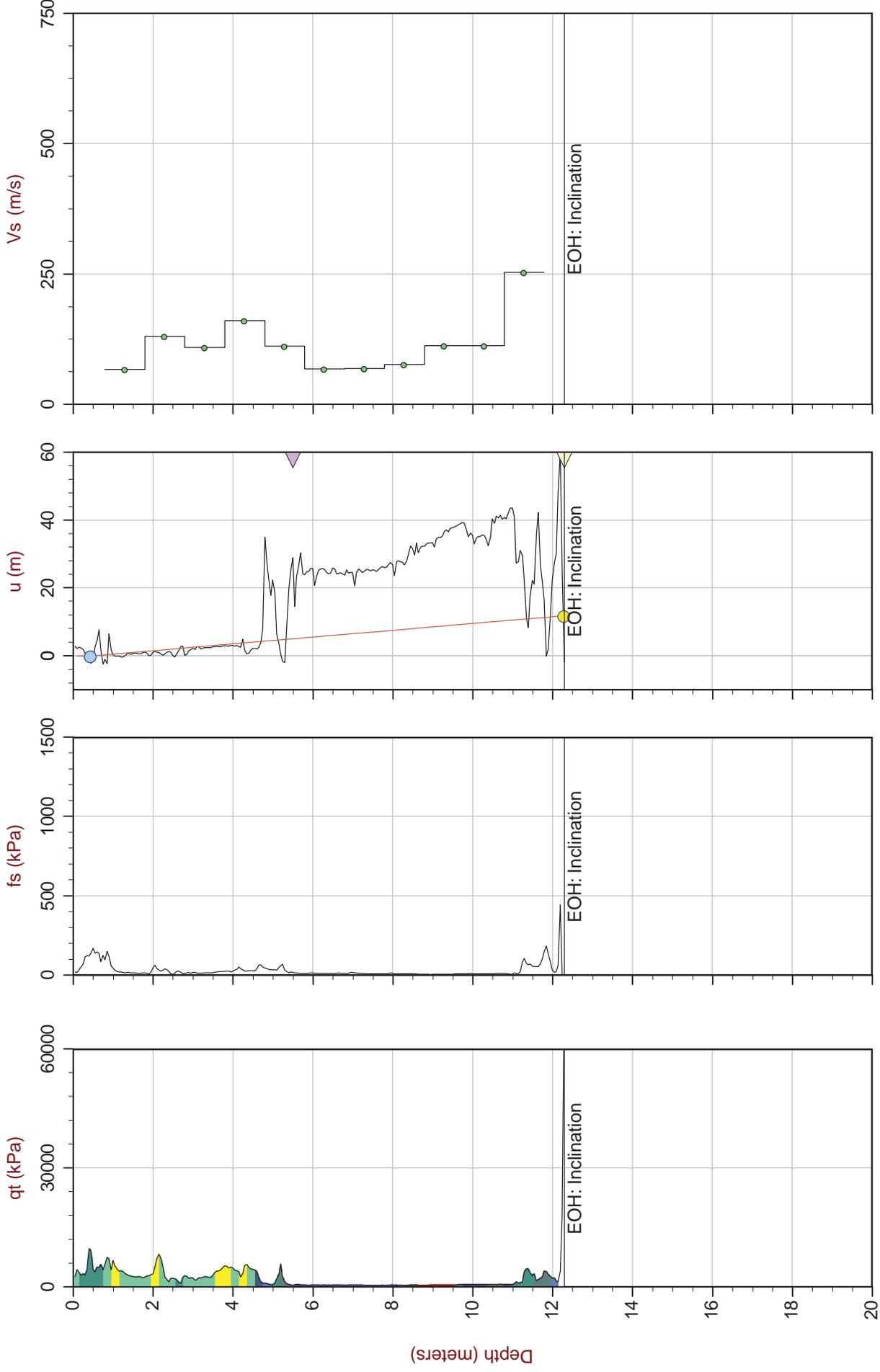
File: 15-72001\_SP05.COR  
 UnitWt: SBT Chart Soil Zones  
 Legend:  
 ● Equilibrium Pore Pressure  
 ● Assumed Equilibrium Pore Pressure  
 — Equilibrium Pore Pressure Line

SBT: Lunne, Robertson and Powell, 1997  
 Coords: UTM18SN: 8783355mE: 347379m  
 SheetNo: 1 of 1  
 The reported coordinates were acquired from hand-held GPS equipment and are only approximate locations.

Max Depth: 15.500 m / 50.85 ft  
 Depth Inc: 0.050 m / 0.164 ft  
 Avg Int: 0.200 m  
 Overplot Item:

Job No: 15-72001  
 Date: 02:16:15 07:19  
 Site:

Sounding: SCPT15-06  
 Cone: 422:T1500F15U500



Max Depth: 12.300 m / 40.35 ft  
 Depth Inc: 0.050 m / 0.164 ft  
 Avg Int: 0.200 m  
 Overplot Item:

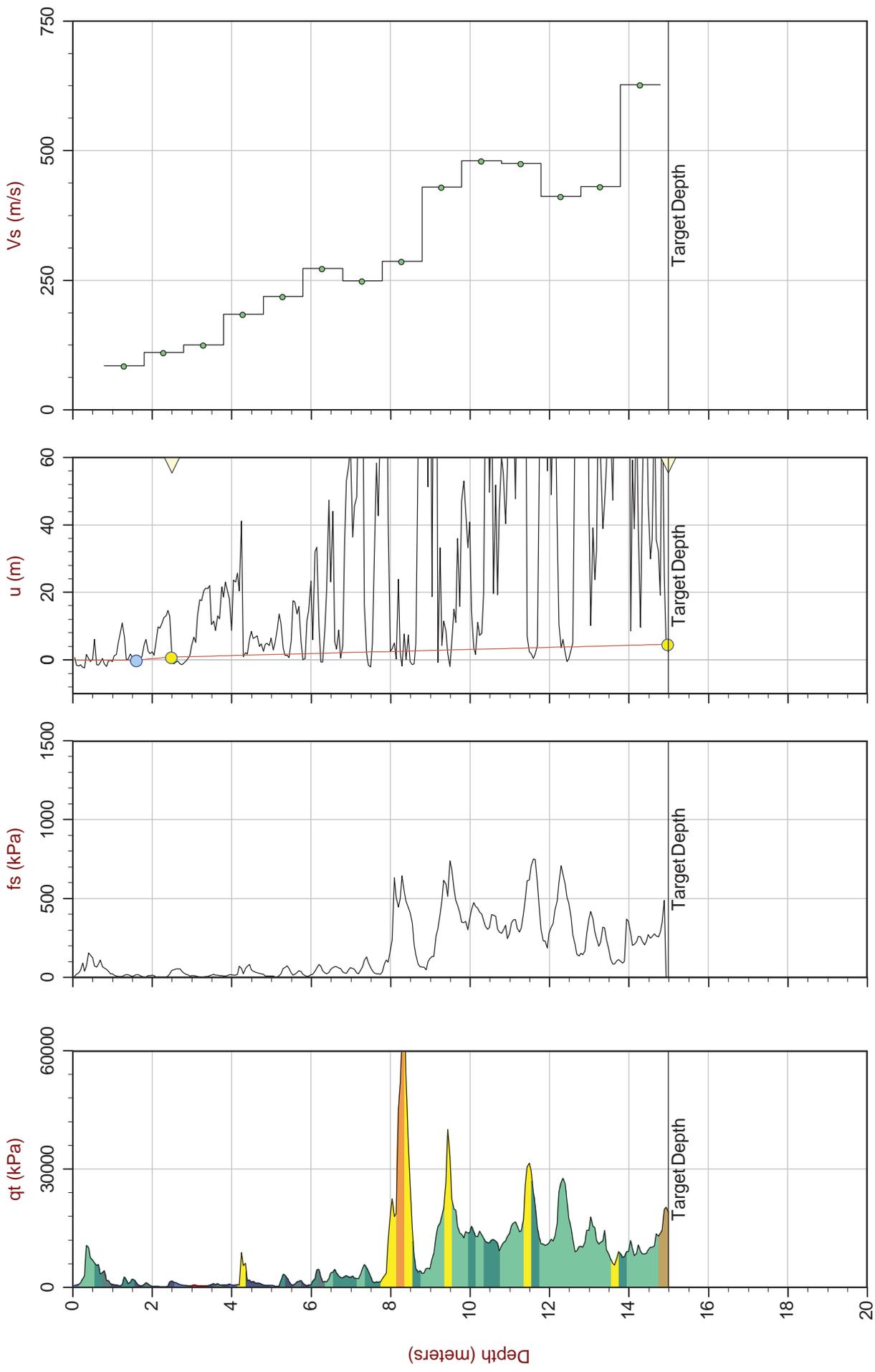
- Assumed Equilibrium Pore Pressure
- Equilibrium Pore Pressure
- Equilibrium Pore Pressure Line

The reported coordinates were acquired from hand-held GPS equipment and are only approximate locations.

File: 15-72001\_SP06.COR  
 UnitWt: SBT Chart Soil Zones  
 SBT: Lunne, Robertson and Powell, 1997  
 Coords: UTM18SN: 8783167mE: 347435m  
 SheetNo: 1 of 1

Job No: 15-72001  
 Date: 02:15:15 16:58  
 Site:

Sounding: SCPT15-07B  
 Cone: 422:T1500F15U500



File: 15-72001\_SP07B.COR  
 UnitWt: SBT Chart Soil Zones  
 Max Depth: 15.000 m / 49.21 ft  
 Depth Inc: 0.050 m / 0.164 ft  
 Avg Int: 0.200 m  
 Overplot Item:

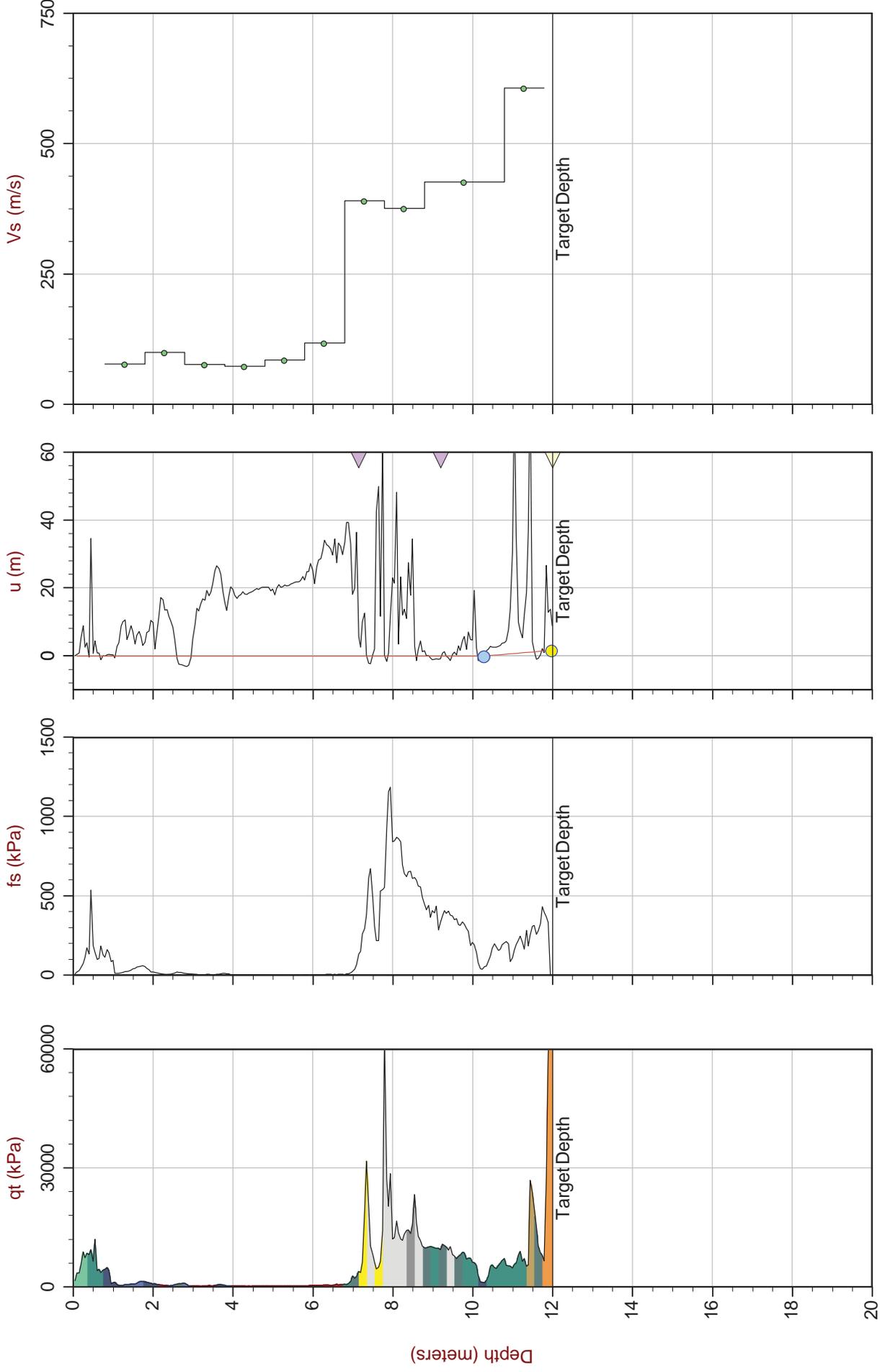
- Equilibrium Pore Pressure
- Assumed Equilibrium Pore Pressure
- Equilibrium Pore Pressure Line

The reported coordinates were acquired from hand-held GPS equipment and are only approximate locations.

SBT: Lunne, Robertson and Powell, 1997  
 Coords: UTM18SN: 8783246mE: 347539m  
 Sheet No: 1 of 1

Job No: 15-72001  
 Date: 02:15:15 13:06  
 Site:

Sounding: SCPT15-08  
 Cone: 422:T1500F15U500

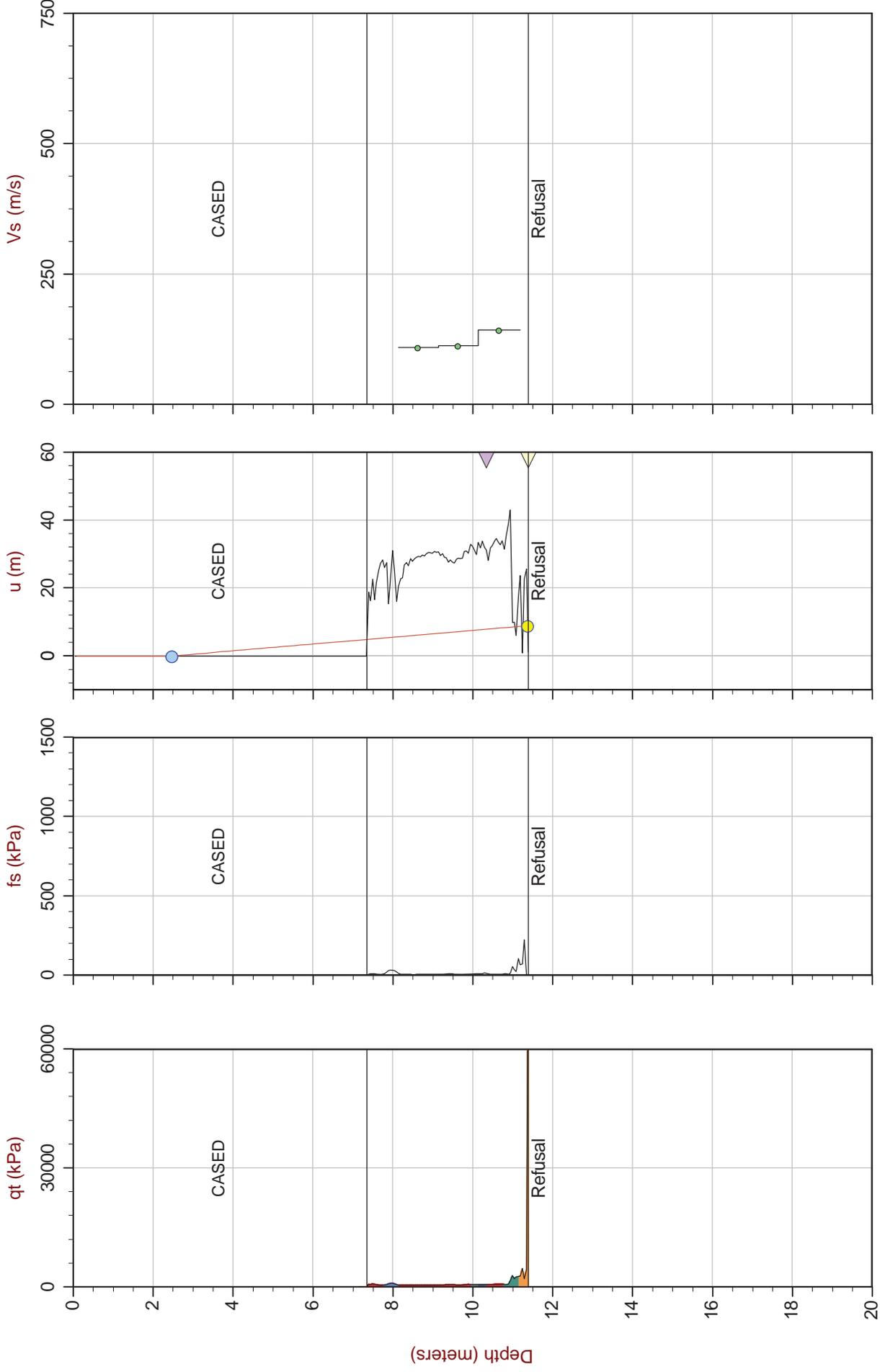


Max Depth: 12.000 m / 39.37 ft  
 Depth Inc: 0.050 m / 0.164 ft  
 Avg Int: 0.200 m  
 Overplot Item:

- Equilibrium Pore Pressure
- Assumed Equilibrium Pore Pressure
- Equilibrium Pore Pressure
- SBT Chart Soil Zones
- SBT: Lunne, Robertson and Powell, 1997
- Coords: UTM18SN: 8783310mE: 347464m
- Sheet No: 1 of 1
- Equilibrium Pore Pressure Line

The reported coordinates were acquired from hand-held GPS equipment and are only approximate locations.

Job No: 15-72001      Sounding: SCPT15-09  
 Date: 02:19:15 08:32      Cone: 404:T1000F10U500  
 Site:



Max Depth: 11.400 m / 37.40 ft  
 Depth Inc: 0.050 m / 0.164 ft  
 Avg Int: 0.200 m  
 Overplot Item:

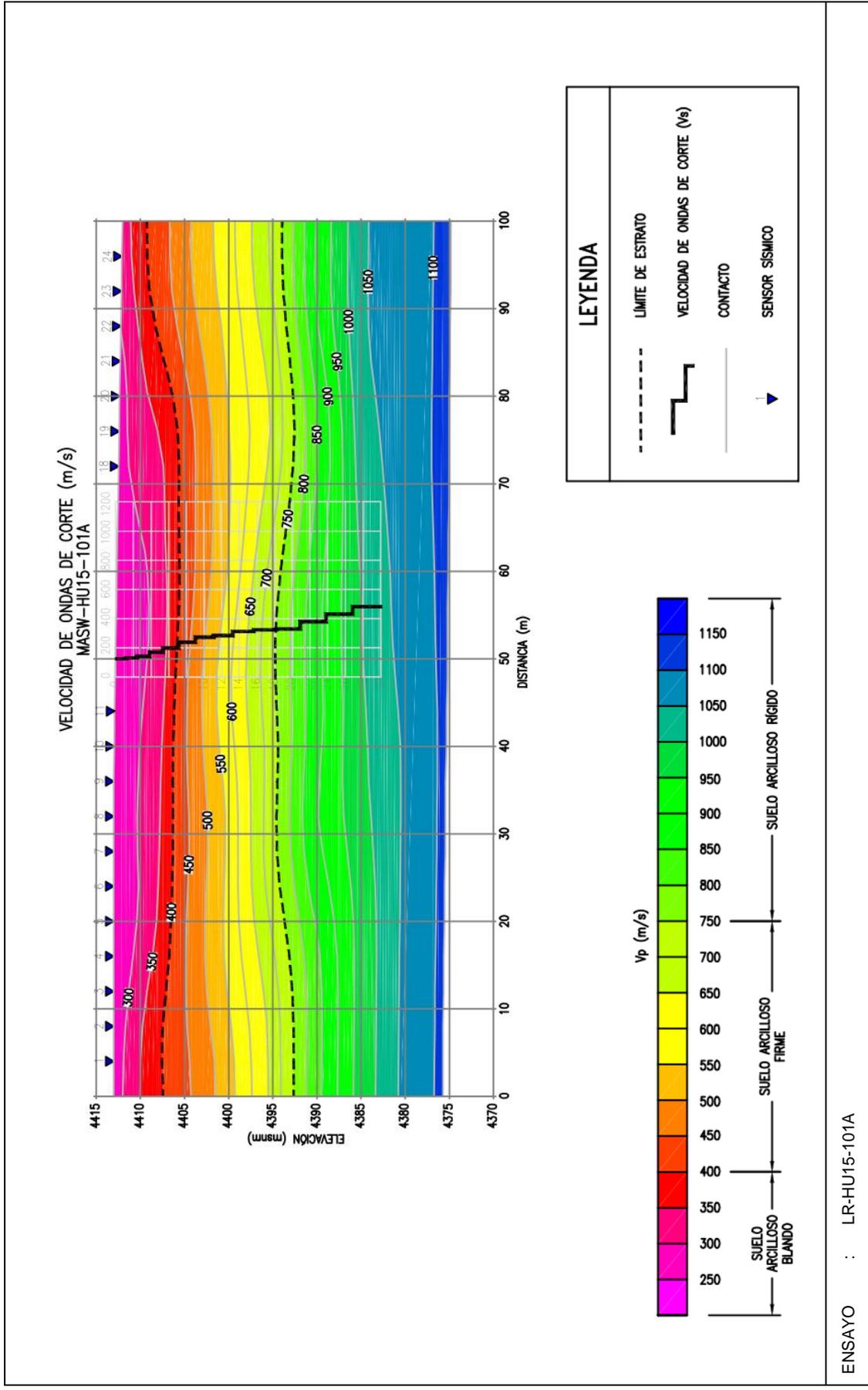
- Assumed Equilibrium Pore Pressure
- Equilibrium Pore Pressure
- Assumed Equilibrium Pore Pressure
- Equilibrium Pore Pressure
- Equilibrium Pore Pressure Line

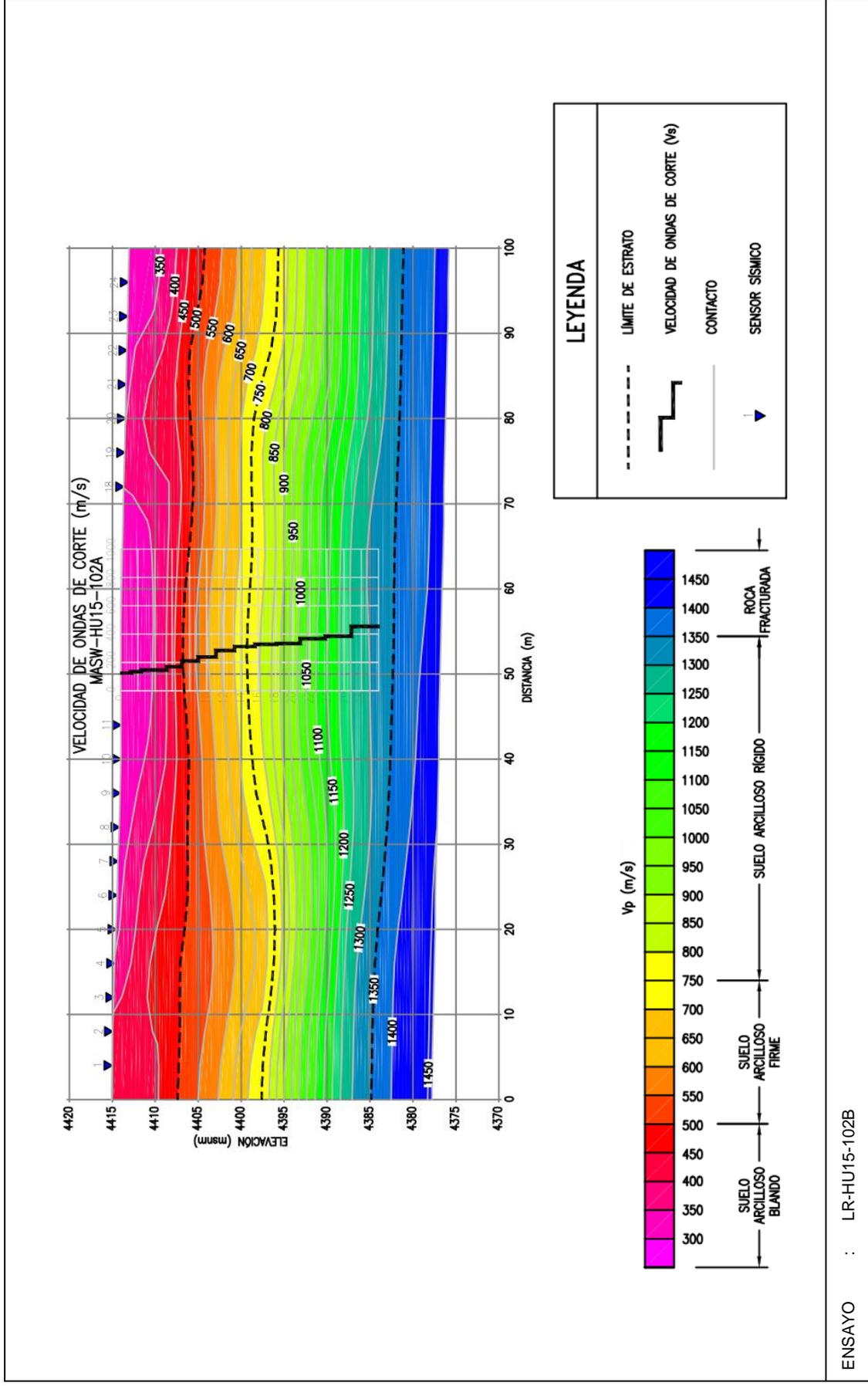
The reported coordinates were acquired from hand-held GPS equipment and are only approximate locations.

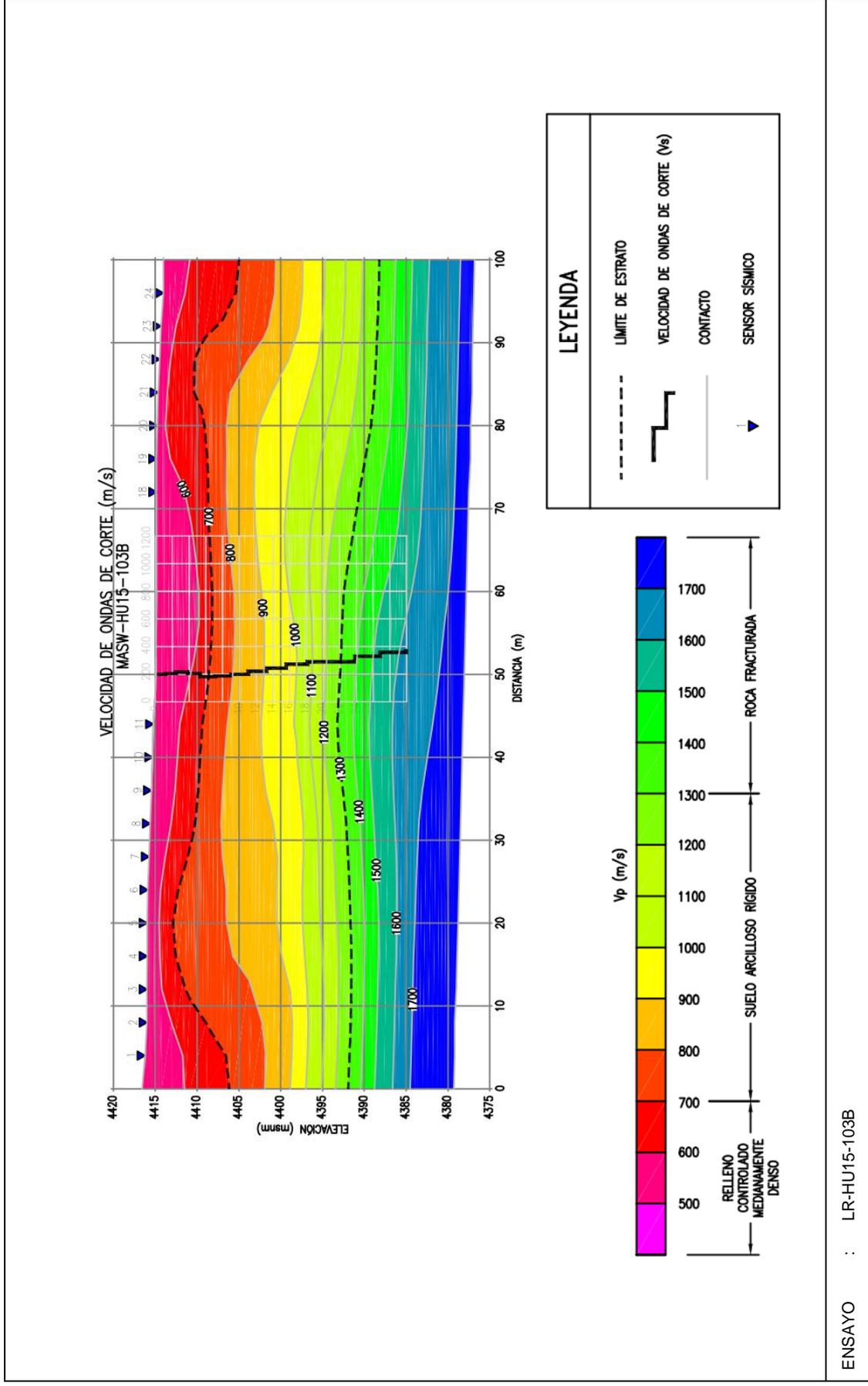
File: 15-72001\_SP09.COR  
 UnitWt: SBT Chart Soil Zones  
 SBT: Lunne, Robertson and Powell, 1997  
 Coords: UTM18SN: 8783193mE: 347337m  
 Sheet No: 1 of 1

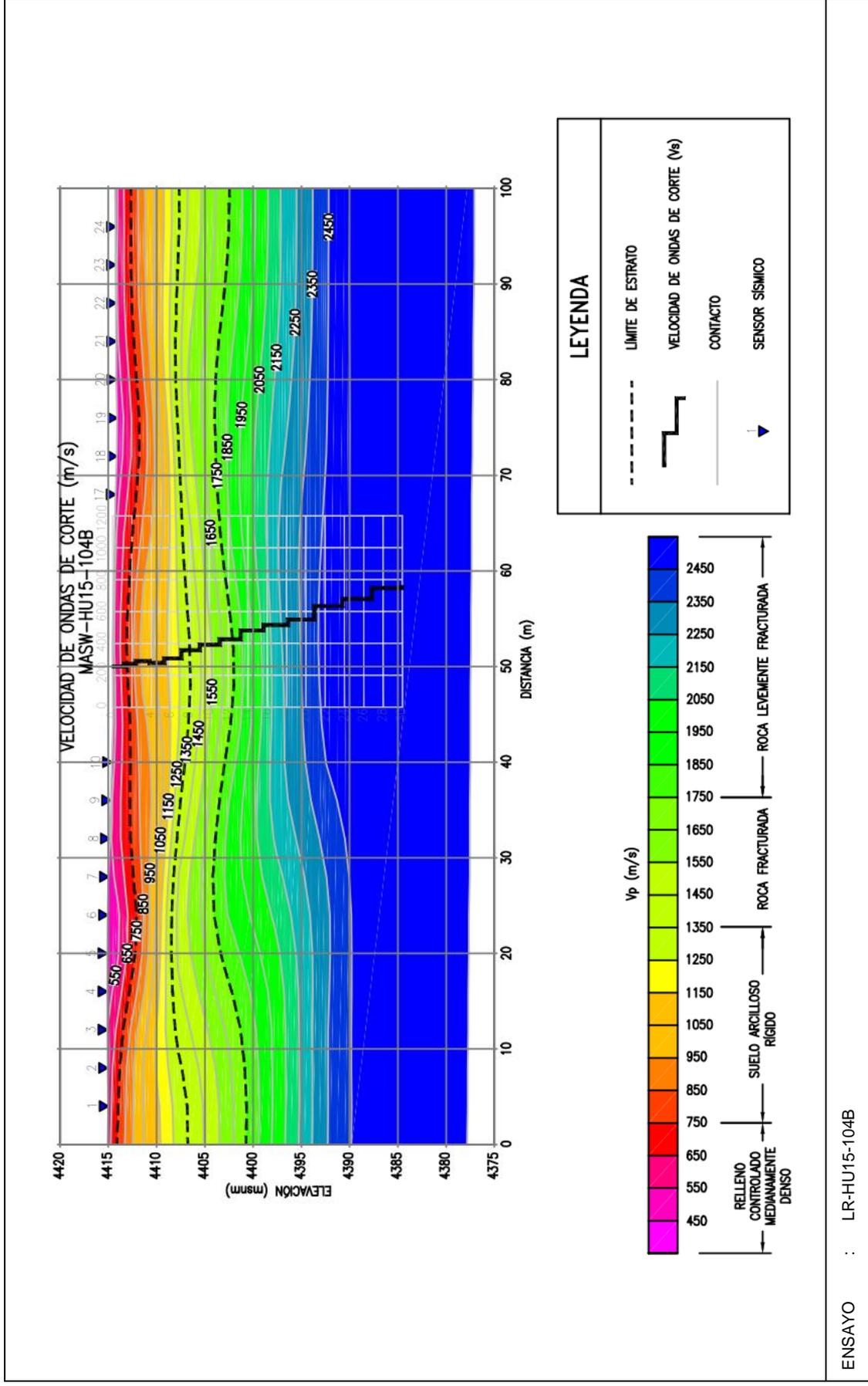
## **ANEXO C: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS GEOFÍSICOS**

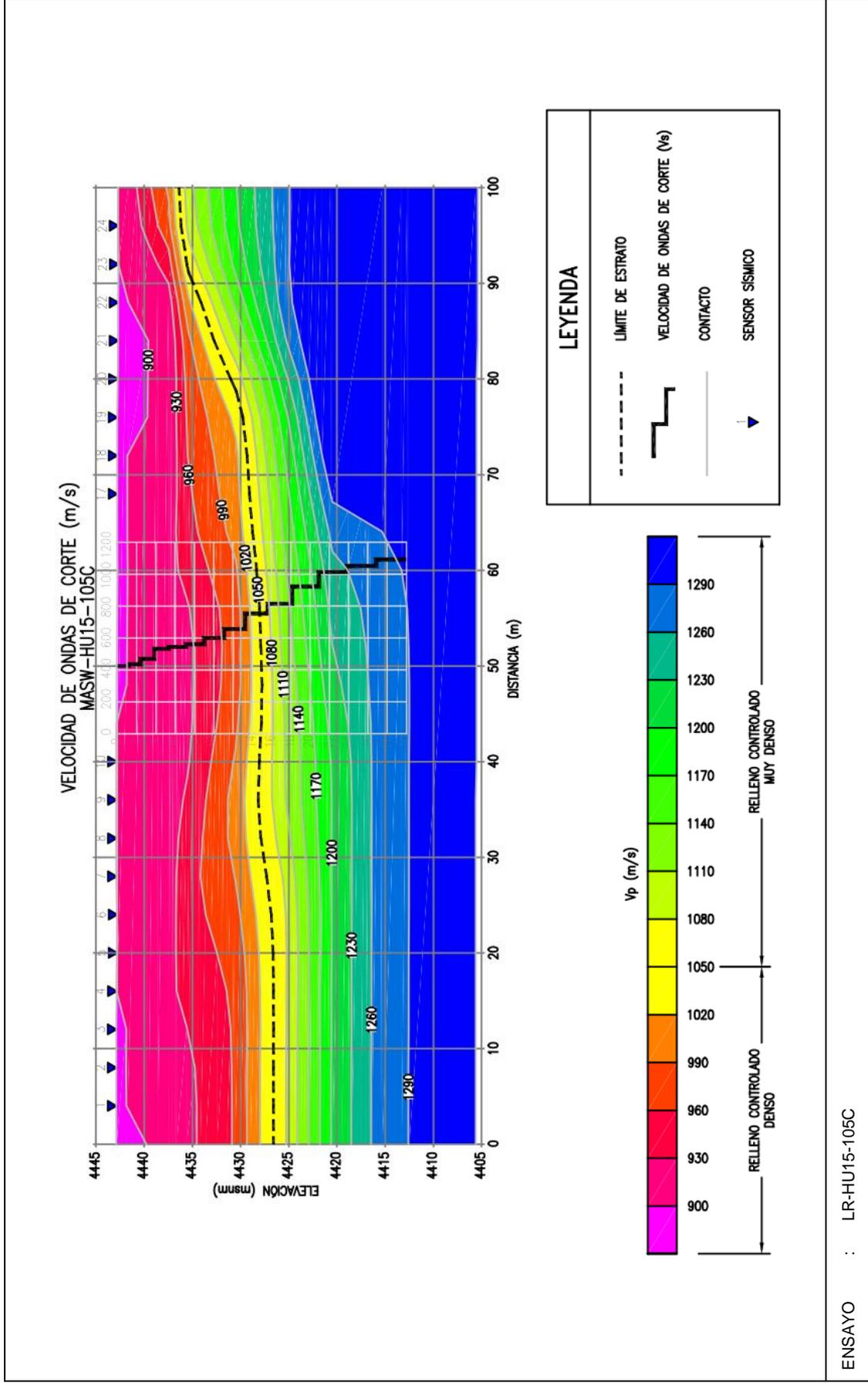
## **ANEXO C.1: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA - PERFILES SÍSMICOS VP**

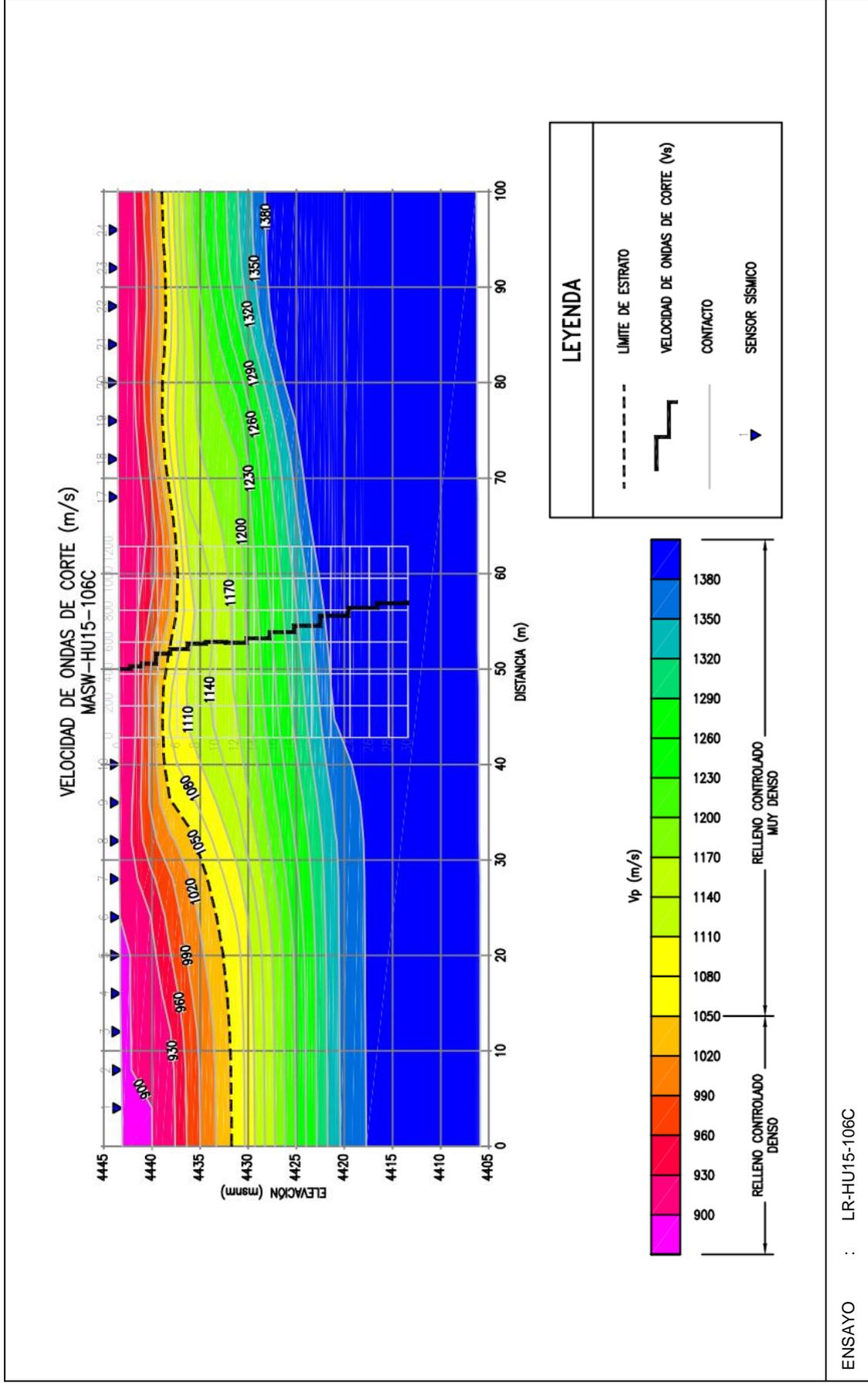




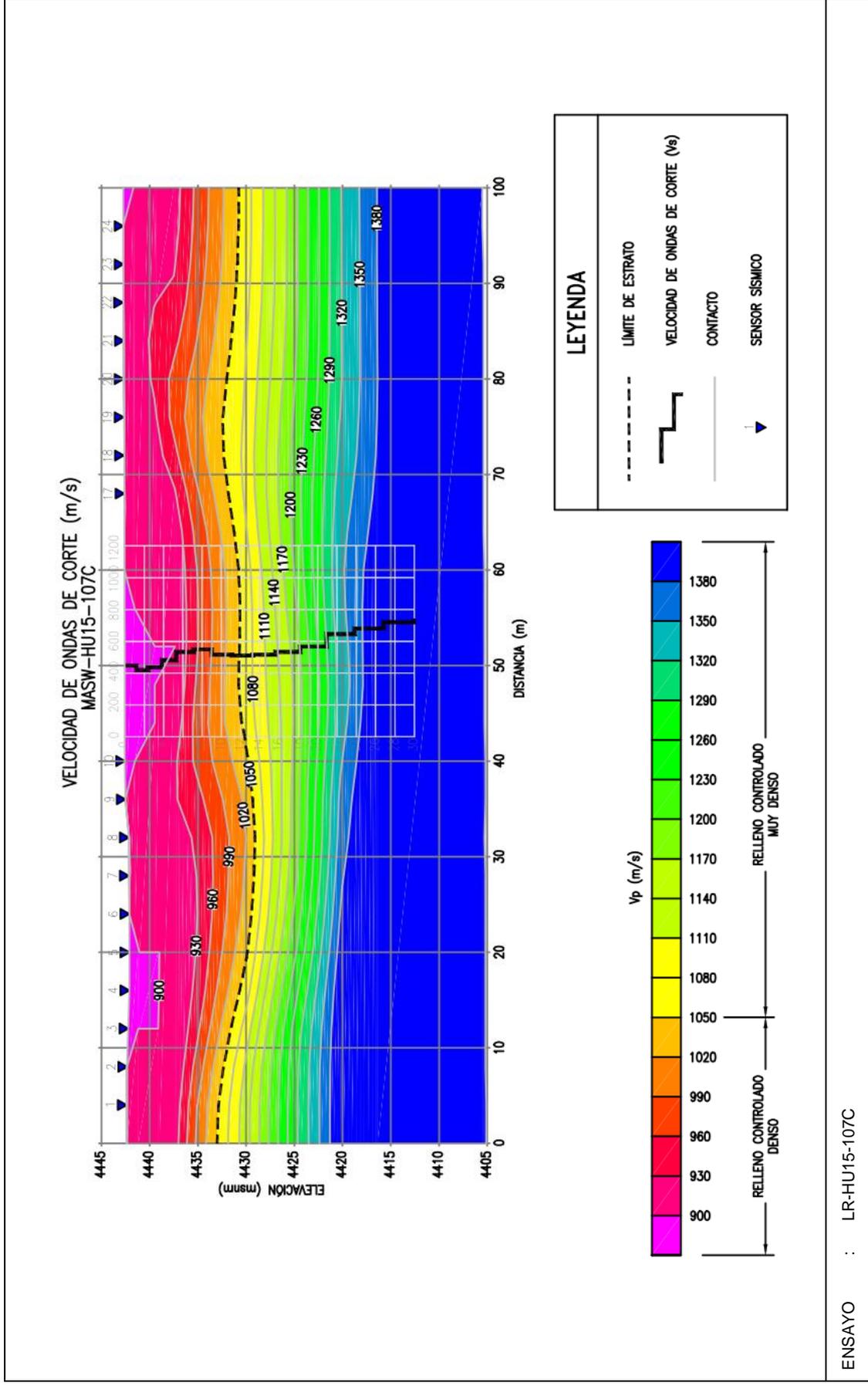




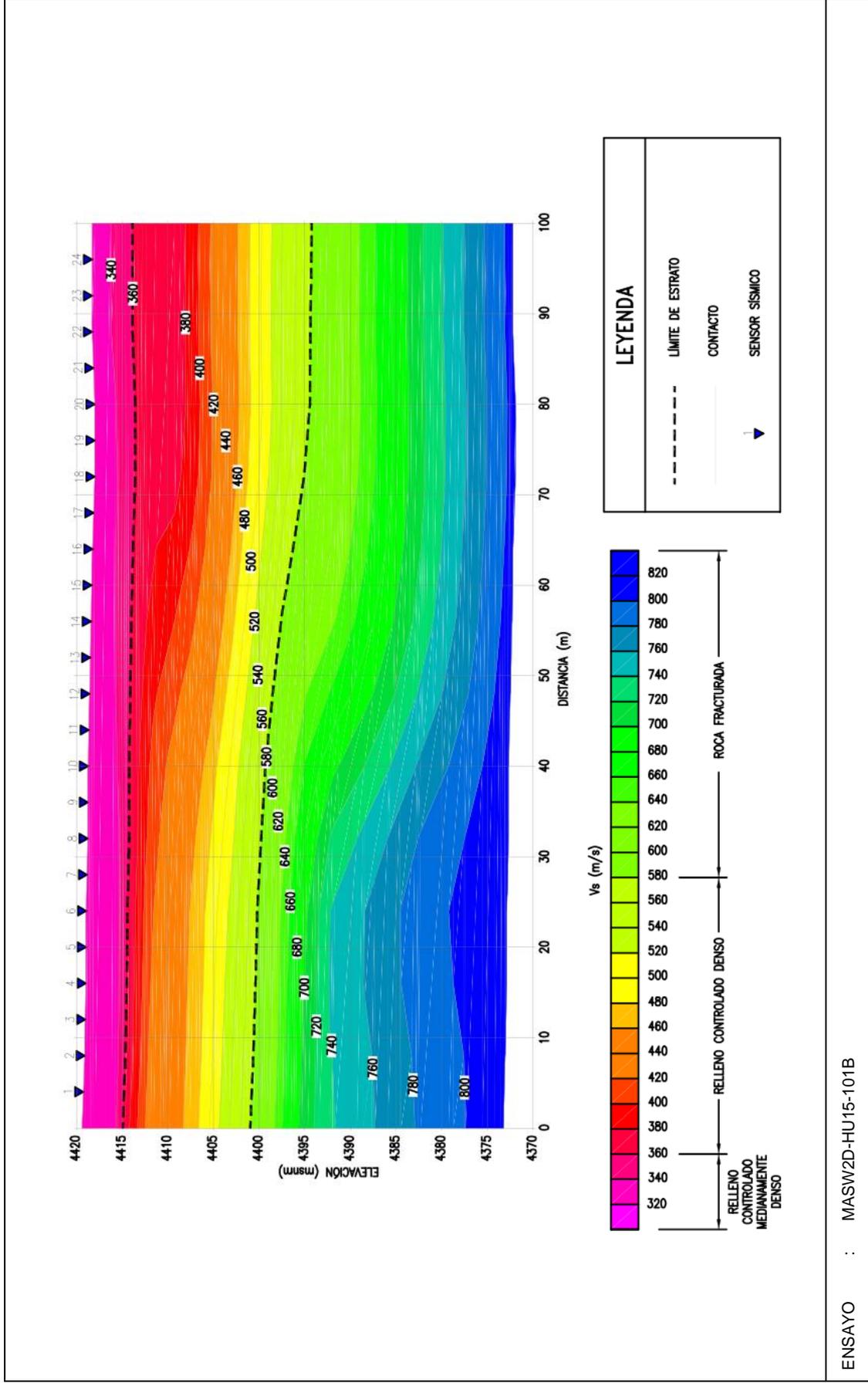




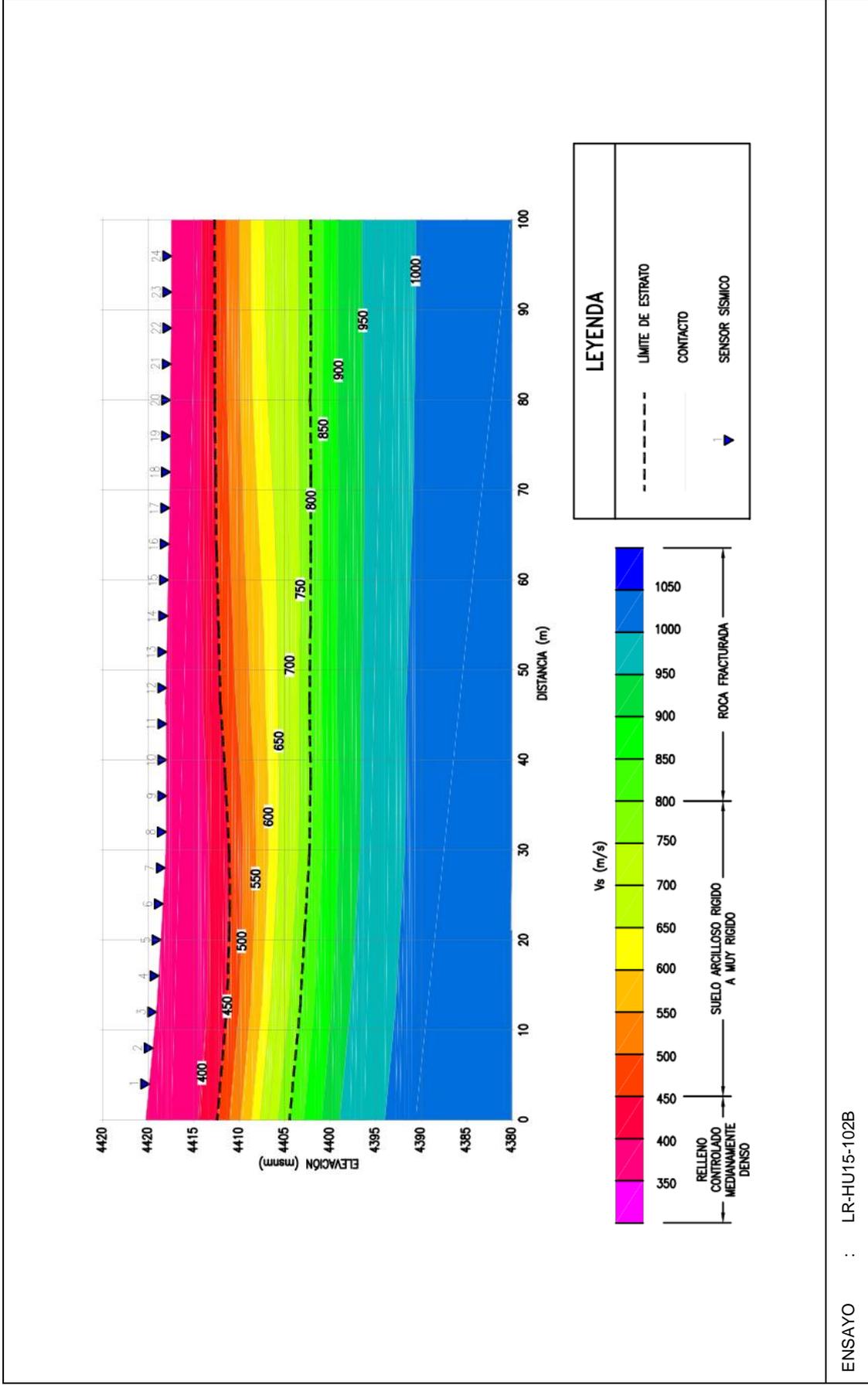
ENSAYO : LR-HU15-106C



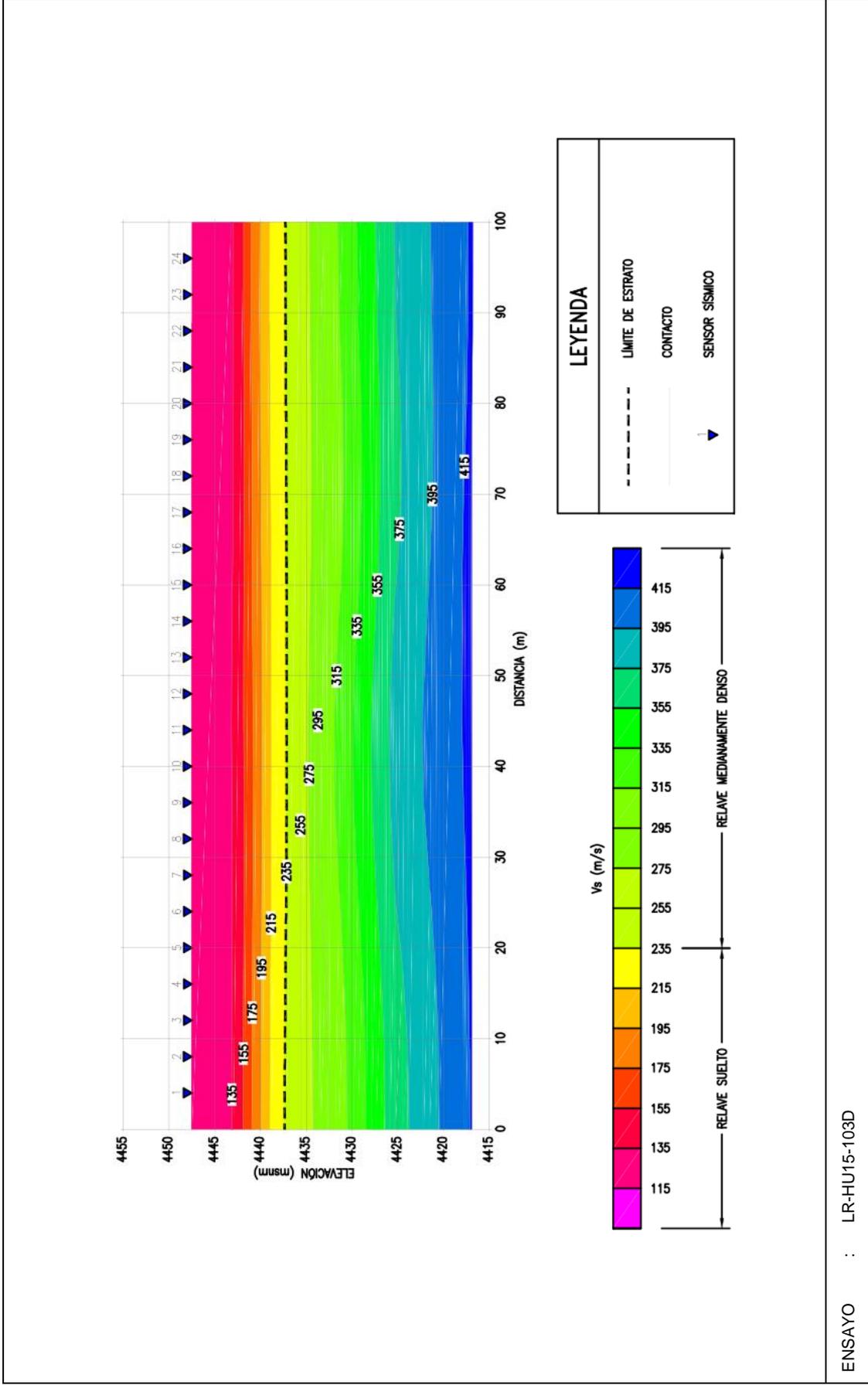
## **ANEXO C.2: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MASW2D - PERFILES SÍSMICOS VS**



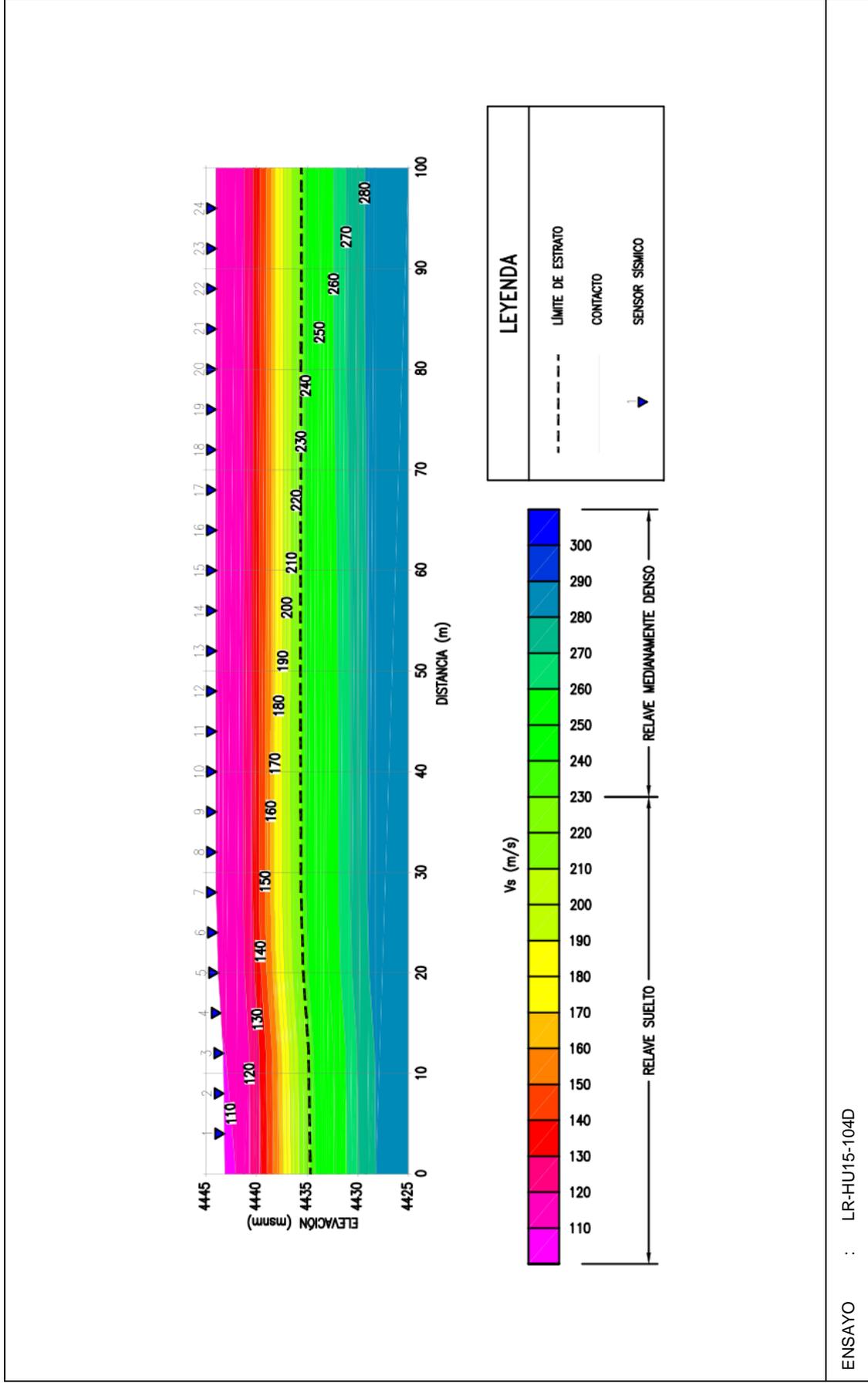
ENSAYO : MASW2D-HU15-101B



ENSAYO : LR-HU15-102B

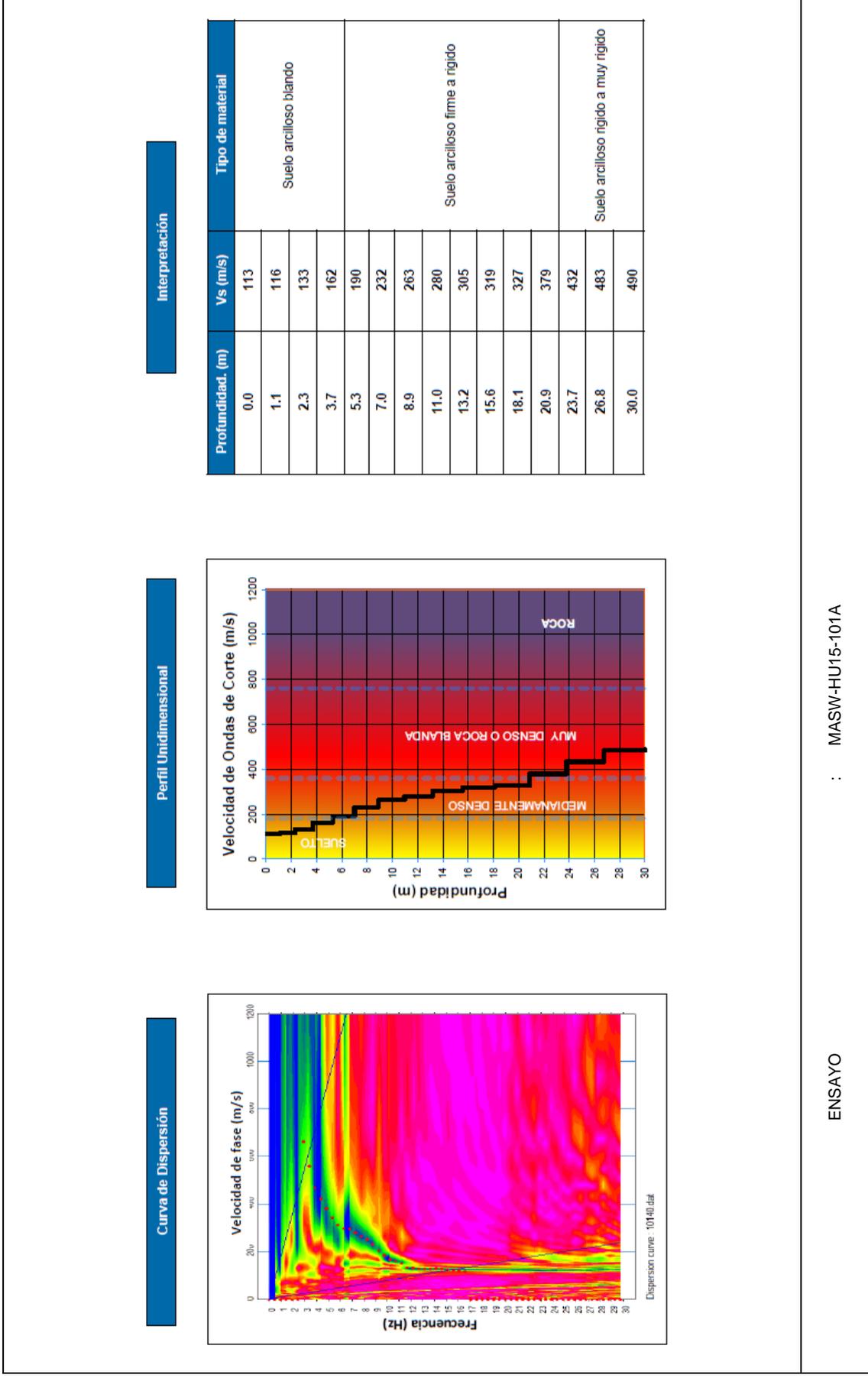


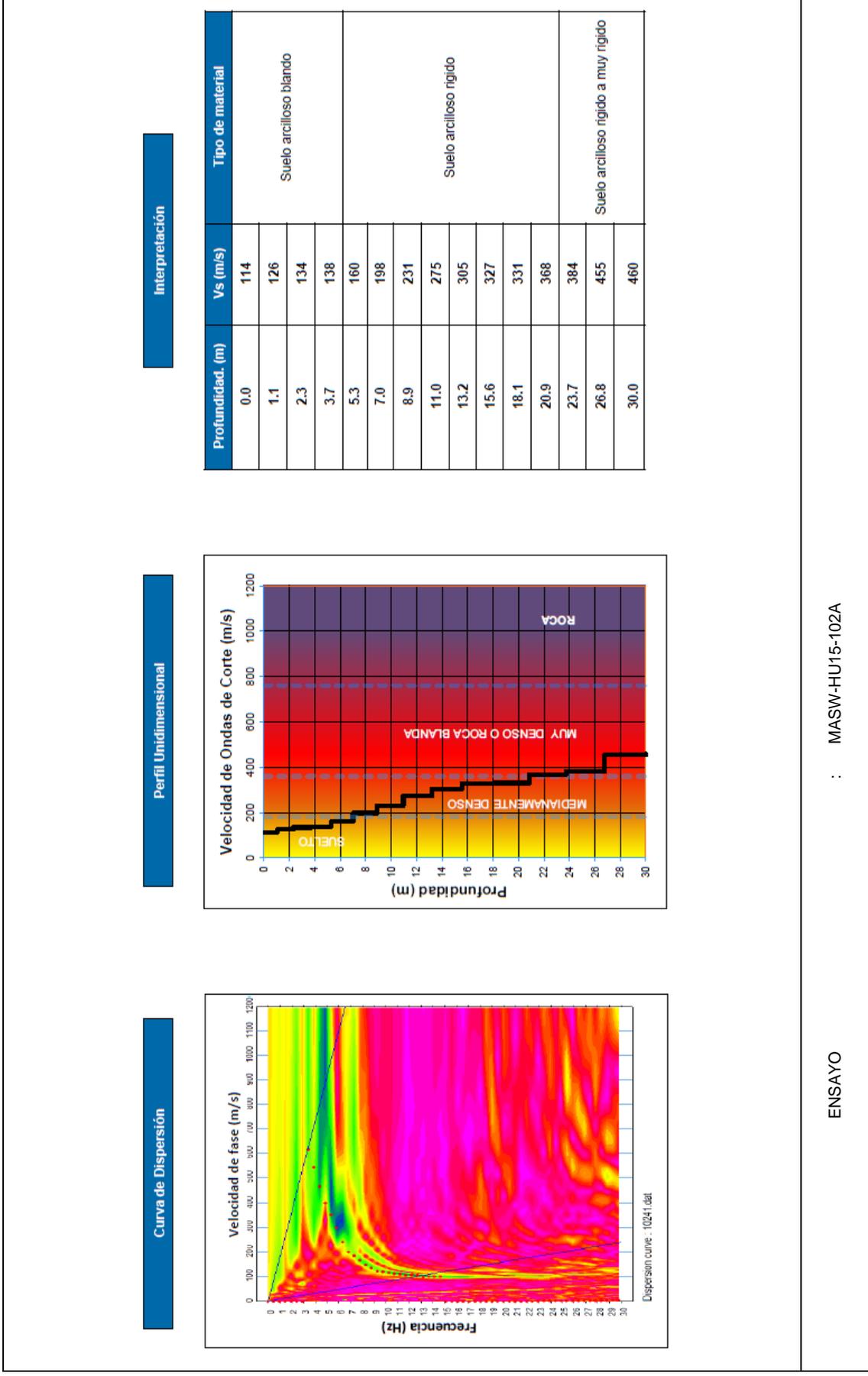
ENSAYO : LR-HU15-103D

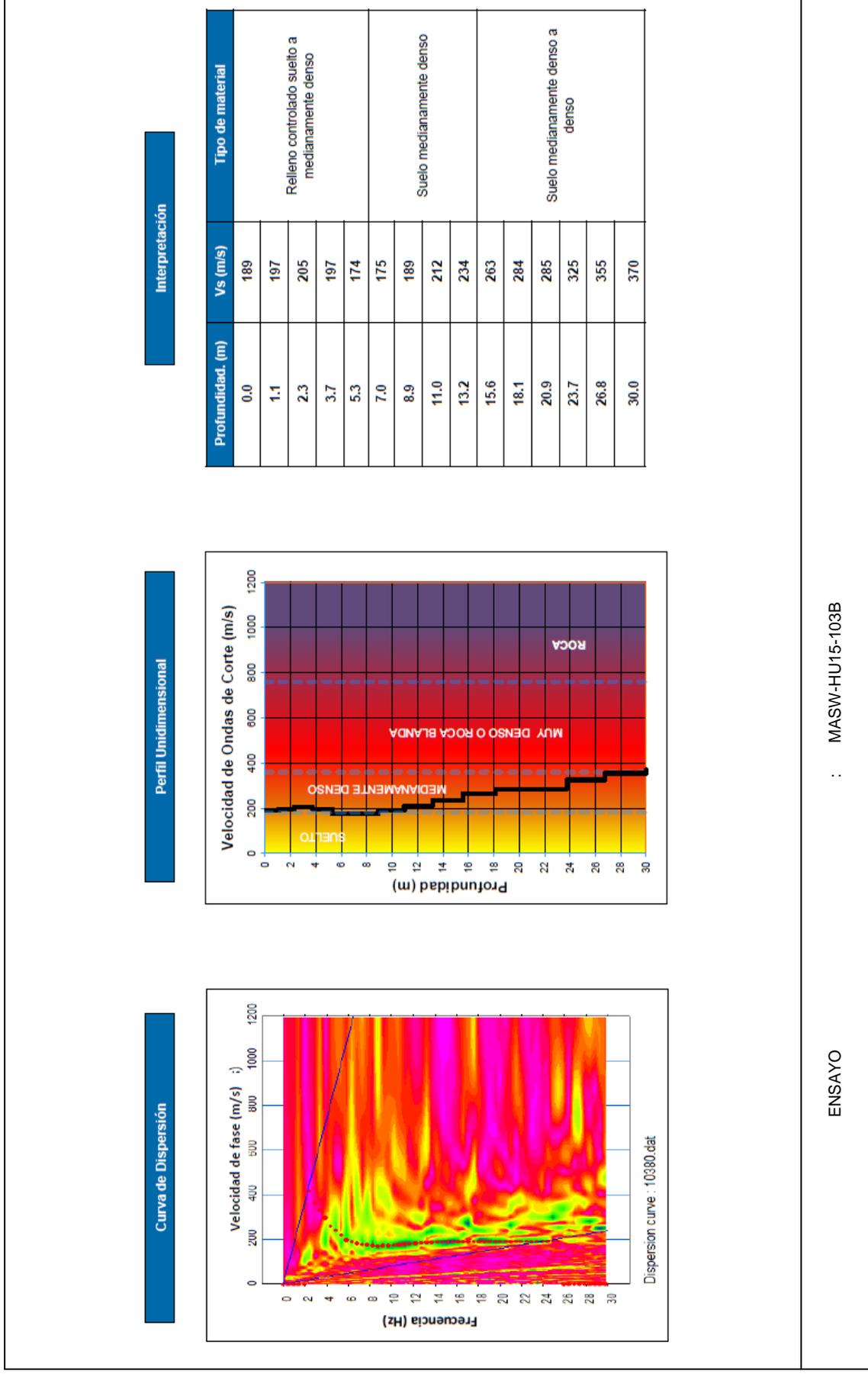


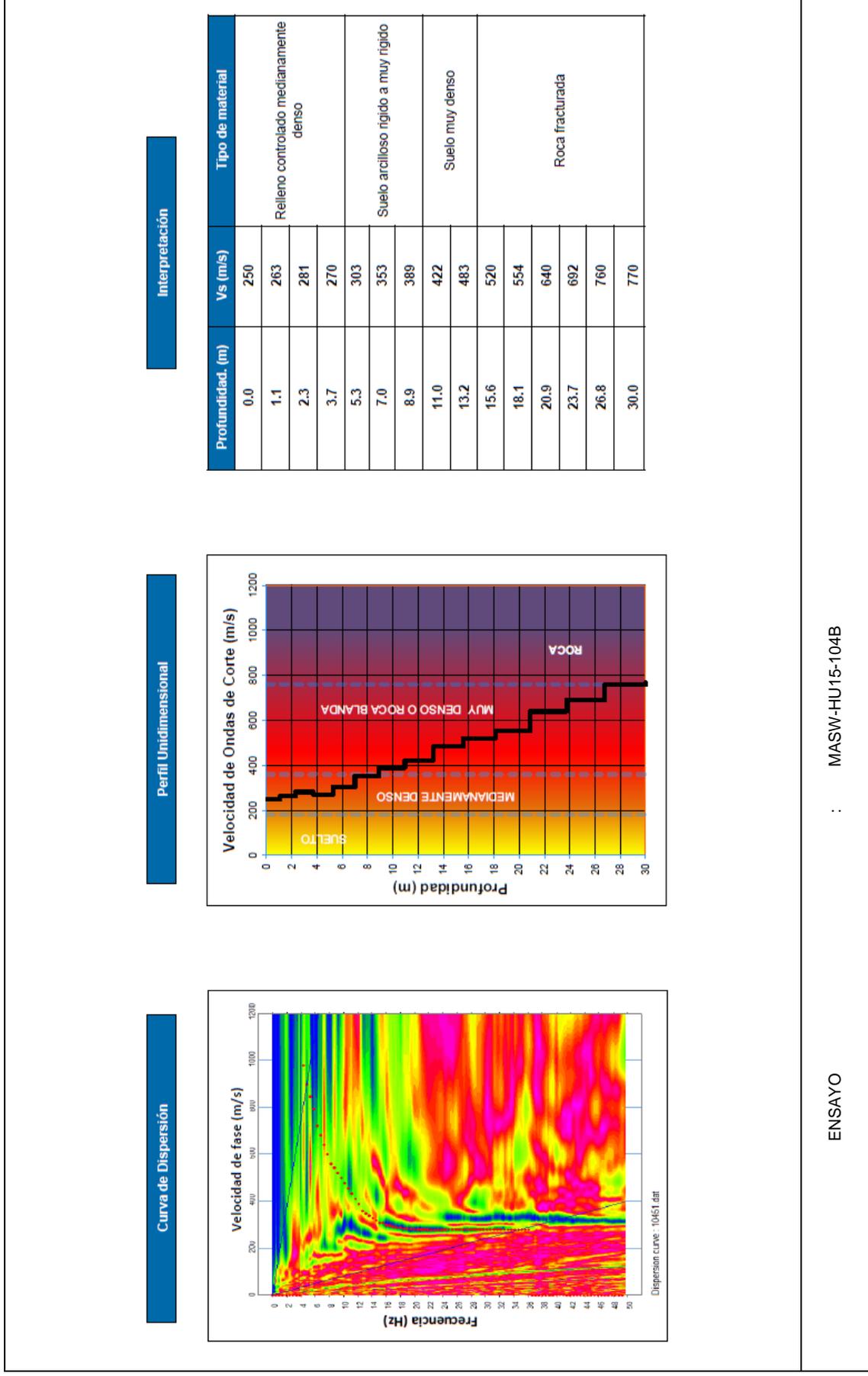
ENSAYO : LR-HU15-104D

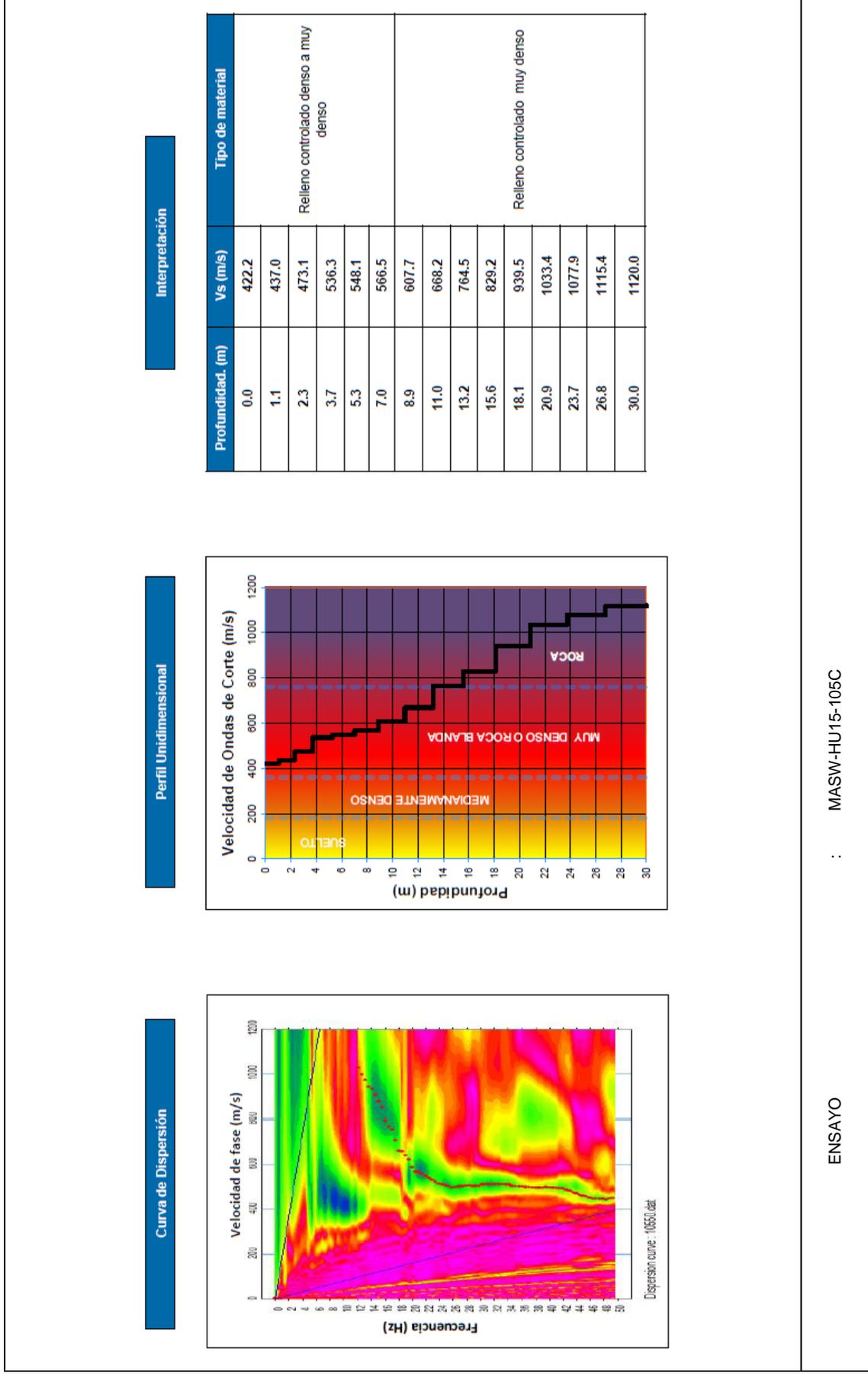
## **ANEXO C.3: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MASW1D - PERFILES SÍSMICOS VS**

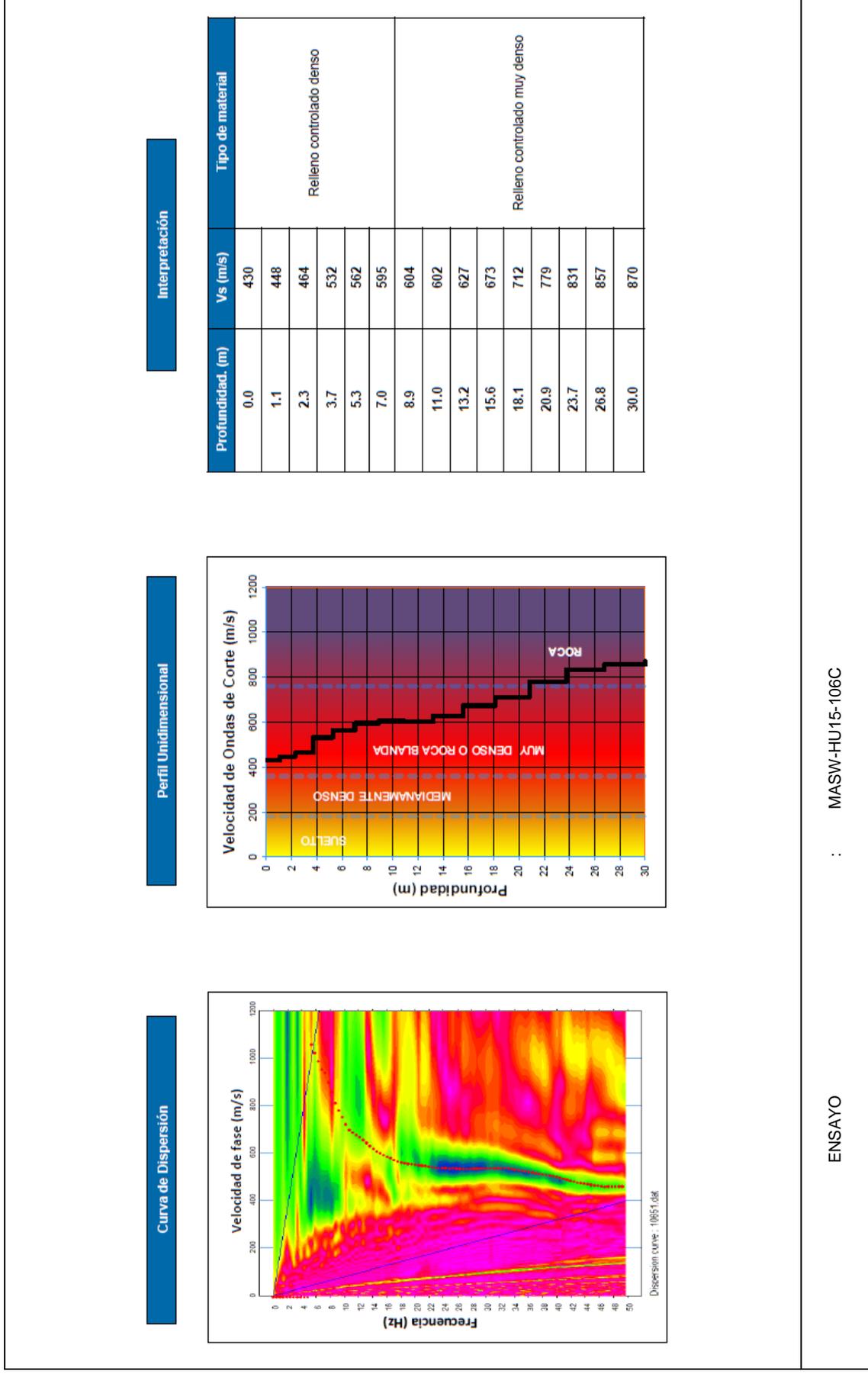


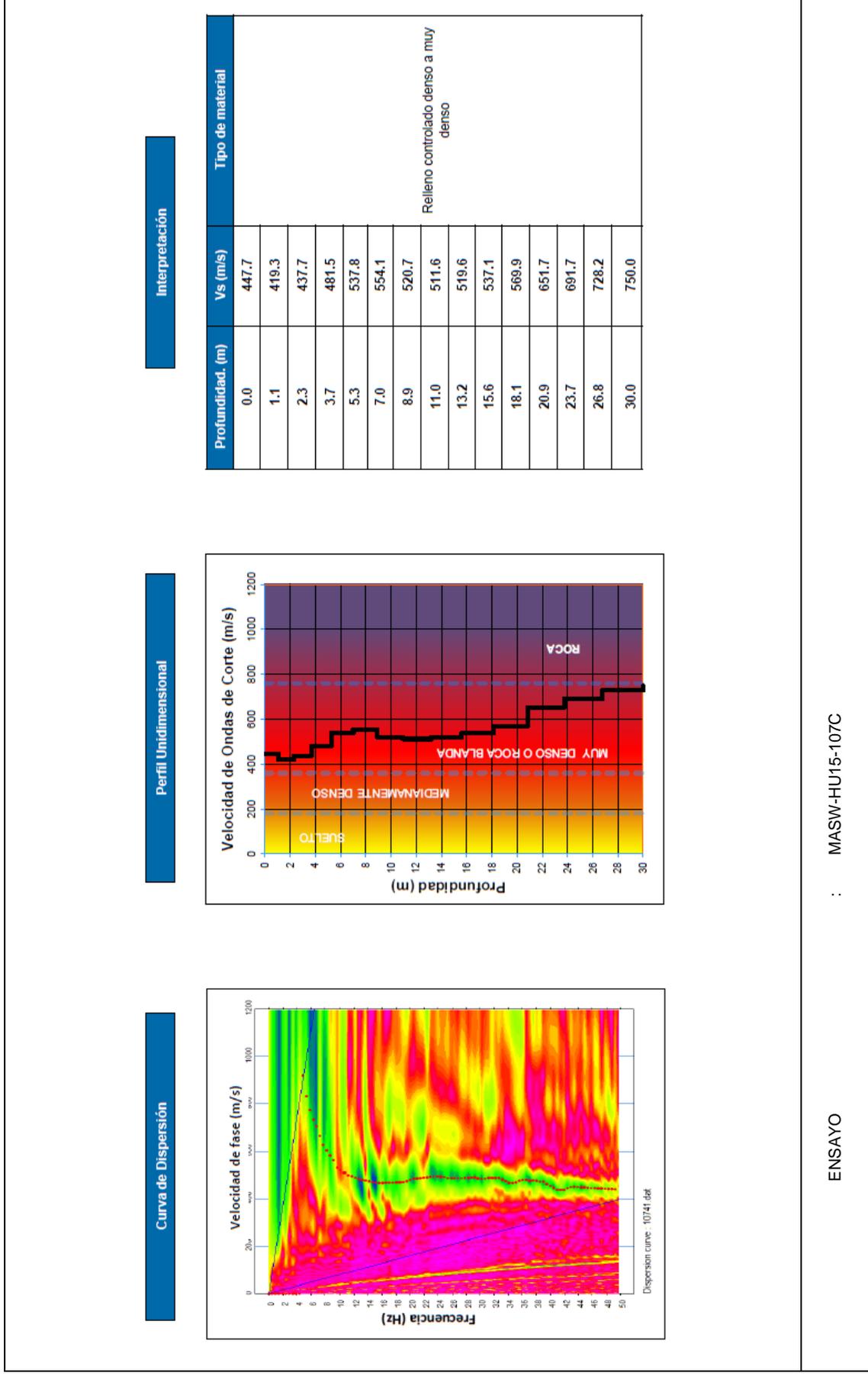


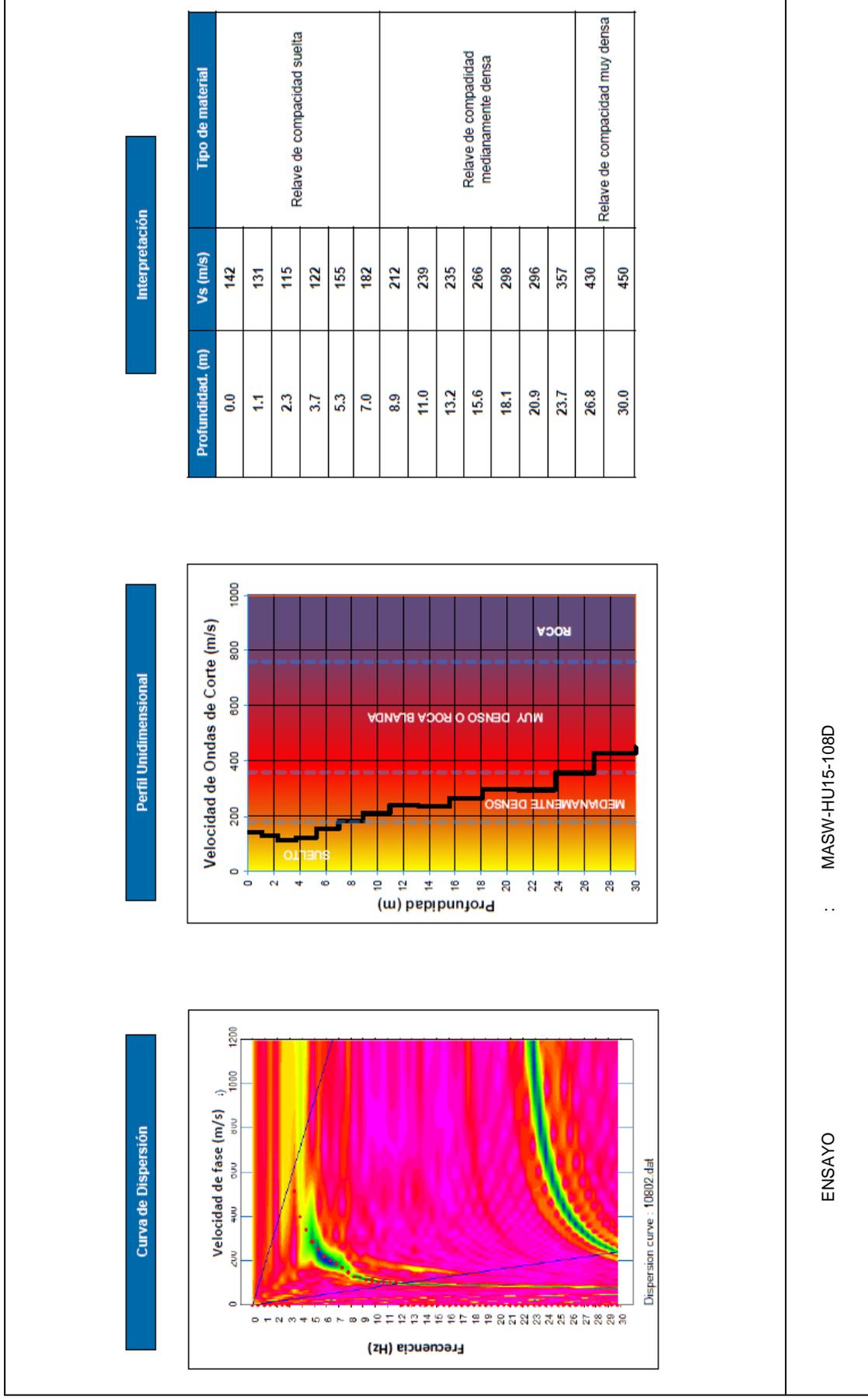




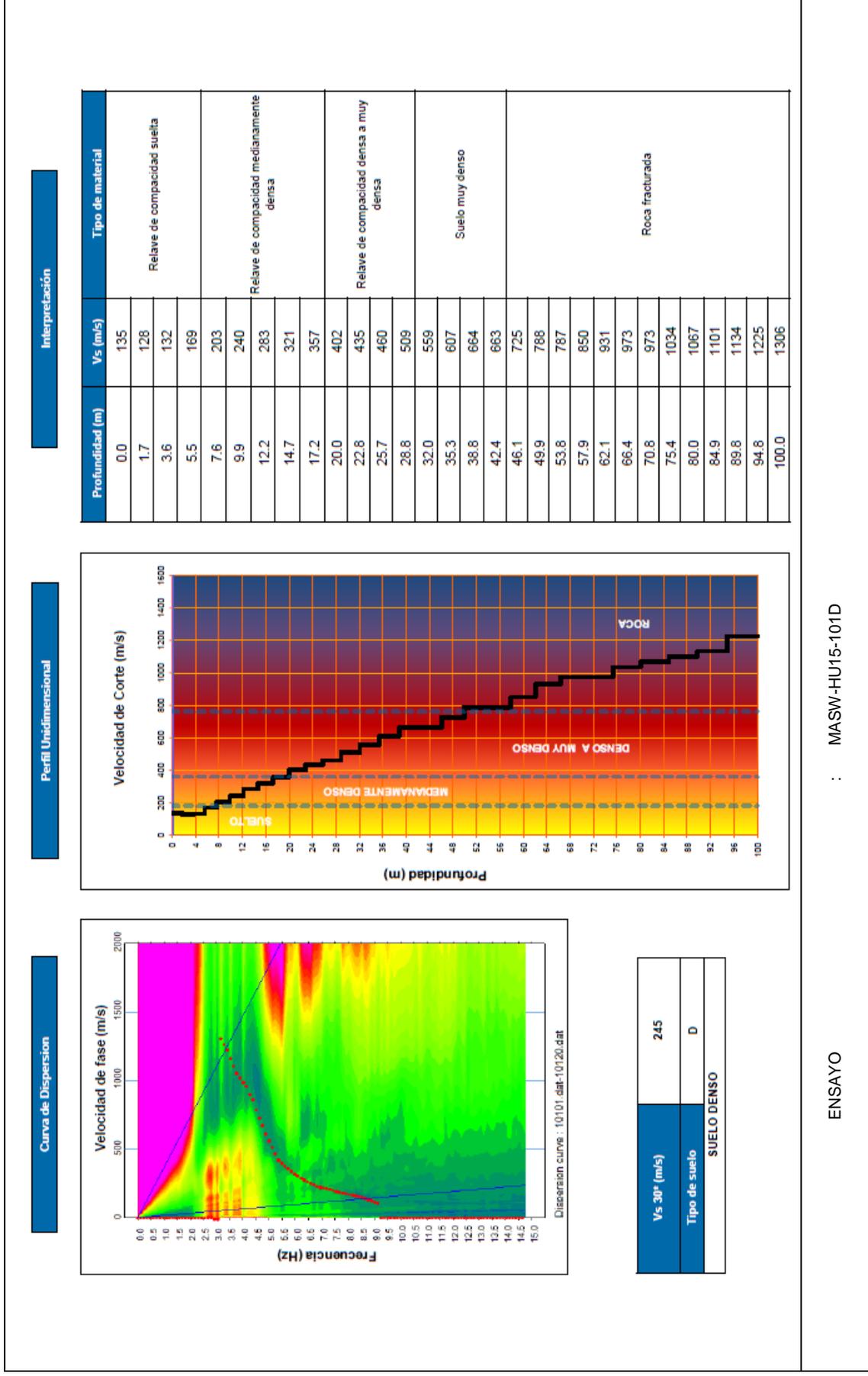


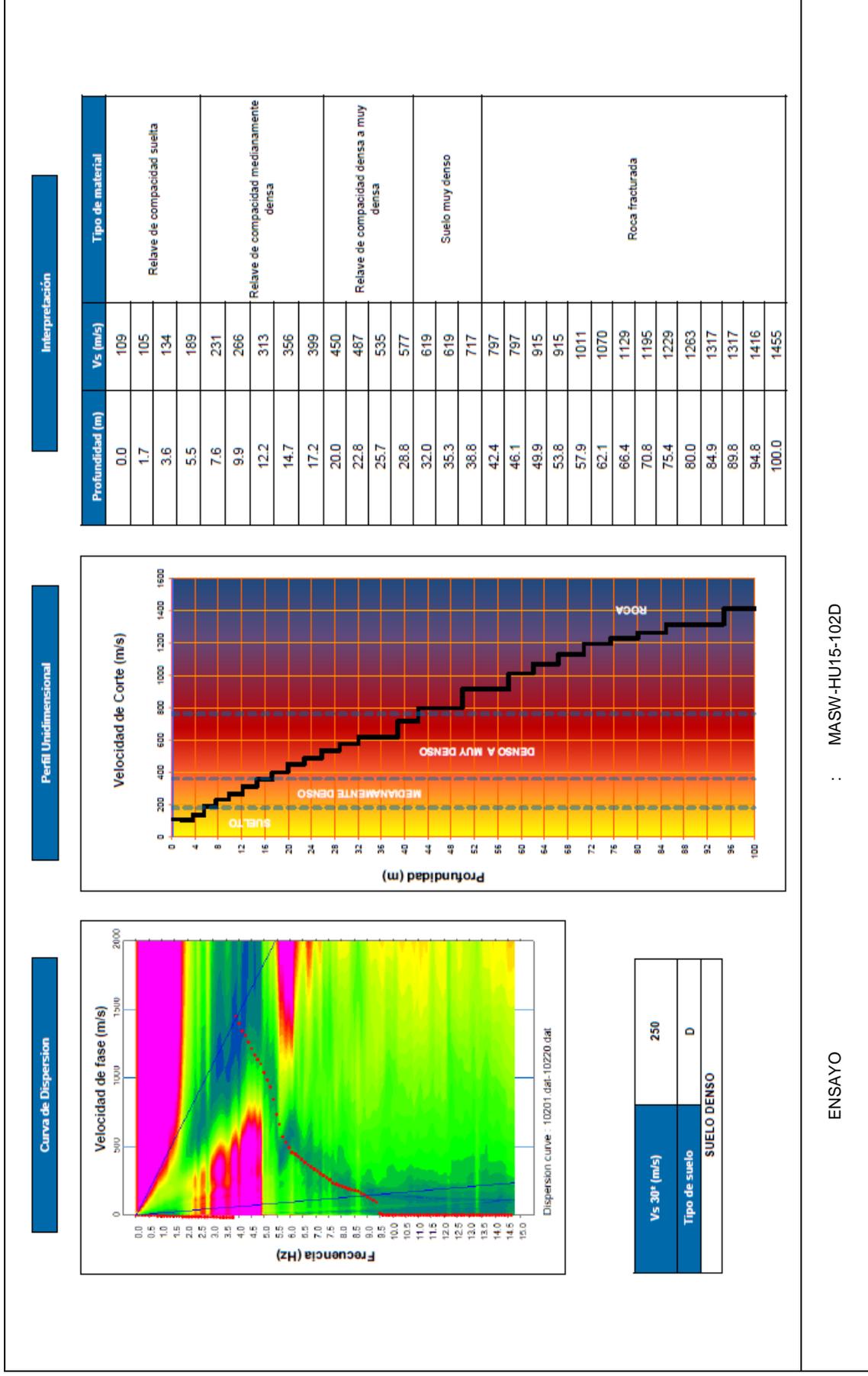


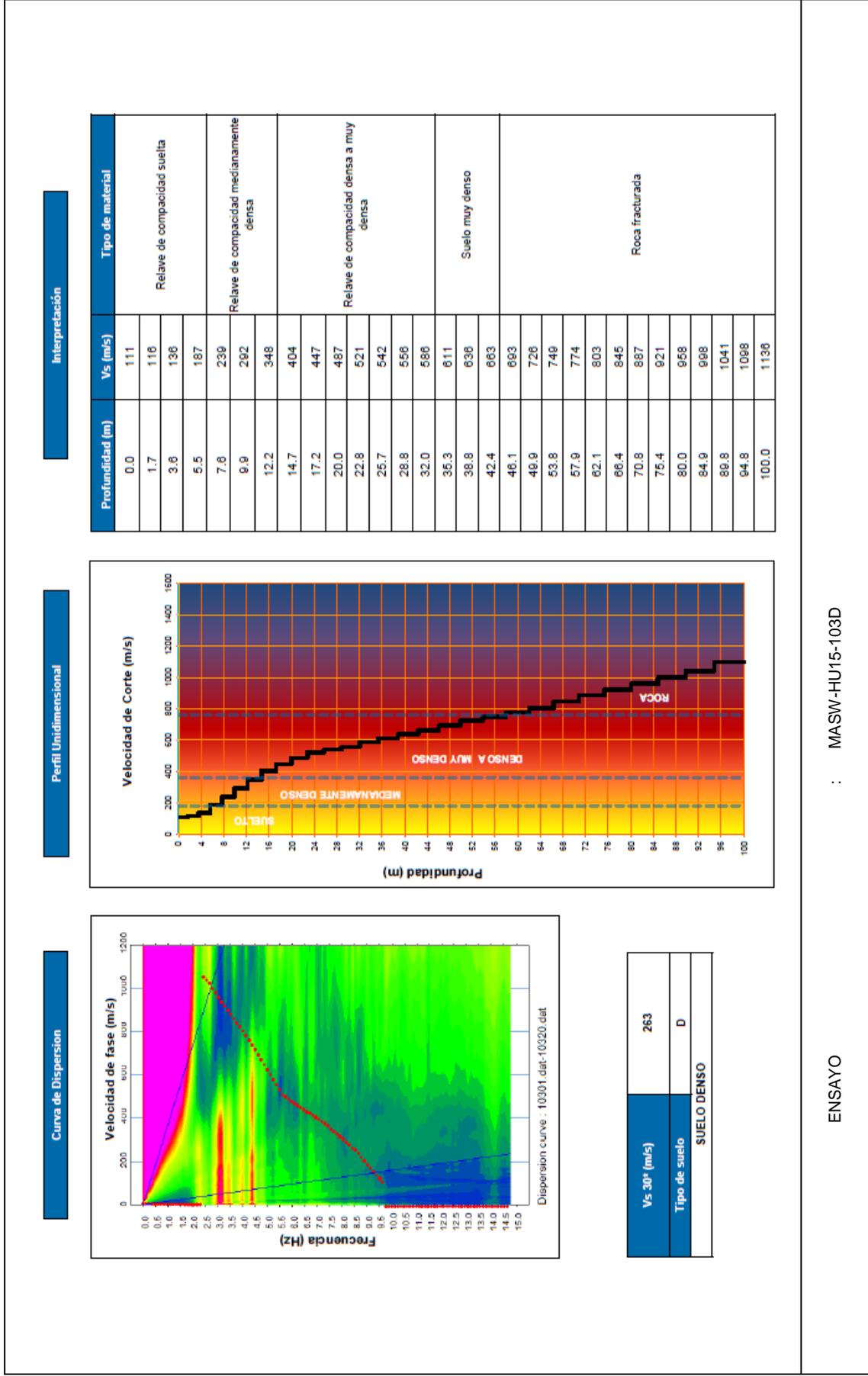


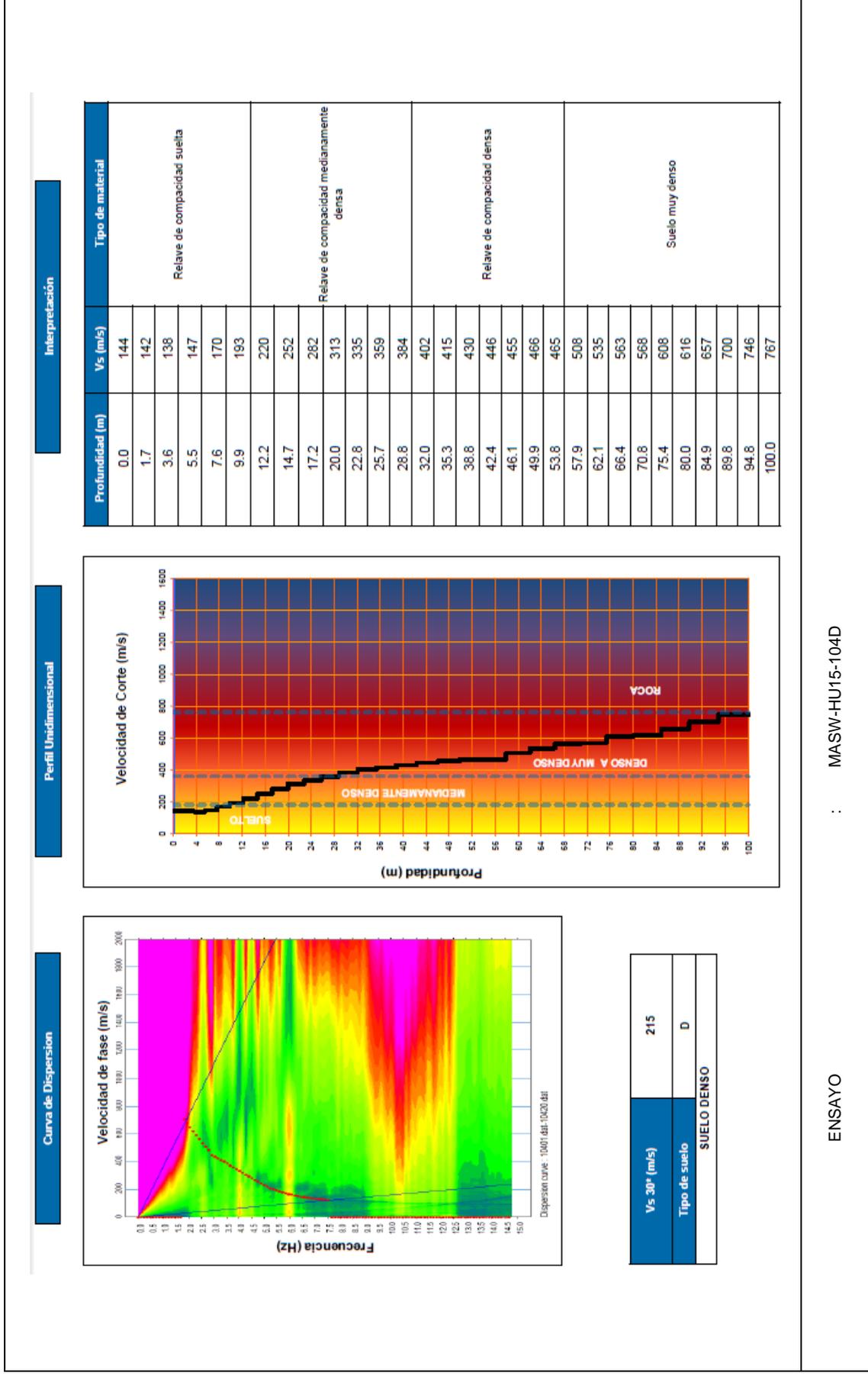


## **ANEXO C.4: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MAM - PERFILES SÍSMICOS VS**









## **ANEXO D: ENSAYOS DE LABORATORIO**

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

## LABORATORIO GEOTECNICO

Nombre del Proyecto

Cliente

Nº de Proyecto	Nº Informe de Lab	VP-151-09
Ubicación	Solicitado por	
Nº de muestra	Fecha	19-ago-09
Descripción	DH_H09-101 M-9 / 15,65-16,10 Shelby-1	

Estado : Inalterado

Clasificación: CL

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	10,48	9,19
Diámetro (cm)	4,53	4,04
Humedad (%)	54,90	48,59
Densidad seca (gr/cc)	1,032	2,289

Velocidad (pulg/min)	0,01
Parámetro "B"	0,97
Presión de celda kPa	676
Contra presión kPa	276
Esf. Efect. Inicial kPa	<b>400</b>

Deformación (%)	Esf. Dev. kPa	m kPa	s <sub>3</sub> kPa	s <sub>1</sub> kPa	p̄ kPa	q̄ kPa	q̄ / p̄	Oblicuidad (s <sub>1</sub> /s <sub>3</sub> )
0,00	0,00	0,00	400,00	400,00	400,00	0,00	0,00	1,00
0,04	98,36	11,72	388,28	486,64	437,46	49,18	0,11	1,25
0,09	116,32	29,65	370,35	486,67	428,51	58,16	0,14	1,31
0,18	173,29	49,64	350,36	523,65	437,00	86,65	0,20	1,49
0,31	223,84	68,95	331,05	554,89	442,97	111,92	0,25	1,68
0,44	251,49	86,18	313,82	565,30	439,56	125,74	0,29	1,80
0,66	285,01	113,07	286,93	571,94	429,43	142,51	0,33	1,99
0,88	298,12	130,31	269,69	567,81	418,75	149,06	0,36	2,11
1,10	312,20	146,86	253,14	565,34	409,24	156,10	0,38	2,23
1,32	320,05	159,96	240,04	560,10	400,07	160,03	0,40	2,33
1,53	326,17	173,75	226,25	552,42	389,34	163,08	0,42	2,44
1,75	332,25	183,40	216,60	548,85	382,72	166,12	0,43	2,53
2,19	340,25	202,02	197,98	538,24	368,11	170,13	0,46	2,72
2,63	347,84	217,18	182,82	530,65	356,73	173,92	0,49	2,90
3,07	350,97	227,53	172,47	523,45	347,96	175,49	0,50	3,03
3,51	353,40	236,49	163,51	516,91	340,21	176,70	0,52	3,16
3,95	356,12	244,07	155,93	512,04	333,98	178,06	0,53	3,28
4,39	361,12	250,97	149,03	510,15	329,59	180,56	0,55	3,42
5,26	361,42	259,24	140,76	502,17	321,47	180,71	0,56	3,57
6,14	363,92	259,93	140,07	503,99	322,03	181,96	0,57	3,60
7,02	360,85	269,59	130,41	491,26	310,84	180,42	0,58	3,77
7,89	344,68	268,90	131,10	475,78	303,44	172,34	0,57	3,63
8,77	323,38	266,14	133,86	457,24	295,55	161,69	0,55	3,42
9,65	307,43	266,14	133,86	441,29	287,58	153,72	0,53	3,30
10,53	295,46	266,14	133,86	429,32	281,59	147,73	0,52	3,21
11,40	283,04	264,76	135,24	418,28	276,76	141,52	0,51	3,09
12,28	274,77	264,07	135,93	410,70	273,32	137,38	0,50	3,02
13,27	267,46	262,69	137,31	404,77	271,04	133,73	0,49	2,95

Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.  
Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Realizado por:	Ingresado por:	Revisado por:	Fecha:
TBP	TOM	CSM	19-ago-09

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

**Consolidado - No drenado (CU)**

ASTM - D4767

**LABORATORIO GEOTECNICO**

Nombre del Project

Cliente

Nº de Proyecto	Nº Informe de Lab	VP-151-09
Ubicación	Solicitado por	
Nº de muestra	Fecha	19-ago-09
Descripción	Shelby-1	

Estado : Inalterado

Clasificación: **CL**

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	10,75	10,30
Diámetro (cm)	4,50	4,17
Humedad (%)	40,83	31,60
Densidad seca (gr/cc)	1,341	2,292

Velocidad (pulg/min)	0,01
Parámetro "B"	0,97
Presión de celda kPa	476
Contra presión kPa	276
Esf. Efect. Inicial kPa	<b>200</b>

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	m kPa	s <sub>3</sub> kPa	s <sub>1</sub> kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	$\bar{q} / \bar{p}$	Oblicuidad (s <sub>1</sub> /s <sub>3</sub> )
0,00	0,00	0,00	200,00	200,00	200,00	0,00	0,00	1,00
0,05	75,40	6,21	193,79	269,20	231,50	37,70	0,16	1,39
0,10	98,11	13,10	186,90	285,01	235,95	49,05	0,21	1,52
0,19	120,08	20,68	179,32	299,40	239,36	60,04	0,25	1,67
0,34	138,06	29,65	170,35	308,41	239,38	69,03	0,29	1,81
0,48	150,48	37,23	162,77	313,25	238,01	75,24	0,32	1,92
0,72	159,80	44,13	155,87	315,68	235,78	79,90	0,34	2,03
0,96	169,08	53,09	146,91	315,99	231,45	84,54	0,37	2,15
1,20	175,10	59,29	140,71	315,80	228,25	87,55	0,38	2,24
1,44	180,12	65,50	134,50	314,62	224,56	90,06	0,40	2,34
1,68	184,16	71,02	128,98	313,14	221,06	92,08	0,42	2,43
1,92	188,18	74,46	125,54	313,71	219,62	94,09	0,43	2,50
2,39	193,29	82,74	117,26	310,55	213,91	96,64	0,45	2,65
2,87	197,71	89,63	110,37	308,08	209,22	98,85	0,47	2,79
3,35	201,76	96,53	103,47	305,23	204,35	100,88	0,49	2,95
3,83	207,64	99,97	100,03	307,67	203,85	103,82	0,51	3,08
4,31	211,27	104,11	95,89	307,16	201,53	105,64	0,52	3,20
4,79	215,79	107,56	92,44	308,23	200,34	107,89	0,54	3,33
5,75	220,36	112,38	87,62	307,98	197,80	110,18	0,56	3,52
6,71	226,31	117,21	82,79	309,10	195,94	113,16	0,58	3,73
7,66	229,99	122,04	77,96	307,96	192,96	115,00	0,60	3,95
8,62	232,66	123,07	76,93	309,59	193,26	116,33	0,60	4,02
9,58	235,22	124,11	75,89	311,11	193,50	117,61	0,61	4,10
10,54	237,67	124,80	75,20	312,88	194,04	118,84	0,61	4,16
11,50	238,58	124,80	75,20	313,78	194,49	119,29	0,61	4,17
12,45	237,99	124,11	75,89	313,88	194,89	118,99	0,61	4,14
13,41	237,07	123,42	76,58	313,66	195,12	118,54	0,61	4,10
14,37	235,57	122,04	77,96	313,53	195,75	117,78	0,60	4,02

Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Realizado por:	Ingresado por:	Revisado por:	Fecha:
TBP	TOM	CSM	19-ago-09

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

## LABORATORIO GEOTECNICO

Nombre del Project

Cliente

Nº de Proyecto	Nº Informe de Lab	VP-151-09
Ubicación	Solicitado por	
Nº de muestra	Fecha	19-ago-09
Descripción	Shelby-1	

Estado : Inalterado

Clasificación: CL

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	10,53	10,30
Diámetro (cm)	4,70	4,40
Humedad (%)	45,93	33,44
Densidad seca (gr/cc)	1,303	2,221

Velocidad (pulg/min)	0,01
Parámetro "B"	0,97
Presión de celda kPa	376
Contra presión kPa	276
Esf. Efect. Inicial kPa	100

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	m kPa	$\bar{s}_3$ kPa	$\bar{s}_1$ kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	$\bar{q} / \bar{p}$	Oblicuidad ( $\bar{s}_1 / \bar{s}_3$ )
0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	1,00
0,05	75,52	6,21	93,79	169,32	131,56	37,76	0,29	1,81
0,10	86,02	15,86	84,14	170,16	127,15	43,01	0,34	2,02
0,20	90,61	18,62	81,38	171,99	126,69	45,30	0,36	2,11
0,34	97,19	21,37	78,63	175,81	127,22	48,59	0,38	2,24
0,49	102,87	24,82	75,18	178,05	126,62	51,44	0,41	2,37
0,73	108,15	29,65	70,35	178,50	124,43	54,07	0,43	2,54
0,98	113,10	33,78	66,22	179,31	122,77	56,55	0,46	2,71
1,22	117,16	35,85	64,15	181,31	122,73	58,58	0,48	2,83
1,47	118,89	39,30	60,70	179,59	120,14	59,44	0,49	2,96
1,71	122,62	41,37	58,63	181,26	119,94	61,31	0,51	3,09
1,96	125,19	44,82	55,18	180,37	117,78	62,60	0,53	3,27
2,44	129,42	47,57	52,43	181,85	117,14	64,71	0,55	3,47
2,93	133,32	50,33	49,67	182,99	116,33	66,66	0,57	3,68
3,42	136,04	53,09	46,91	182,96	114,93	68,02	0,59	3,90
3,91	137,61	54,47	45,53	183,14	114,34	68,80	0,60	4,02
4,40	139,99	55,85	44,15	184,14	114,15	69,99	0,61	4,17
4,89	142,61	57,23	42,77	185,39	114,08	71,31	0,63	4,33
5,87	145,01	58,61	41,39	186,40	113,90	72,50	0,64	4,50
6,84	147,32	59,98	40,02	187,34	113,68	73,66	0,65	4,68
7,82	150,63	60,67	39,33	189,96	114,64	75,32	0,66	4,83
8,80	152,24	60,67	39,33	191,57	115,45	76,12	0,66	4,87
9,78	151,14	61,36	38,64	189,77	114,20	75,57	0,66	4,91
10,76	148,71	61,36	38,64	187,35	112,99	74,36	0,66	4,85
11,73	145,02	61,36	38,64	183,65	111,15	72,51	0,65	4,75
12,71	141,37	61,36	38,64	180,00	109,32	70,68	0,65	4,66
13,69	138,27	60,67	39,33	177,59	108,46	69,13	0,64	4,52
14,67	135,95	60,67	39,33	175,28	107,30	67,97	0,63	4,46

Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Realizado por:	Ingresado por:	Revisado por:	Fecha:
TBP	TOM	CSM	19-ago-09

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

## LABORATORIO GEOTECNICO

Nombre del Project

Cliente

Nº de Proyecto

Nº Informe de Lab

VP-151-09

Ubicación

Solicitado por

Nº de muestra DH\_H09-101 M-9 / 15,65-16,10

Fecha

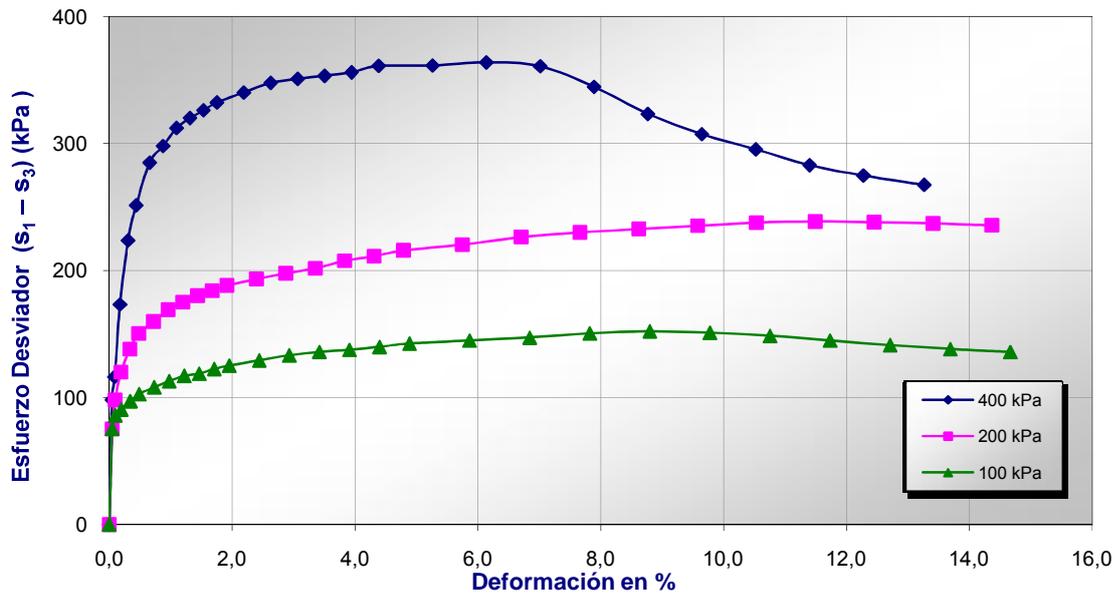
19-ago-09

Descripción Shelby-1

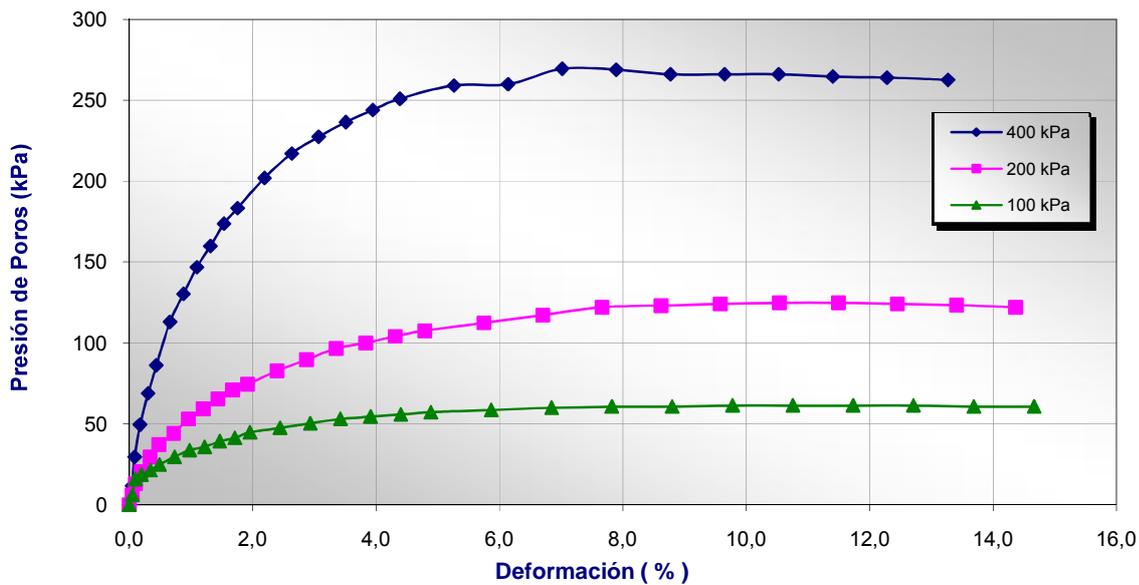
Estado : Inalterado

Clasificación : CL

### ESFUERZO vs. DEFORMACIÓN



### PRESIÓN DE POROS vs. DEFORMACIÓN



Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

Fecha:

TBP

TOM

CSM

19-ago-09

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

## LABORATORIO GEOTECNICO

Nombre del Project

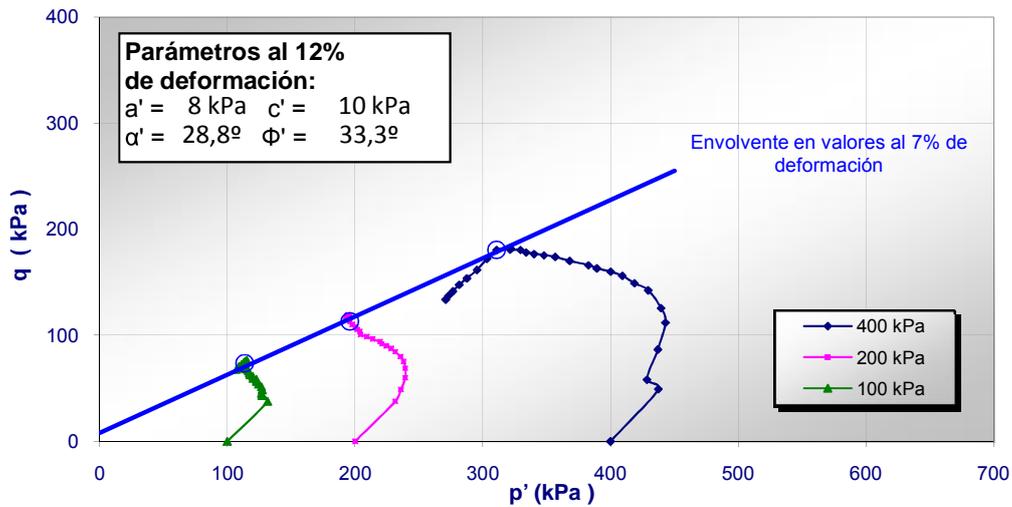
Cliente

Nº de Proyecto	Nº Informe de Lab	VP-151-09
Ubicación	Solicitado por	
Nº de muestra	Fecha	19-ago-09
Descripción	Shelby-1	

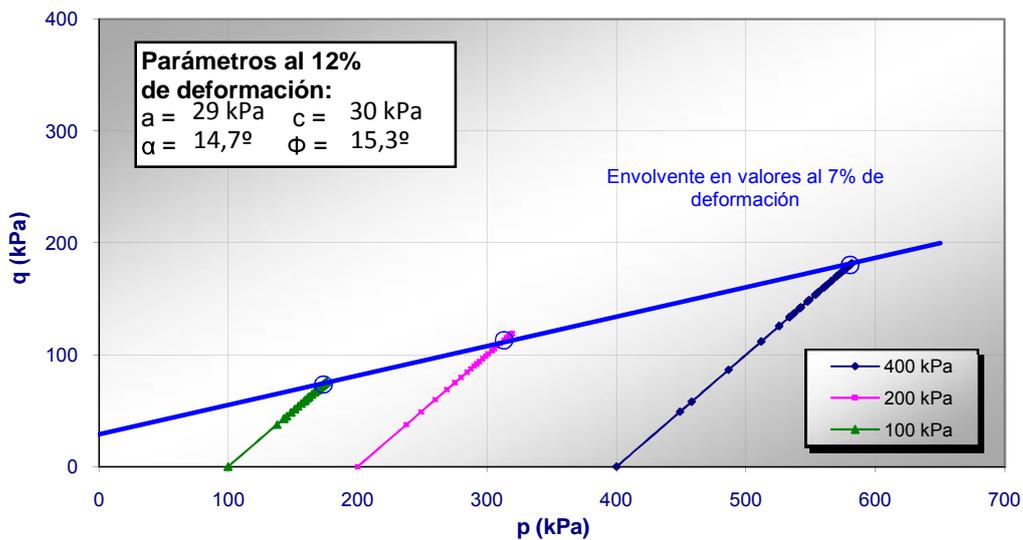
Estado : Inalterado

Clasificación : CL

### TRAYECTORIA DE ESFUERZOS



### p vs. q



#### Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Realizado por:	Ingresado por:	Revisado por:	Fecha:
TBP	TOM	CSM	19-ago-09

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

**LABORATORIO GEOTECNICO**

Nombre del Proyecto

Cliente

Nº de Proyecto	Nº Informe de Lab	VP-151-09
Ubicación	Solicitado por	
Nº de muestra	Fecha	19-ago-09
Descripción	Shelby-4	

Estado : Inalterado

Clasificación: CH

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	10,85	10,01
Diámetro (cm)	4,58	4,09
Humedad (%)	60,08	35,63
Densidad seca (gr/cc)	1,106	2,412

Velocidad (pulg/min)	0,01
Parámetro "B"	0,97
Presión de celda kPa	676
Contra presión kPa	276
Esf. Efect. Inicial kPa	<b>400</b>

Deformación (%)	Esf. Dev. kPa	m kPa	s <sub>3</sub> kPa	s <sub>1</sub> kPa	p̄ kPa	q̄ kPa	q̄ / p̄	Oblicuidad (s <sub>1</sub> /s <sub>3</sub> )
0,00	0,00	0,00	400,00	400,00	400,00	0,00	0,00	1,00
0,05	100,36	20,68	379,32	479,68	429,50	50,18	0,12	1,26
0,09	130,14	46,88	353,12	483,26	418,19	65,07	0,16	1,37
0,18	175,73	63,43	336,57	512,30	424,43	87,87	0,21	1,52
0,32	204,23	76,53	323,47	527,70	425,58	102,11	0,24	1,63
0,46	229,27	90,32	309,68	538,95	424,31	114,63	0,27	1,74
0,69	261,41	113,07	286,93	548,34	417,63	130,71	0,31	1,91
0,92	280,30	131,00	269,00	549,30	409,15	140,15	0,34	2,04
1,15	289,04	140,65	259,35	548,38	403,87	144,52	0,36	2,11
1,38	301,41	164,78	235,22	536,62	385,92	150,70	0,39	2,28
1,61	320,73	176,51	223,49	544,22	383,86	160,36	0,42	2,44
1,85	321,31	179,95	220,05	541,36	380,70	160,65	0,42	2,46
2,31	333,39	195,81	204,19	537,58	370,88	166,69	0,45	2,63
2,77	340,39	207,53	192,47	532,86	362,66	170,19	0,47	2,77
3,23	348,62	218,56	181,44	530,06	355,75	174,31	0,49	2,92
3,69	354,15	226,84	173,16	527,31	350,24	177,07	0,51	3,05
4,15	359,60	235,11	164,89	524,49	344,69	179,80	0,52	3,18
4,61	365,32	242,70	157,30	522,62	339,96	182,66	0,54	3,32
5,54	371,72	257,17	142,83	514,54	328,68	185,86	0,57	3,60
6,46	377,29	260,62	139,38	516,67	328,02	188,64	0,58	3,71
7,38	380,79	266,14	133,86	514,66	324,26	190,40	0,59	3,84
8,30	386,64	271,65	128,35	514,99	321,67	193,32	0,60	4,01
9,23	385,22	275,10	124,90	510,12	317,51	192,61	0,61	4,08
10,15	384,25	276,25	123,75	508,00	315,87	192,12	0,61	4,11
11,07	383,22	277,40	122,60	505,82	314,21	191,61	0,61	4,13
11,99	382,13	278,55	121,45	503,58	312,52	191,07	0,61	4,15
12,92	378,42	277,86	122,14	500,56	311,35	189,21	0,61	4,10
13,84	375,58	276,48	123,52	499,10	311,31	187,79	0,60	4,04

Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.  
 Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Realizado por:	Ingresado por:	Revisado por:	Fecha:
TBP	TOM	CSM	19-ago-09

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

**Consolidado - No drenado (CU)**

ASTM - D4767

**LABORATORIO GEOTECNICO**

Nombre del Project

Cliente

Nº de Proyecto	Nº Informe de Lab	VP-151-09
Ubicación	Solicitado por	
Nº de muestra	Fecha	19-ago-09
Descripción	Shelby-4	

Estado : Inalterado

Clasificación: CH

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	10,87	9,88
Diámetro (cm)	4,59	4,14
Humedad (%)	94,72	63,41
Densidad seca (gr/cc)	0,797	2,101

Velocidad (pulg/min)	0,01
Parámetro "B"	0,97
Presión de celda kPa	476
Contra presión kPa	276
Esf. Efect. Inicial kPa	<b>200</b>

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	m kPa	s <sub>3</sub> kPa	s <sub>1</sub> kPa	p̄ kPa	q̄ kPa	q̄ / p̄	Oblicuidad (s <sub>1</sub> /s <sub>3</sub> )
0,00	0,00	0,00	200,00	200,00	200,00	0,00	0,00	1,00
0,05	93,99	10,34	189,66	283,65	236,65	46,99	0,20	1,50
0,09	122,06	20,68	179,32	301,38	240,35	61,03	0,25	1,68
0,18	148,72	31,72	168,28	317,00	242,64	74,36	0,31	1,88
0,32	175,91	46,19	153,81	329,72	241,76	87,96	0,36	2,14
0,45	194,46	59,29	140,71	335,16	237,93	97,23	0,41	2,38
0,68	211,11	71,02	128,98	340,10	234,54	105,56	0,45	2,64
0,91	220,80	80,67	119,33	340,13	229,73	110,40	0,48	2,85
1,14	228,80	90,32	109,68	338,48	224,08	114,40	0,51	3,09
1,36	232,52	93,77	106,23	338,75	222,49	116,26	0,52	3,19
1,59	237,53	99,28	100,72	338,24	219,48	118,76	0,54	3,36
1,82	242,83	104,80	95,20	338,03	216,61	121,41	0,56	3,55
2,27	249,15	113,07	86,93	336,07	211,50	124,57	0,59	3,87
2,73	250,89	117,90	82,10	332,99	207,54	125,44	0,60	4,06
3,18	252,92	120,66	79,34	332,26	205,80	126,46	0,61	4,19
3,64	254,60	123,42	76,58	331,19	203,89	127,30	0,62	4,32
4,09	260,39	128,24	71,76	332,15	201,95	130,19	0,64	4,63
4,55	262,63	130,31	69,69	332,32	201,00	131,32	0,65	4,77
5,45	268,89	135,83	64,17	333,07	198,62	134,45	0,68	5,19
6,36	271,27	139,27	60,73	331,99	196,36	135,63	0,69	5,47
7,27	273,24	141,34	58,66	331,90	195,28	136,62	0,70	5,66
8,18	275,53	142,72	57,28	332,81	195,04	137,76	0,71	5,81
9,09	277,71	144,10	55,90	333,61	194,76	138,86	0,71	5,97
10,00	279,80	145,48	54,52	334,33	194,42	139,90	0,72	6,13
10,91	276,98	146,17	53,83	330,81	192,32	138,49	0,72	6,15
11,82	274,44	146,17	53,83	328,28	191,05	137,22	0,72	6,10
12,73	271,33	146,86	53,14	324,47	188,80	135,66	0,72	6,11
13,64	268,50	145,48	54,52	323,02	188,77	134,25	0,71	5,92

Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Realizado por:	Ingresado por:	Revisado por:	Fecha:
TBP	TOM	CSM	19-ago-09

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

**LABORATORIO GEOTECNICO**

Nombre del Project

Cliente

Nº de Proyecto	Nº Informe de Lab	VP-151-09
Ubicación	Solicitado por	
Nº de muestra	Fecha	19-ago-09
Descripción	Shelby-4	

Estado : Inalterado

Clasificación: CH

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	11,03	10,49
Diámetro (cm)	4,56	4,01
Humedad (%)	59,52	48,57
Densidad seca (gr/cc)	1,056	2,288

Velocidad (pulg/min)	0,01
Parámetro "B"	0,97
Presión de celda kPa	376
Contra presión kPa	276
Esf. Efect. Inicial kPa	100

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	m kPa	$\bar{s}_3$ kPa	$\bar{s}_1$ kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	$\bar{q} / \bar{p}$	Oblicuidad ( $\bar{s}_1 / \bar{s}_3$ )
0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	1,00
0,05	70,34	7,58	92,42	162,76	127,59	35,17	0,28	1,76
0,09	82,96	12,41	87,59	170,55	129,07	41,48	0,32	1,95
0,18	96,94	16,55	83,45	180,39	131,92	48,47	0,37	2,16
0,32	106,98	22,75	77,25	184,22	130,74	53,49	0,41	2,38
0,46	116,99	27,58	72,42	189,41	130,91	58,49	0,45	2,62
0,68	125,11	33,78	66,22	191,32	128,77	62,55	0,49	2,89
0,91	130,75	37,92	62,08	192,83	127,45	65,37	0,51	3,11
1,14	137,06	42,75	57,25	194,31	125,78	68,53	0,54	3,39
1,37	139,86	45,51	54,49	194,36	124,43	69,93	0,56	3,57
1,59	142,66	47,57	52,43	195,08	123,75	71,33	0,58	3,72
1,82	146,82	50,33	49,67	196,49	123,08	73,41	0,60	3,96
2,28	153,01	53,78	46,22	199,24	122,73	76,51	0,62	4,31
2,73	157,09	57,23	42,77	199,87	121,32	78,55	0,65	4,67
3,19	162,15	59,98	40,02	202,16	121,09	81,07	0,67	5,05
3,64	166,13	62,05	37,95	204,08	121,01	83,07	0,69	5,38
4,10	169,74	64,12	35,88	205,61	120,75	84,87	0,70	5,73
4,55	175,31	65,50	34,50	209,81	122,15	87,66	0,72	6,08
5,46	181,29	68,26	31,74	213,03	122,39	90,64	0,74	6,71
6,37	184,81	69,64	30,36	215,18	122,77	92,41	0,75	7,09
7,28	188,89	70,33	29,67	218,56	124,12	94,44	0,76	7,37
8,19	192,85	71,02	28,98	221,83	125,41	96,42	0,77	7,65
9,10	196,37	71,71	28,29	224,67	126,48	98,19	0,78	7,94
10,01	198,21	71,02	28,98	227,19	128,09	99,10	0,77	7,84
10,93	201,84	71,02	28,98	230,83	129,91	100,92	0,78	7,96
11,84	201,95	70,33	29,67	231,62	130,65	100,98	0,77	7,81
12,75	201,40	68,95	31,05	232,45	131,75	100,70	0,76	7,49
13,66	203,25	67,57	32,43	235,68	134,06	101,62	0,76	7,27

Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Realizado por:	Ingresado por:	Revisado por:	Fecha:
TBP	TOM	CSM	19-ago-09

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

## LABORATORIO GEOTECNICO

Nombre del Project

Cliente

Nº de Proyecto

Nº Informe de Lab

VP-151-09

Ubicación

Solicitado por

Nº de muestra DH\_H09-104 M-11 / 13.00-13.45

Fecha

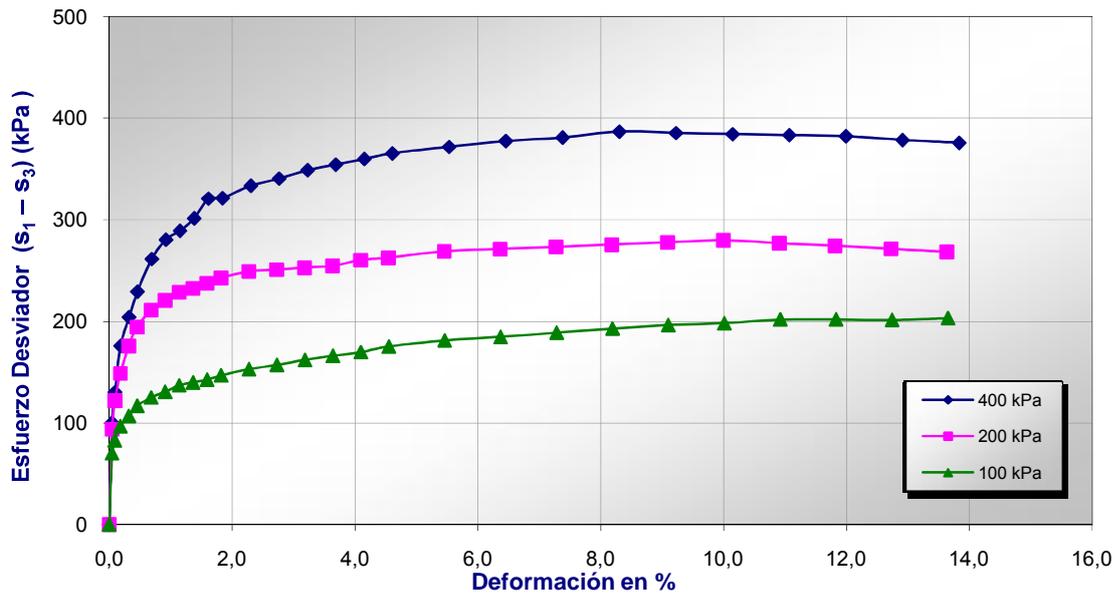
19-ago-09

Descripción Shelby-4

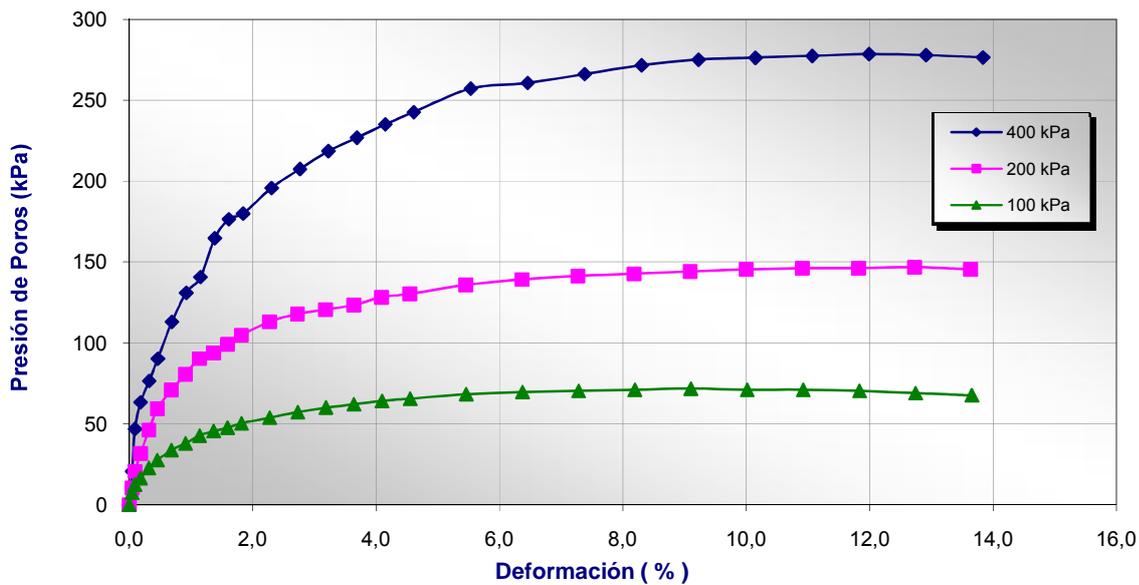
Estado : Inalterado

Clasificación : CH

### ESFUERZO vs. DEFORMACIÓN



### PRESIÓN DE POROS vs. DEFORMACIÓN



Realizado por:

TBP

Ingresado por:

TOM

Revisado por:

CSM

Fecha:

19-ago-09

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

## LABORATORIO GEOTECNICO

Nombre del Project

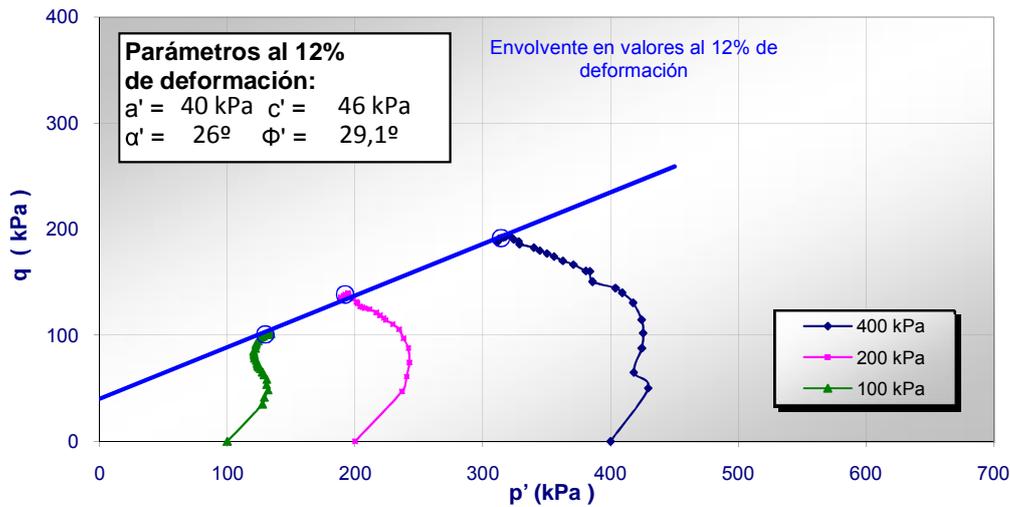
Cliente

Nº de Proyecto	Nº Informe de Lab	VP-151-09
Ubicación	Solicitado por	
Nº de muestra	Fecha	19-ago-09
Descripción		

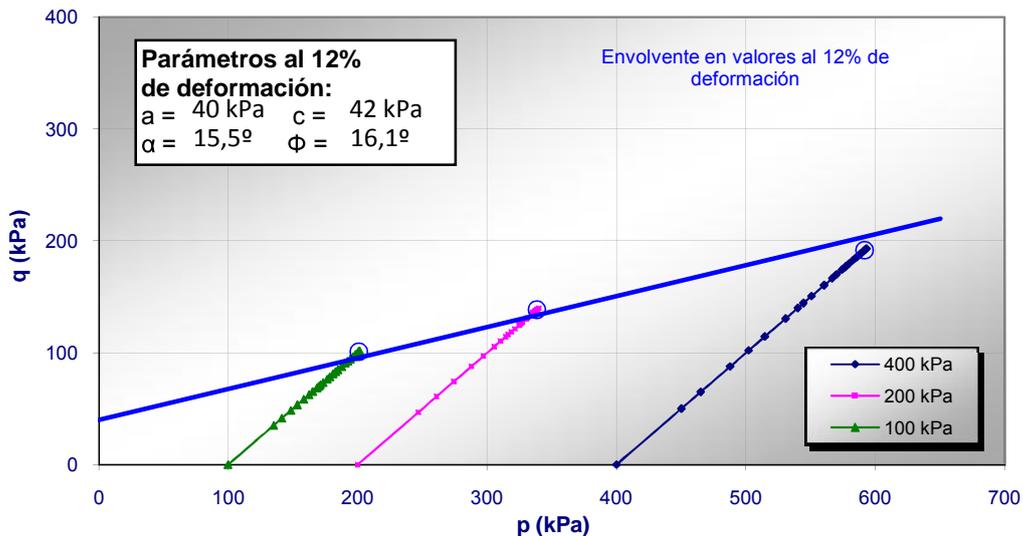
Estado : Inalterado

Clasificación : CH

### TRAYECTORIA DE ESFUERZOS



### p vs. q



#### Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Realizado por:	Ingresado por:	Revisado por:	Fecha:
TBP	TOM	CSM	19-ago-09

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

## LABORATORIO GEOTECNICO

Nombre del Proyecto

Cliente

Nº de Proyecto	Nº Informe de Lab	VP-151-09
Ubicación	Solicitado por	
Nº de muestra	Fecha	19-ago-09
Descripción	Shelby-1	

Estado : Inalterado

Clasificación: **SC-SM**

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	10,28	10,17
Diámetro (cm)	4,68	4,48
Humedad (%)	14,76	13,47
Densidad seca (gr/cc)	2,007	2,540

Velocidad (pulg/min)	0,01
Parámetro "B"	0,97
Presión de celda kPa	676
Contra presión kPa	276
Esf. Efect. Inicial kPa	<b>400</b>

Deformación (%)	Esf. Dev. kPa	m kPa	s <sub>3</sub> kPa	s <sub>1</sub> kPa	p̄ kPa	q̄ kPa	q̄ / p̄	Oblicuidad (s <sub>1</sub> /s <sub>3</sub> )
0,00	0,00	0,00	400,00	400,00	400,00	0,00	0,00	1,00
0,05	95,91	6,89	393,11	489,02	441,06	47,96	0,11	1,24
0,10	169,17	19,31	380,69	549,87	465,28	84,59	0,18	1,44
0,20	216,33	46,88	353,12	569,44	461,28	108,16	0,23	1,61
0,35	347,36	112,38	287,62	634,97	461,29	173,68	0,38	2,21
0,49	405,81	144,10	255,90	661,71	458,81	202,91	0,44	2,59
0,74	474,00	184,78	215,22	689,22	452,22	237,00	0,52	3,20
0,99	532,62	209,60	190,40	723,02	456,71	266,31	0,58	3,80
1,24	564,74	218,22	181,78	746,52	464,15	282,37	0,61	4,11
1,48	596,69	226,84	173,16	769,85	471,51	298,34	0,63	4,45
1,73	624,31	228,91	171,09	795,41	483,25	312,16	0,65	4,65
1,98	671,15	229,60	170,40	841,56	505,98	335,58	0,66	4,94
2,47	725,29	226,15	173,85	899,15	536,50	362,65	0,68	5,17
2,97	782,96	219,25	180,75	963,71	572,23	391,48	0,68	5,33
3,46	858,52	206,84	193,16	1051,68	622,42	429,26	0,69	5,44
3,96	924,87	195,12	204,88	1129,75	667,31	462,44	0,69	5,51
4,45	946,00	187,54	212,46	1158,46	685,46	473,00	0,69	5,45
4,95	1028,28	171,68	228,32	1256,60	742,46	514,14	0,69	5,50
5,94	1129,61	145,48	254,52	1384,13	819,33	564,81	0,69	5,44
6,93	1169,47	132,38	267,62	1437,10	852,36	584,74	0,69	5,37
7,92	1245,92	108,94	291,06	1536,99	914,02	622,96	0,68	5,28
8,91	1295,27	88,94	311,06	1606,32	958,69	647,63	0,68	5,16
9,90	1341,46	70,33	329,67	1671,14	1000,41	670,73	0,67	5,07
10,89	1397,41	46,19	353,81	1751,21	1052,51	698,70	0,66	4,95
11,88	1431,88	27,58	372,42	1804,30	1088,36	715,94	0,66	4,84
12,87	1450,48	13,10	386,90	1837,38	1112,14	725,24	0,65	4,75
13,85	1483,12	-8,96	408,96	1892,08	1150,52	741,56	0,64	4,63
14,84	1480,26	-13,79	413,79	1894,05	1153,92	740,13	0,64	4,58

Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.  
Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Realizado por:	Ingresado por:	Revisado por:	Fecha:
TBP	TOM	CSM	19-ago-09

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

**Consolidado - No drenado (CU)**

ASTM - D4767

**LABORATORIO GEOTECNICO**

Nombre del Project

Cliente

Nº de Proyecto	Nº Informe de Lab	VP-151-09
Ubicación	Solicitado por	
Nº de muestra	Fecha	19-ago-09
Descripción	Shelby-1	

Estado : Inalterado

Clasificación: **SC-SM**

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	10,91	10,75
Diámetro (cm)	4,69	4,57
Humedad (%)	12,16	15,87
Densidad seca (gr/cc)	2,187	2,625

Velocidad (pulg/min)	0,01
Parámetro "B"	0,97
Presión de celda kPa	476
Contra presión kPa	276
Esf. Efect. Inicial kPa	<b>200</b>

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	m kPa	s <sub>3</sub> kPa	s <sub>1</sub> kPa	p̄ kPa	q̄ kPa	q̄ / p̄	Oblicuidad (s <sub>1</sub> /s <sub>3</sub> )
0,00	0,00	0,00	200,00	200,00	200,00	0,00	0,00	1,00
0,05	63,48	6,89	193,11	256,59	224,85	31,74	0,14	1,33
0,10	131,24	22,75	177,25	308,49	242,87	65,62	0,27	1,74
0,20	156,57	33,09	166,91	323,48	245,19	78,29	0,32	1,94
0,34	195,56	59,29	140,71	336,27	238,49	97,78	0,41	2,39
0,49	210,94	74,46	125,54	336,47	231,00	105,47	0,46	2,68
0,74	233,04	92,39	107,61	340,65	224,13	116,52	0,52	3,17
0,99	252,35	105,49	94,51	346,86	220,69	126,18	0,57	3,67
1,23	275,85	116,52	83,48	359,33	221,40	137,93	0,62	4,30
1,48	288,27	122,04	77,96	366,23	222,10	144,13	0,65	4,70
1,72	317,42	124,80	75,20	392,63	233,92	158,71	0,68	5,22
1,97	318,22	126,86	73,14	391,36	232,25	159,11	0,69	5,35
2,46	338,86	128,93	71,07	409,93	240,50	169,43	0,70	5,77
2,96	357,17	128,93	71,07	428,23	249,65	178,58	0,72	6,03
3,45	383,13	127,55	72,45	455,58	264,01	191,57	0,73	6,29
3,94	391,08	126,86	73,14	464,22	268,68	195,54	0,73	6,35
4,43	414,76	124,80	75,20	489,96	282,58	207,38	0,73	6,52
4,93	430,43	122,73	77,27	507,70	292,49	215,21	0,74	6,57
5,91	462,23	117,90	82,10	544,33	313,21	231,11	0,74	6,63
6,90	482,66	114,45	85,55	568,20	326,88	241,33	0,74	6,64
7,88	501,55	111,01	88,99	590,55	339,77	250,78	0,74	6,64
8,87	518,45	110,32	89,68	608,13	348,91	259,22	0,74	6,78
9,85	540,00	104,80	95,20	635,20	365,20	270,00	0,74	6,67
10,84	559,03	102,04	97,96	656,98	377,47	279,51	0,74	6,71
11,82	572,71	99,97	100,03	672,74	386,38	286,36	0,74	6,73
12,81	580,75	98,60	101,40	682,15	391,78	290,37	0,74	6,73
13,79	593,60	97,22	102,78	696,39	399,59	296,80	0,74	6,78
14,78	608,10	95,84	104,16	712,26	408,21	304,05	0,74	6,84

Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.  
 Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Realizado por:	Ingresado por:	Revisado por:	Fecha:
TBP	TOM	CSM	19-ago-09

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

## LABORATORIO GEOTECNICO

Nombre del Project

Cliente

Nº de Proyecto

Nº Informe de Lab

VP-151-09

Ubicación

Solicitado por

Nº de muestra **DH\_H09-107 M-7 / 18.65-19.25**

Fecha

19-ago-09

Descripción **Shelby-1**

Estado : Inalterado

Clasificación: **SC-SM**

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	11,17	10,90
Diámetro (cm)	4,51	4,41
Humedad (%)	15,71	18,06
Densidad seca (gr/cc)	2,135	2,642

Velocidad (pulg/min)	0,01
Parámetro "B"	0,97
Presión de celda kPa	376
Contra presión kPa	276
Esf. Efect. Inicial kPa	<b>100</b>

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	m kPa	$\bar{s}_3$ kPa	$\bar{s}_1$ kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	$\bar{q} / \bar{p}$	Oblicuidad ( $\bar{s}_1/\bar{s}_3$ )
0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	1,00
0,05	48,52	6,21	93,79	142,32	118,06	24,26	0,21	1,52
0,10	69,70	13,10	86,90	156,60	121,75	34,85	0,29	1,80
0,20	107,35	25,51	74,49	181,84	128,16	53,67	0,42	2,44
0,34	125,44	35,16	64,84	190,28	127,56	62,72	0,49	2,93
0,49	135,09	42,06	57,94	193,03	125,49	67,55	0,54	3,33
0,73	147,75	51,02	48,98	196,73	122,85	73,87	0,60	4,02
0,98	155,16	55,16	44,84	200,00	122,42	77,58	0,63	4,46
1,22	161,38	58,61	41,39	202,77	122,08	80,69	0,66	4,90
1,46	170,43	59,98	40,02	210,45	125,23	85,22	0,68	5,26
1,71	178,01	60,67	39,33	217,34	128,33	89,01	0,69	5,53
1,95	179,85	61,36	38,64	218,49	128,56	89,92	0,70	5,65
2,44	193,42	61,36	38,64	232,05	135,35	96,71	0,71	6,01
2,93	201,76	60,67	39,33	241,09	140,21	100,88	0,72	6,13
3,42	213,66	58,61	41,39	255,06	148,23	106,83	0,72	6,16
3,90	218,45	57,23	42,77	261,22	152,00	109,22	0,72	6,11
4,39	227,90	55,85	44,15	272,05	158,10	113,95	0,72	6,16
4,88	233,10	54,47	45,53	278,63	162,08	116,55	0,72	6,12
5,86	248,22	51,71	48,29	296,51	172,40	124,11	0,72	6,14
6,83	262,17	48,26	51,74	313,90	182,82	131,08	0,72	6,07
7,81	273,89	45,51	54,49	328,39	191,44	136,95	0,72	6,03
8,79	285,84	42,06	57,94	343,78	200,86	142,92	0,71	5,93
9,76	292,23	40,68	59,32	351,55	205,43	146,11	0,71	5,93
10,74	301,52	37,92	62,08	363,60	212,84	150,76	0,71	5,86
11,71	313,11	35,85	64,15	377,26	220,70	156,55	0,71	5,88
12,69	318,02	34,47	65,53	383,55	224,54	159,01	0,71	5,85
13,67	323,00	33,09	66,91	389,90	228,40	161,50	0,71	5,83
14,64	327,54	31,03	68,97	396,51	232,74	163,77	0,70	5,75

Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

Fecha:

TBP

TOM

CSM

19-ago-09

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

## LABORATORIO GEOTECNICO

Nombre del Project

Cliente

Nº de Proyecto

Nº Informe de Lab

VP-151-09

Ubicación

Solicitado por

Nº de muestra DH\_H09-107 M-7 / 18.65-19.25

Fecha

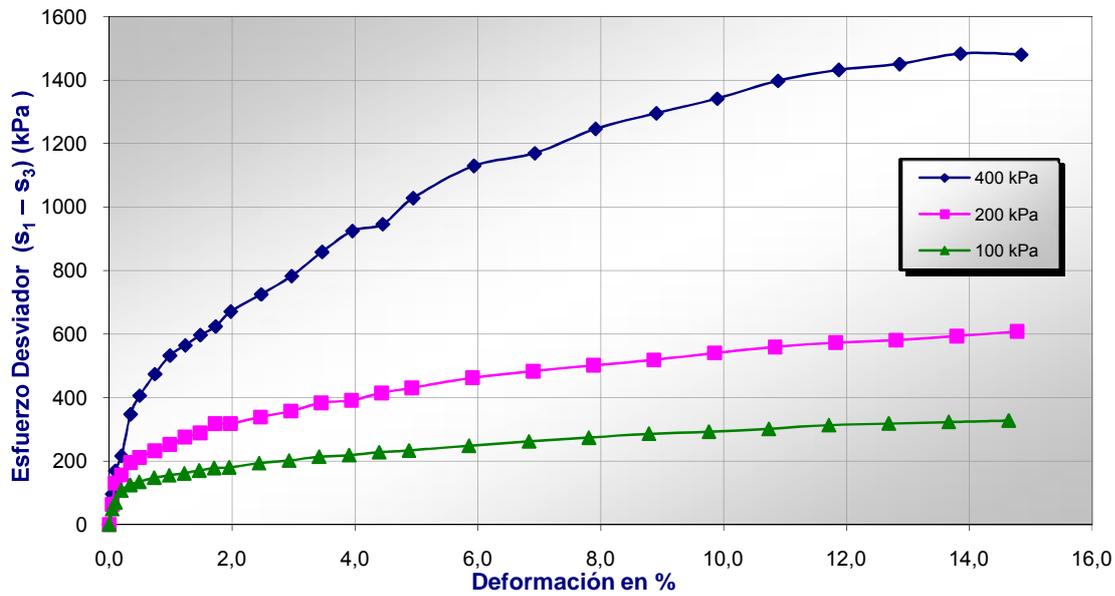
19-ago-09

Descripción Shelby-1

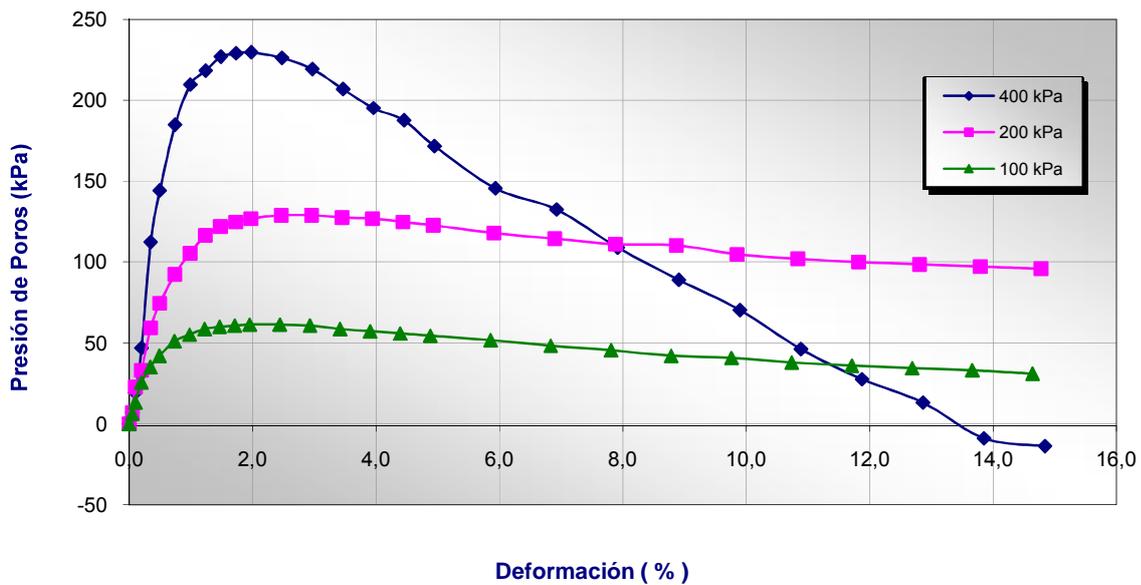
Estado : Inalterado

Clasificación : SC-SM

### ESFUERZO vs. DEFORMACIÓN



### PRESIÓN DE POROS vs. DEFORMACIÓN



Realizado por:

TBP

Ingresado por:

TOM

Revisado por:

CSM

Fecha:

19-ago-09

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

## LABORATORIO GEOTECNICO

Nombre del Project

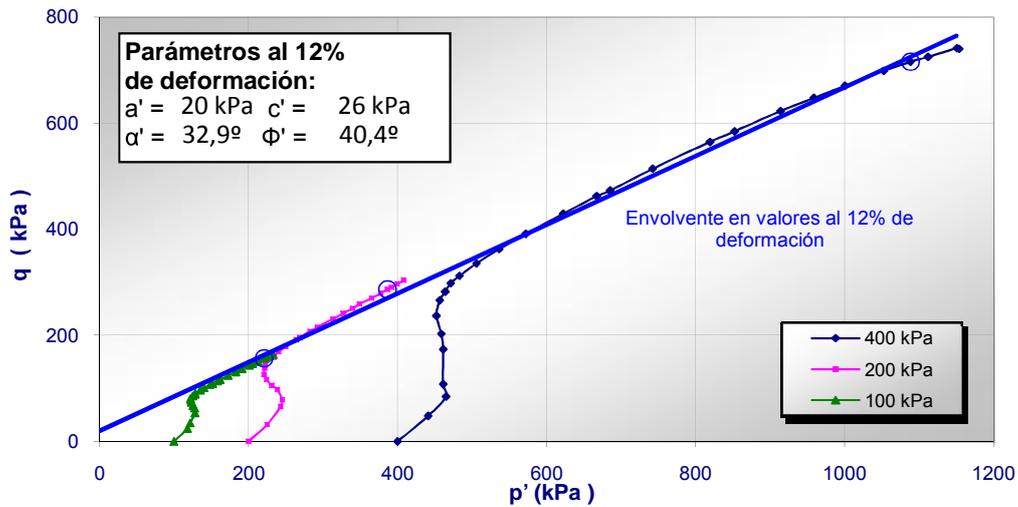
Cliente

Nº de Proyecto		Nº Informe de Lab	VP-151-09
Ubicación		Solicitado por	
Nº de muestra	DH_H09-107 M-7 / 18.65-19.25	Fecha	19-ago-09
Descripción	Shelby-1		

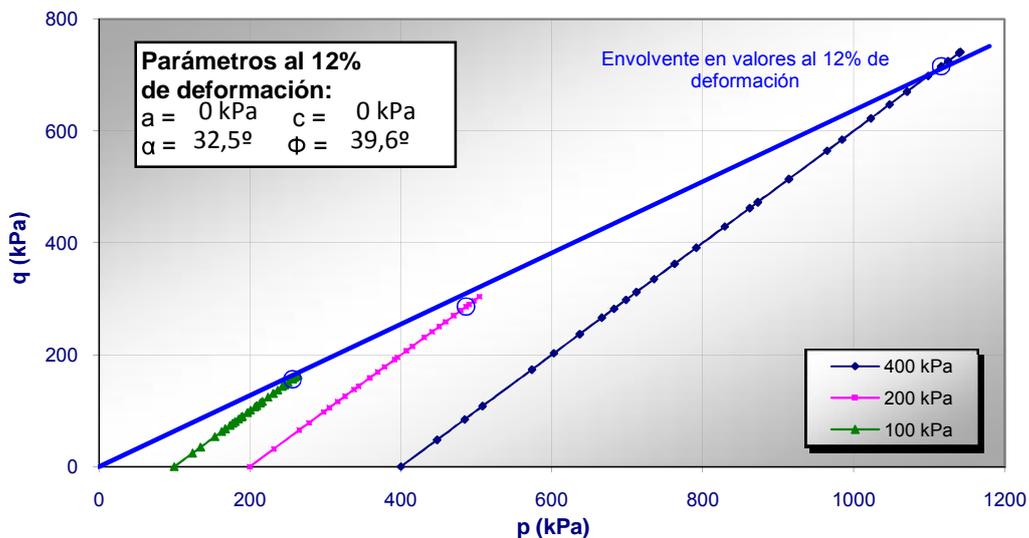
Estado : Inalterado

Clasificación : SC-SM

### TRAYECTORIA DE ESFUERZOS



### p vs. q



#### Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Realizado por:	Ingresado por:	Revisado por:	Fecha:
TBP	TOM	CSM	19-ago-09

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

**LABORATORIO GEOTECNICO**

Nombre del Proyecto

Cliente

Nº de Proyecto	Nº Informe de Lab	VP-111-09
Ubicación	Solicitado por	
Nº de muestra <b>M-1</b>	Fecha	<b>12-jun-09</b>
Descripción <b>Desmonte de Mina</b>		

Estado : Remoldeado

Clasificación: **GW-GC**

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	31,00	30,94
Diámetro (cm)	15,21	15,02
Humedad (%)	2,30	9,01
Densidad seca (gr/cc)	2,298	2,360

Velocidad (pulg/min)	0,01
Parámetro "B"	0,94
Presión de celda kPa	607
Contra presión kPa	207
Esf. Efect. Inicial kPa	<b>400</b>

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	P. poros kPa	$s_3$ kPa	$s_1$ kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	$\bar{q} / \bar{p}$	Oblicuidad ( $s_1/s_3$ )
0,00	0,00	0,00	400,00	400,00	400,00	0,00	0,00	1,00
0,05	74,92	4,07	395,93	470,85	433,39	37,46	0,09	1,19
0,10	135,43	12,39	387,61	523,04	455,32	67,71	0,15	1,35
0,20	244,70	37,59	362,41	607,10	484,75	122,35	0,25	1,68
0,35	351,49	69,88	330,12	681,61	505,86	175,75	0,35	2,06
0,50	447,21	105,18	294,82	742,02	518,42	223,60	0,43	2,52
0,75	547,89	147,94	252,06	799,96	526,01	273,95	0,52	3,17
1,00	606,03	172,90	227,10	833,13	530,12	303,02	0,57	3,67
1,25	638,45	185,95	214,05	852,50	533,28	319,22	0,60	3,98
1,50	676,56	198,05	201,95	878,50	540,23	338,28	0,63	4,35
1,75	698,58	201,97	198,03	896,61	547,32	349,29	0,64	4,53
2,00	729,61	204,54	195,46	925,07	560,26	364,81	0,65	4,73
2,50	768,00	203,35	196,65	964,65	580,65	384,00	0,66	4,91
3,00	802,64	200,63	199,37	1002,02	600,70	401,32	0,67	5,03
3,50	827,81	197,47	202,53	1030,34	616,44	413,90	0,67	5,09
4,00	853,39	193,12	206,88	1060,27	633,58	426,69	0,67	5,12
4,50	874,62	189,22	210,78	1085,39	648,08	437,31	0,67	5,15
5,00	879,74	187,14	212,86	1092,61	652,73	439,87	0,67	5,13
6,00	893,19	182,09	217,91	1111,10	664,51	446,59	0,67	5,10
7,00	913,49	174,50	225,50	1139,00	682,25	456,75	0,67	5,05
8,00	918,86	170,60	229,40	1148,26	688,83	459,43	0,67	5,01
9,00	921,80	166,64	233,36	1155,17	694,26	460,90	0,66	4,95
10,00	935,40	162,94	237,06	1172,45	704,76	467,70	0,66	4,95
11,00	943,62	158,40	241,60	1185,22	713,41	471,81	0,66	4,91
12,00	950,99	154,82	245,18	1196,16	720,67	475,49	0,66	4,88
13,00	955,12	150,84	249,16	1204,28	726,72	477,56	0,66	4,83
14,00	959,08	149,26	250,74	1209,82	730,28	479,54	0,66	4,82

Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Realizado por:	Ingresado por:	Revisado por:	Fecha:
DC	TOM	CSM	<b>12-jun-09</b>

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

**Consolidado - No drenado (CU)**

ASTM - D4767

**LABORATORIO GEOTECNICO**

Nombre del Project

Cliente

Nº de Proyecto	Nº Informe de Lab	VP-111-09
Ubicación	Solicitado por	
Nº de muestra <b>M-1</b>	Fecha	12-jun-09
Descripción <b>Desmonte de Mina</b>		

Estado : Remoldeado

Clasificación: **GW-GC**

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	31,00	30,97
Diámetro (cm)	15,21	15,07
Humedad (%)	2,30	9,17
Densidad seca (gr/cc)	2,297	2,344

Velocidad (pulg/min)	0,01
Parámetro "B"	0,94
Presión de celda kPa	407
Contra presión kPa	207
Esf. Efect. Inicial kPa	<b>200</b>

Deformación (%)	Esf. Dev. kPa	P. poros kPa	s <sub>3</sub> kPa	s <sub>1</sub> kPa	p̄ kPa	q̄ kPa	q̄ / p̄	Oblicuidad (s <sub>1</sub> /s <sub>3</sub> )
0,00	0,00	0,00	200,00	200,00	200,00	0,00	0,00	1,00
0,05	43,34	4,92	195,08	238,42	216,75	21,67	0,10	1,22
0,10	88,08	17,36	182,64	270,72	226,68	44,04	0,19	1,48
0,20	144,39	32,00	168,00	312,39	240,19	72,19	0,30	1,86
0,35	226,57	54,33	145,67	372,24	258,95	113,29	0,44	2,56
0,50	275,45	66,89	133,11	408,56	270,84	137,73	0,51	3,07
0,75	339,05	81,30	118,70	457,75	288,23	169,52	0,59	3,86
1,00	368,88	84,62	115,38	484,26	299,82	184,44	0,62	4,20
1,25	412,24	87,14	112,86	525,10	318,98	206,12	0,65	4,65
1,50	446,16	86,76	113,24	559,40	336,32	223,08	0,66	4,94
1,75	465,33	85,35	114,65	579,98	347,32	232,66	0,67	5,06
2,00	493,42	82,74	117,26	610,68	363,97	246,71	0,68	5,21
2,50	530,48	76,97	123,03	653,51	388,27	265,24	0,68	5,31
3,00	560,58	73,22	126,78	687,36	407,07	280,29	0,69	5,42
3,50	582,14	68,70	131,30	713,44	422,37	291,07	0,69	5,43
4,00	601,07	63,76	136,24	737,31	436,77	300,54	0,69	5,41
4,50	619,96	58,84	141,16	761,12	451,14	309,98	0,69	5,39
5,00	631,11	55,89	144,11	775,22	459,66	315,56	0,69	5,38
6,00	663,68	47,58	152,42	816,11	484,26	331,84	0,69	5,35
7,00	679,35	39,92	160,08	839,43	499,76	339,68	0,68	5,24
8,00	686,05	36,42	163,58	849,63	506,60	343,03	0,68	5,19
9,00	711,45	29,19	170,81	882,26	526,54	355,72	0,68	5,17
10,00	711,61	27,81	172,19	883,80	528,00	355,81	0,67	5,13
11,00	715,69	24,69	175,31	891,00	533,16	357,85	0,67	5,08
12,00	721,09	20,93	179,07	900,16	539,62	360,55	0,67	5,03
13,00	722,58	19,13	180,87	903,44	542,15	361,29	0,67	5,00
14,00	722,37	19,94	180,06	902,43	541,24	361,19	0,67	5,01

Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Realizado por: DC	Ingresado por: TOM	Revisado por: CSM	Fecha: 12-jun-09
-------------------	--------------------	-------------------	------------------

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

## LABORATORIO GEOTECNICO

Nombre del Project

Cliente

Nº de Proyecto

Nº Informe de Lab

VP-111-09

Ubicación

Solicitado por

Nº de muestra

M-1

Fecha

12-jun-09

Descripción

Desmonte de Mina

Estado : Remoldeado

Clasificación: **GW-GC**

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	31,00	30,92
Diámetro (cm)	15,21	15,15
Humedad (%)	2,30	9,22
Densidad seca (gr/cc)	2,298	2,324

Velocidad (pulg/min)	0,01
Parámetro "B"	0,93
Presión de celda kPa	307
Contra presión kPa	207
Esf. Efect. Inicial kPa	<b>100</b>

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	P. poros kPa	$\bar{s}_3$ kPa	$\bar{s}_1$ kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	$\bar{q} / \bar{p}$	Oblicuidad ( $\bar{s}_1 / \bar{s}_3$ )
0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	1,00
0,05	24,00	4,28	95,72	119,72	107,72	12,00	0,11	1,25
0,10	57,31	10,90	89,10	146,42	117,76	28,66	0,24	1,64
0,20	98,73	17,60	82,40	181,13	131,76	49,37	0,37	2,20
0,35	154,93	22,69	77,31	232,24	154,77	77,47	0,50	3,00
0,50	192,24	22,72	77,28	269,51	173,40	96,12	0,55	3,49
0,75	241,51	20,25	79,75	321,25	200,50	120,75	0,60	4,03
1,00	268,92	17,53	82,47	351,39	216,93	134,46	0,62	4,26
1,25	301,18	13,56	86,44	387,62	237,03	150,59	0,64	4,48
1,50	328,73	10,54	89,46	418,20	253,83	164,37	0,65	4,67
1,75	345,48	6,88	93,12	438,60	265,86	172,74	0,65	4,71
2,00	367,33	2,77	97,23	464,56	280,89	183,67	0,65	4,78
2,50	386,99	-1,23	101,23	488,22	294,72	193,49	0,66	4,82
3,00	400,27	-4,98	104,98	505,25	305,11	200,14	0,66	4,81
3,50	422,23	-9,69	109,69	531,92	320,80	211,12	0,66	4,85
4,00	435,61	-13,25	113,25	548,86	331,06	217,81	0,66	4,85
4,50	455,81	-15,82	115,82	571,63	343,72	227,91	0,66	4,94
5,00	464,07	-18,01	118,01	582,09	350,05	232,04	0,66	4,93
6,00	488,90	-24,80	124,80	613,70	369,25	244,45	0,66	4,92
7,00	505,88	-30,72	130,72	636,60	383,66	252,94	0,66	4,87
8,00	514,35	-34,30	134,30	648,66	391,48	257,18	0,66	4,83
9,00	525,74	-38,25	138,25	663,98	401,12	262,87	0,66	4,80
10,00	521,34	-39,06	139,06	660,39	399,72	260,67	0,65	4,75
11,00	520,24	-42,72	142,72	662,97	402,85	260,12	0,65	4,65
12,00	529,37	-43,77	143,77	673,14	408,45	264,69	0,65	4,68
13,00	534,19	-41,89	141,89	676,08	408,99	267,10	0,65	4,76
14,00	539,57	-42,53	142,53	682,10	412,32	269,79	0,65	4,79

Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Realizado por:

DC

Ingresado por:

TOM

Revisado por:

CSM

Fecha:

**12-jun-09**

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

## LABORATORIO GEOTECNICO

Nombre del Proyecto

Cliente

Nº de Proyecto

Nº Informe de Lab

VP-111-09

Ubicación

Solicitado por

Nº de muestra

M-1

Fecha

12-jun-09

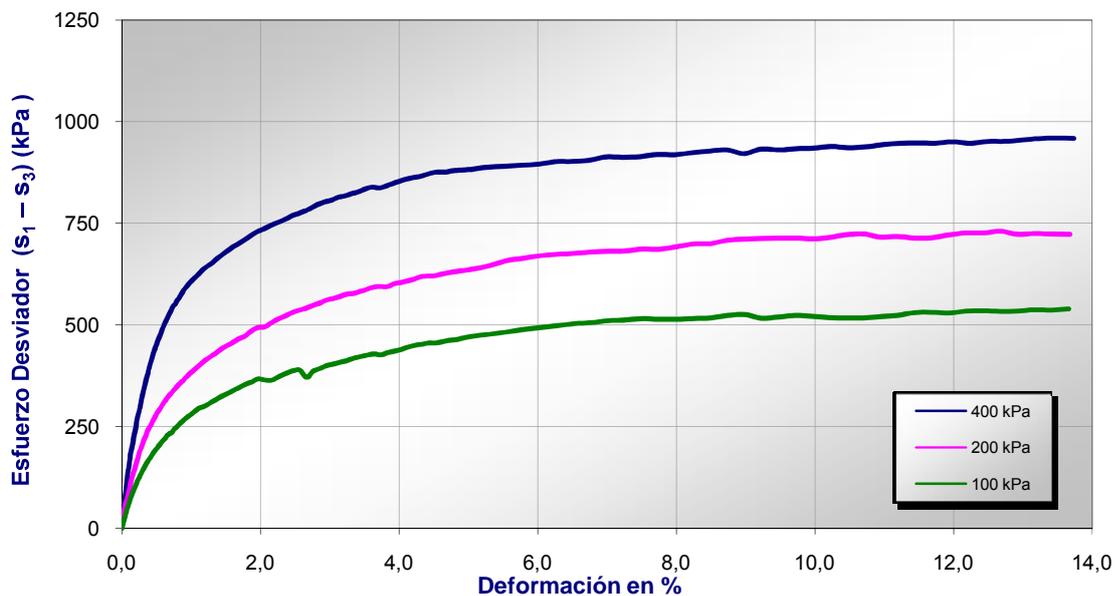
Descripción

Desmante de Mina

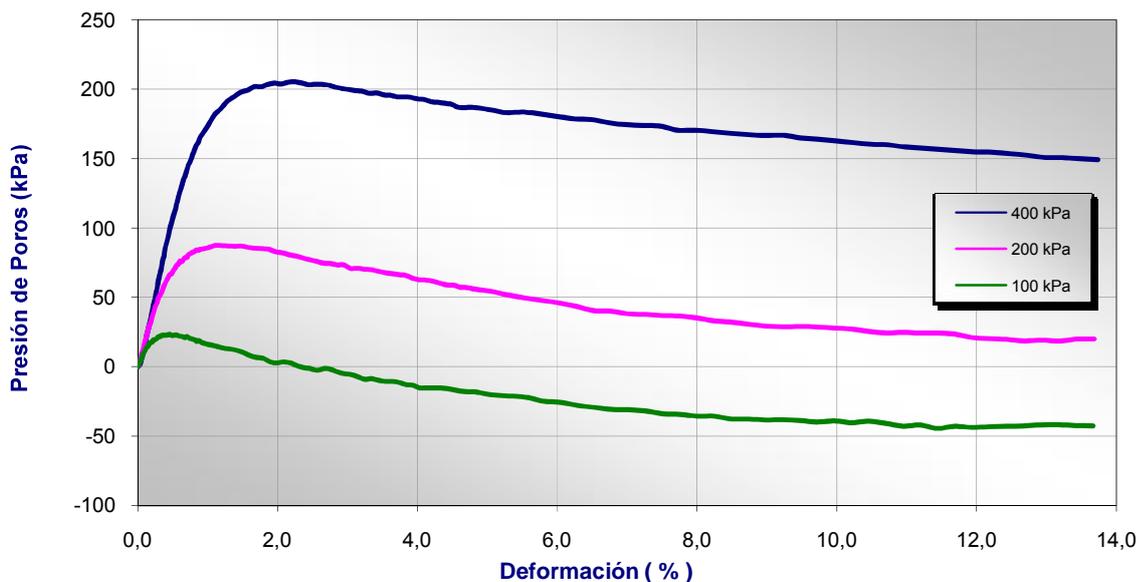
Estado : Remoldeado

Clasificación : GW-GC

### ESFUERZO vs. DEFORMACIÓN



### PRESIÓN DE POROS vs. DEFORMACIÓN



Realizado por:

DC

Ingresado por:

TOM

Revisado por:

CSM

Fecha:

12-jun-09

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

## LABORATORIO GEOTECNICO

Nombre del Project

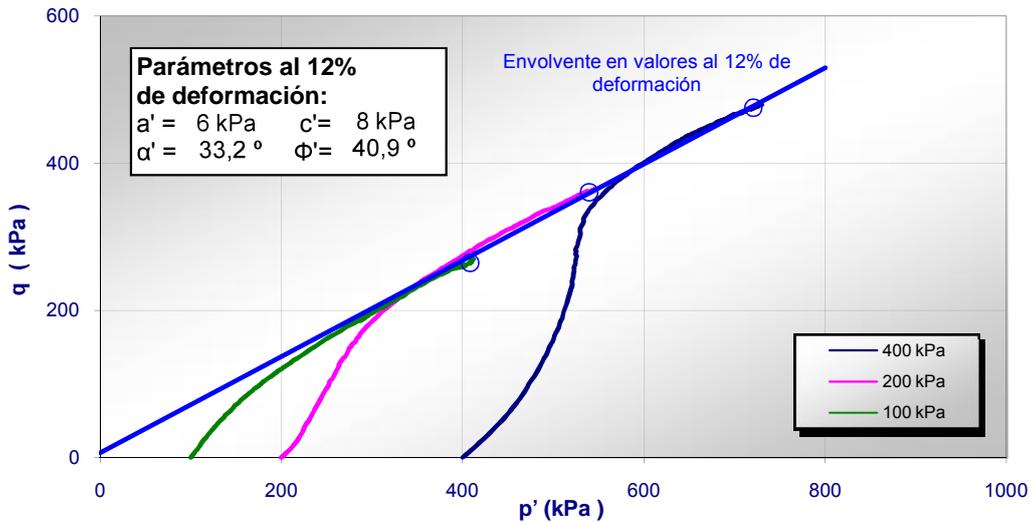
Cliente

Nº de Proyecto	Nº Informe de Lab	VP-111-09
Ubicación	Solicitado por	
Nº de muestra M-1	Fecha	12-jun-09
Descripción	Desmonte de Mina	

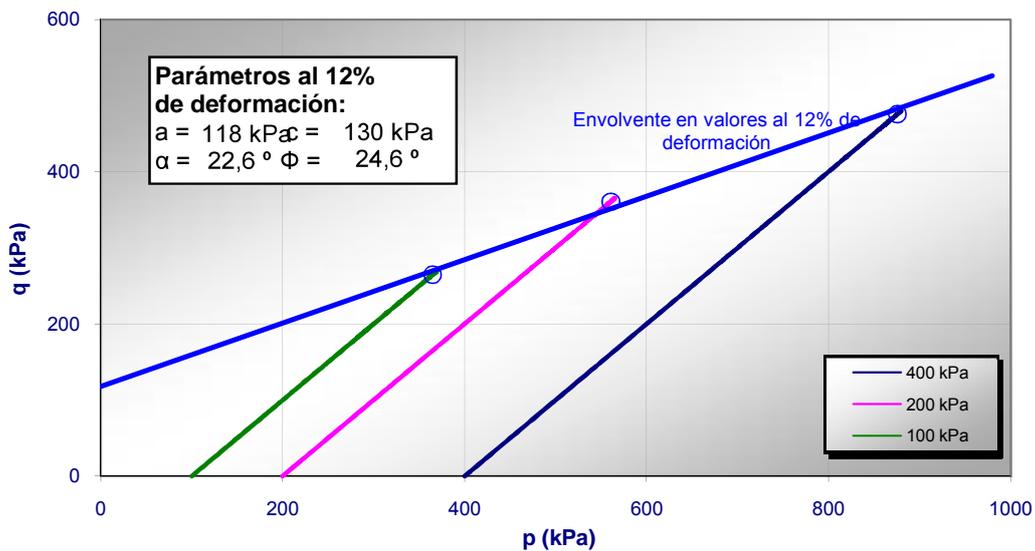
Estado : Remoldeado

Clasificación : GW-GC

### TRAYECTORIA DE ESFUERZOS



### p vs. q



#### Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Realizado por:	Ingresado por:	Revisado por:	Fecha:
DC	TOM	CSM	12-jun-09

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

## No Consolidado - No Drenado (UU)

### ASTM - D2850

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:

Cliente:

Ubicación del Proyecto:

Cód. de Muestra: **CA-HU14-04**

Nº de Muestra: **M-1**

Profundidad (m): **2,5**

Nº de Proyecto:

Zona: **Suelo de Cimentación**

Nº de Informe: **LAB-14,10,147**

Descripción: **Suelo**

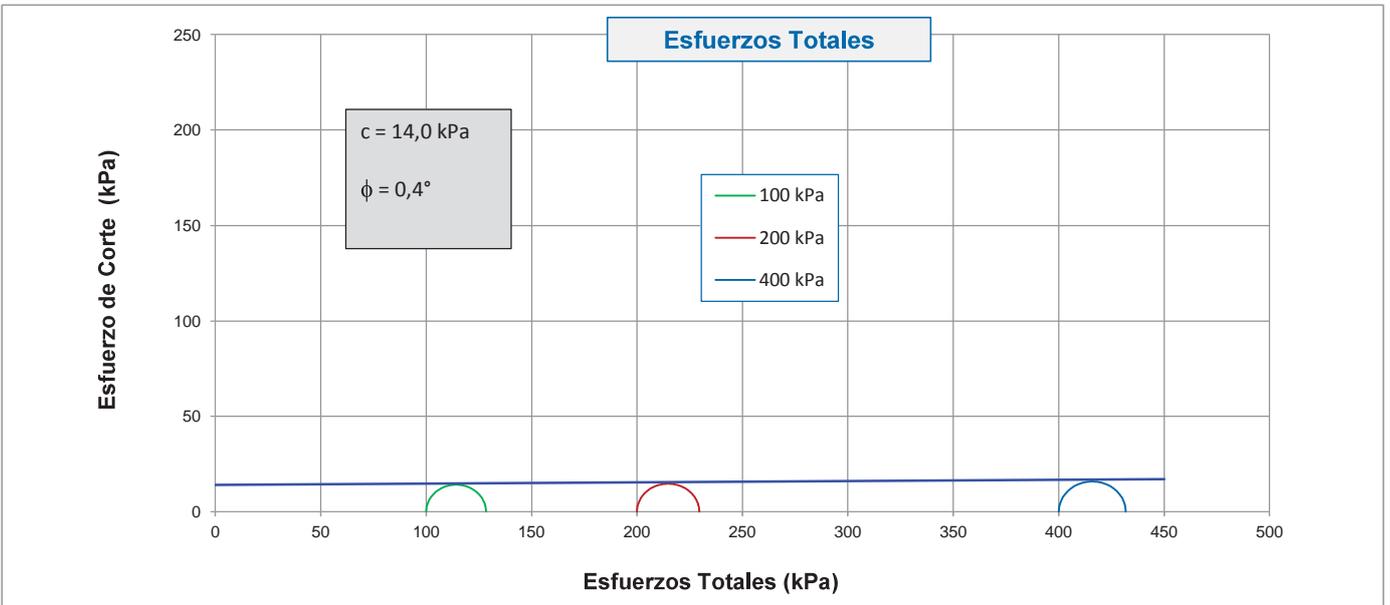
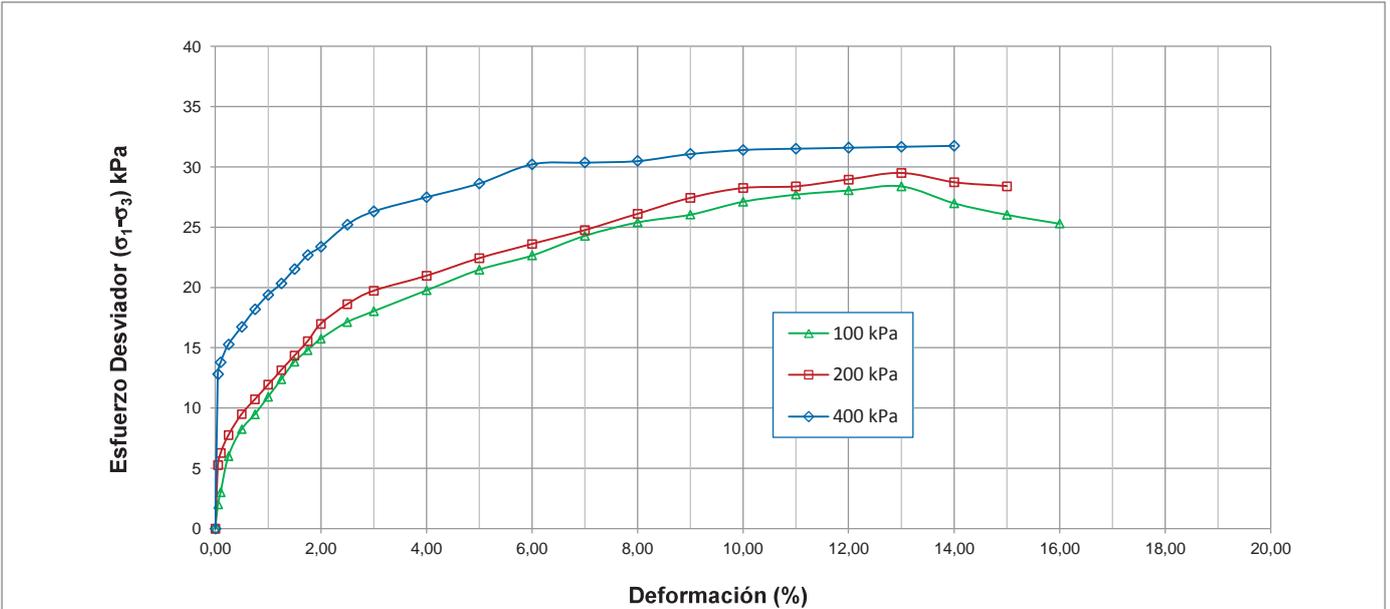
Fecha: **13/01/2015**

Solicitado Por:

Clasificación SUCS:

**CL**

Estado : Inalterado



**Observaciones:**

Muestra Inalterada.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:

LSA

Ingresado por:

JCA

Revisado por:

CSM

Nº de Informe:

LAB-14.10.147

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

## No Consolidado - No Drenado (UU)

### ASTM - D2850

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:

Cliente:

Ubicación del Proyecto:

Cód. de Muestra: **CA-HU14-04**

Nº de Muestra: **M-1**

Profundidad (m): **2,5**

Nº de Proyecto:

Zona: **Suelo de Cimentación**

Nº de Informe:

Descripción: **Suelo**

Fecha: **13/01/2015**

Solicitado Por:

Clasificación SUCS: **CL**

Estado : **Inalterado**

Asentamiento Inmediato		Inicio	Final
Altura (cm)		15,16	14,97
Diámetro (cm)		7,12	7,16
Humedad (%)		62,52	62,13
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )		0,976	0,976

Velocidad	0,050	(cm/min)
Parámetro "B"	NA	
Presión de celda	400	kPa
Contra presión	0	kPa
Esf. Efect. Inicial	400	kPa

Deformación (%)	F (kN)	$\sigma_{desv}$ (kPa)	$p$ (kPa)	$q$ (kPa)	$\sigma_1$ (kPa)	$\sigma_3$ (kPa)	$q/p$	$(\sigma_1/\sigma_3)$
0,00	0	0	400,0	0,0	400,00	400,0	0,00	1,00
0,05	0,051	12,8	406,4	6,4	412,80	400,0	0,02	1,03
0,10	0,055	13,8	406,9	6,9	413,80	400,0	0,02	1,03
0,25	0,061	15,3	407,6	7,6	415,28	400,0	0,02	1,04
0,50	0,067	16,7	408,4	8,4	416,74	400,0	0,02	1,04
0,75	0,073	18,2	409,1	9,1	418,20	400,0	0,02	1,05
1,00	0,078	19,4	409,7	9,7	419,39	400,0	0,02	1,05
1,25	0,082	20,3	410,2	10,2	420,34	400,0	0,02	1,05
1,50	0,087	21,5	410,8	10,8	421,52	400,0	0,03	1,05
1,75	0,092	22,7	411,4	11,4	422,70	400,0	0,03	1,06
2,00	0,095	23,4	411,7	11,7	423,38	400,0	0,03	1,06
2,50	0,103	25,2	412,6	12,6	425,22	400,0	0,03	1,06
3,00	0,108	26,3	413,2	13,2	426,31	400,0	0,03	1,07
4,00	0,114	27,5	413,7	13,7	427,49	400,0	0,03	1,07
5,00	0,120	28,6	414,3	14,3	428,63	400,0	0,03	1,07
6,00	0,128	30,2	415,1	15,1	430,22	400,0	0,04	1,08
7,00	0,130	30,4	415,2	15,2	430,37	400,0	0,04	1,08
8,00	0,132	30,5	415,3	15,3	430,50	400,0	0,04	1,08
9,00	0,136	31,1	415,5	15,5	431,08	400,0	0,04	1,08
10,00	0,139	31,4	415,7	15,7	431,42	400,0	0,04	1,08
11,00	0,141	31,5	415,8	15,8	431,52	400,0	0,04	1,08
12,00	0,143	31,6	415,8	15,8	431,61	400,0	0,04	1,08
13,00	0,145	31,7	415,8	15,8	431,68	400,0	0,04	1,08
14,00	0,147	31,8	415,9	15,9	431,75	400,0	0,04	1,08

#### Observaciones:

Muestra Inalterada.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

Nº de Informe:

LSA

JCA

CSM

LAB-14.10.147

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

## No Consolidado - No Drenado (UU)

### ASTM - D2850

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:

Cliente:

Ubicación del Proyecto:

Cód. de Muestra: **CA-HU14-04**

Nº de Muestra: **M-1**

Profundidad (m): **2,5**

Nº de Proyecto:

Zona: **Suelo de Cimentación**

Nº de Informe:

Descripción: **Suelo**

Fecha: **13/01/2015**

Solicitado Por:

Clasificación SUCS:

**CL**

Estado : **Inalterado**

Asentamiento Inmediato		Inicio	Final
Altura (cm)		15,16	15,04
Diámetro (cm)		7,12	7,15
Humedad (%)		62,66	61,83
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )		1,031	1,031

Velocidad	0,050	(cm/min)
Parámetro "B"	NA	
Presión de celda	200	kPa
Contra presión	0	kPa
Esf. Efect. Inicial	200	kPa

Deformación (%)	F (kN)	$\sigma_{desv}$ (kPa)	$p$ (kPa)	$q$ (kPa)	$\sigma_1$ (kPa)	$\sigma_3$ (kPa)	$q/p$	$(\sigma_1/\sigma_3)$
0,00	0	0	200,0	0,0	200,00	200,0	0,00	1,00
0,05	0,021	5	202,6	2,6	205,27	200,0	0,01	1,03
0,10	0,025	6	203,1	3,1	206,27	200,0	0,02	1,03
0,25	0,031	8	203,9	3,9	207,77	200,0	0,02	1,04
0,50	0,038	9	204,7	4,7	209,50	200,0	0,02	1,05
0,75	0,043	11	205,4	5,4	210,72	200,0	0,03	1,05
1,00	0,048	12	206,0	6,0	211,94	200,0	0,03	1,06
1,25	0,053	13	206,6	6,6	213,15	200,0	0,03	1,07
1,50	0,058	14	207,2	7,2	214,35	200,0	0,03	1,07
1,75	0,063	16	207,8	7,8	215,55	200,0	0,04	1,08
2,00	0,069	17	208,5	8,5	216,98	200,0	0,04	1,08
2,50	0,076	19	209,3	9,3	218,61	200,0	0,04	1,09
3,00	0,081	20	209,9	9,9	219,73	200,0	0,05	1,10
4,00	0,087	21	210,5	10,5	220,98	200,0	0,05	1,10
5,00	0,094	22	211,2	11,2	222,43	200,0	0,05	1,11
6,00	0,100	24	211,8	11,8	223,61	200,0	0,06	1,12
7,00	0,106	25	212,4	12,4	224,76	200,0	0,06	1,12
8,00	0,113	26	213,1	13,1	226,11	200,0	0,06	1,13
9,00	0,120	27	213,7	13,7	227,43	200,0	0,06	1,14
10,00	0,125	28	214,1	14,1	228,26	200,0	0,07	1,14
11,00	0,127	28	214,2	14,2	228,39	200,0	0,07	1,14
12,00	0,131	29	214,5	14,5	228,95	200,0	0,07	1,14
13,00	0,135	29	214,7	14,7	229,50	200,0	0,07	1,15
14,00	0,133	29	214,4	14,4	228,73	200,0	0,07	1,14
15,00	0,133	28	214,2	14,2	228,39	200,0	0,07	1,14

#### Observaciones:

Muestra Inalterada.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:

LSA

Ingresado por:

JCA

Revisado por:

CSM

Nº de Informe:

LAB-14.10.147

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

## No Consolidado - No Drenado (UU)

### ASTM - D2850

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:

Cliente:

Ubicación del Proyecto:

Cód. de Muestra: **CA-HU14-04**

Nº de Muestra: **M-1**

Profundidad (m): **2,5**

Nº de Proyecto:

Zona: **Suelo de Cimentación**

Nº de Informe:

Descripción: **Suelo**

Fecha: **13/01/2015**

Solicitado Por:

Clasificación SUCS: **CL**

Estado : **Inalterado**

Asentamiento Inmediato		Inicio	Final
Altura (cm)		15,16	15,07
Diámetro (cm)		7,12	7,14
Humedad (%)		54,96	54,30
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )		1,147	1,147

Velocidad	0,050	(cm/min)
Parámetro "B"	NA	
Presión de celda	100	kPa
Contra presión	0	kPa
Esf. Efect. Inicial	100	kPa

Deformación (%)	F (kN)	$\sigma_{desv}$ (kPa)	$p$ (kPa)	$q$ (kPa)	$\sigma_1$ (kPa)	$\sigma_3$ (kPa)	$q/p$	$(\sigma_1/\sigma_3)$
0,00	0	0	100,0	0,0	100,00	100,0	0,00	1,00
0,05	0,008	2	101,0	1,0	102,01	100,0	0,01	1,02
0,10	0,012	3	101,5	1,5	103,01	100,0	0,01	1,03
0,25	0,024	6	103,0	3,0	106,01	100,0	0,03	1,06
0,50	0,033	8	104,1	4,1	108,25	100,0	0,04	1,08
0,75	0,038	9	104,7	4,7	109,47	100,0	0,05	1,09
1,00	0,044	11	105,5	5,5	110,94	100,0	0,05	1,11
1,25	0,050	12	106,2	6,2	112,40	100,0	0,06	1,12
1,50	0,056	14	106,9	6,9	113,85	100,0	0,06	1,14
1,75	0,060	15	107,4	7,4	114,81	100,0	0,07	1,15
2,00	0,064	16	107,9	7,9	115,75	100,0	0,07	1,16
2,50	0,070	17	108,6	8,6	117,14	100,0	0,08	1,17
3,00	0,074	18	109,0	9,0	118,03	100,0	0,08	1,18
4,00	0,082	20	109,9	9,9	119,77	100,0	0,09	1,20
5,00	0,090	21	110,7	10,7	121,47	100,0	0,10	1,21
6,00	0,096	23	111,3	11,3	122,66	100,0	0,10	1,23
7,00	0,104	24	112,1	12,1	124,29	100,0	0,11	1,24
8,00	0,110	25	112,7	12,7	125,41	100,0	0,11	1,25
9,00	0,114	26	113,0	13,0	126,05	100,0	0,12	1,26
10,00	0,120	27	113,6	13,6	127,12	100,0	0,12	1,27
11,00	0,124	28	113,9	13,9	127,71	100,0	0,12	1,28
12,00	0,127	28	114,0	14,0	128,06	100,0	0,12	1,28
13,00	0,130	28	114,2	14,2	128,40	100,0	0,12	1,28
14,00	0,125	27	113,5	13,5	126,99	100,0	0,12	1,27
15,00	0,122	26	113,0	13,0	126,04	100,0	0,12	1,26
16,00	0,120	25	112,7	12,7	125,31	100,0	0,11	1,25

#### Observaciones:

Muestra Inalterada.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

Nº de Informe:

LSA

JCA

CSM

LAB-14.10.147

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:

Cliente:

Ubicación del Proyecto:

Cód. de Muestra: CA-HU14-01

Nº de Muestra: M-1

Profundidad (m): 4,00

Nº de Proyecto:

Zona: Suelo de Cimentación

Nº de Informe:

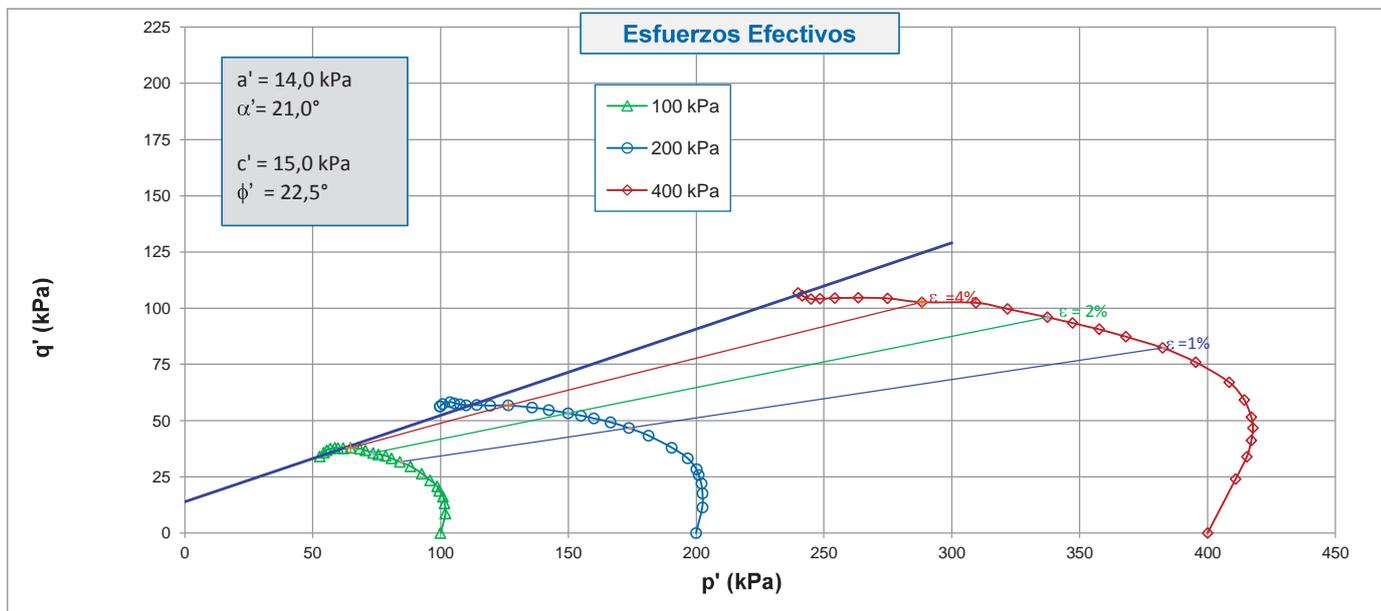
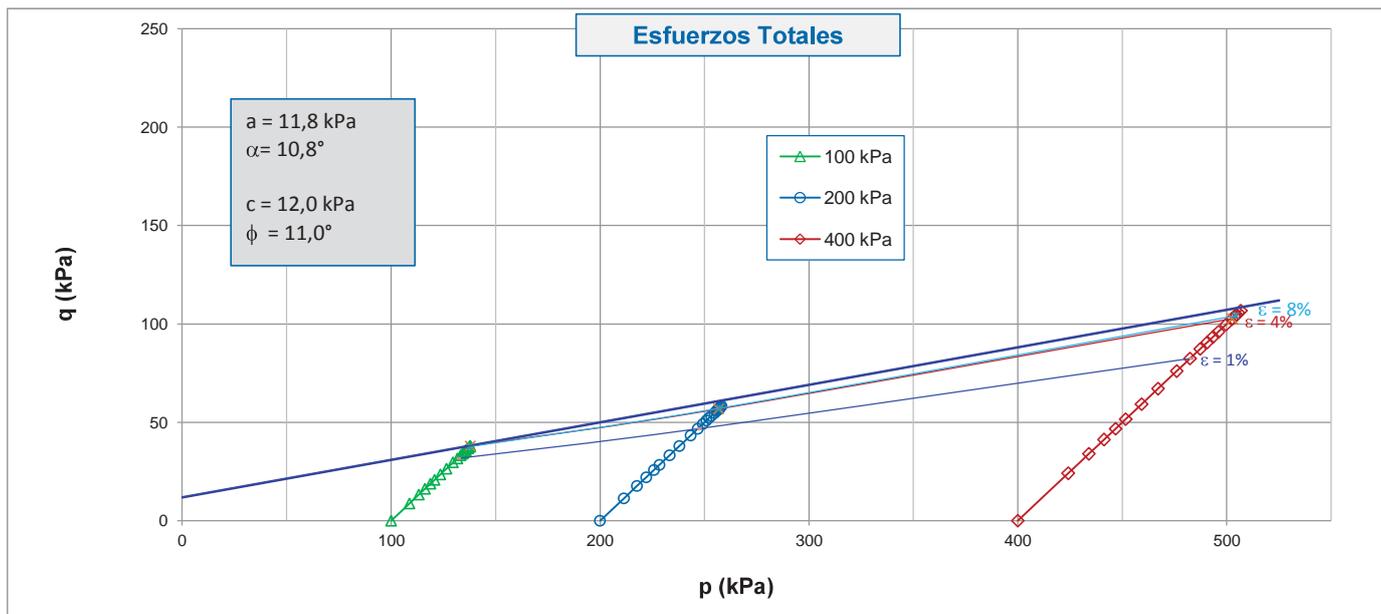
Descripción: Suelo

Fecha: 13-ene-15

Solicitado Por:

Clasificación SUCS: **CL/ML**

Estado : Inalterado



**Observaciones:**

Muestra inalterada.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:

LSA

Ingresado por:

JCA

Revisado por:

CSM

Nº de Informe:

LAB-14.10.147

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:

Cliente:

Ubicación del Proyecto:

Cód. de Muestra: CA-HU14-01

Nº de Muestra: M-1

Profundidad (m): 4,00

Nº de Proyecto:

Zona: Suelo de Cimentación

Nº de Informe:

Descripción: Suelo

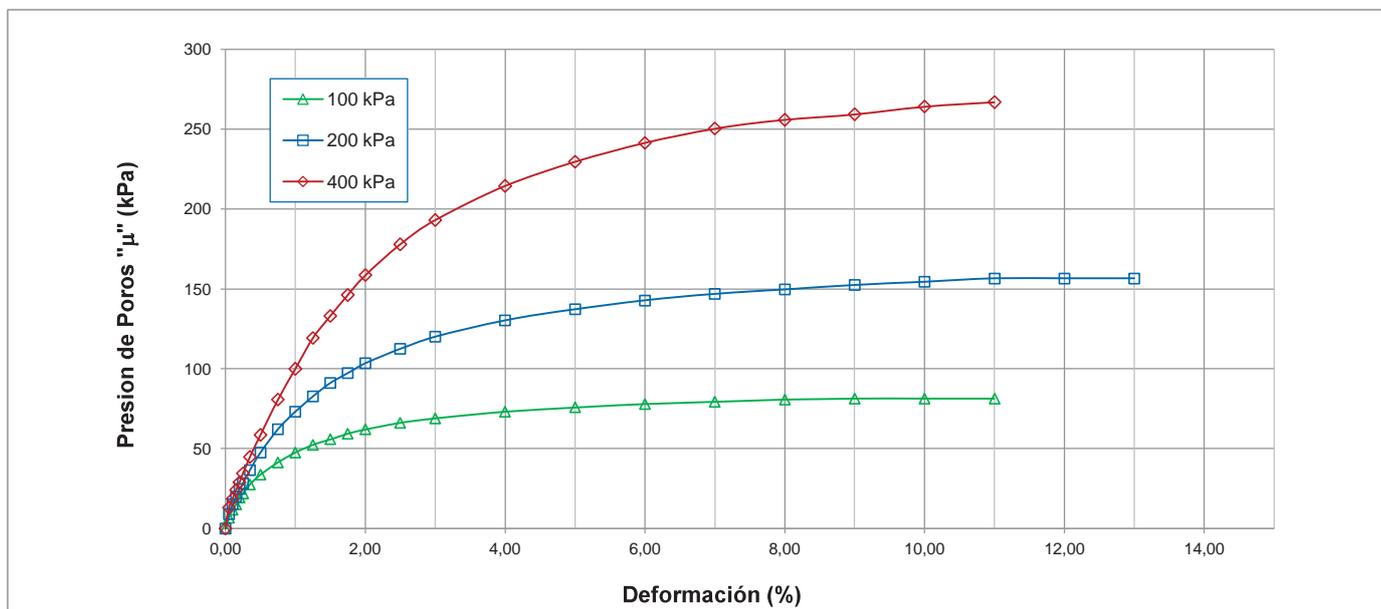
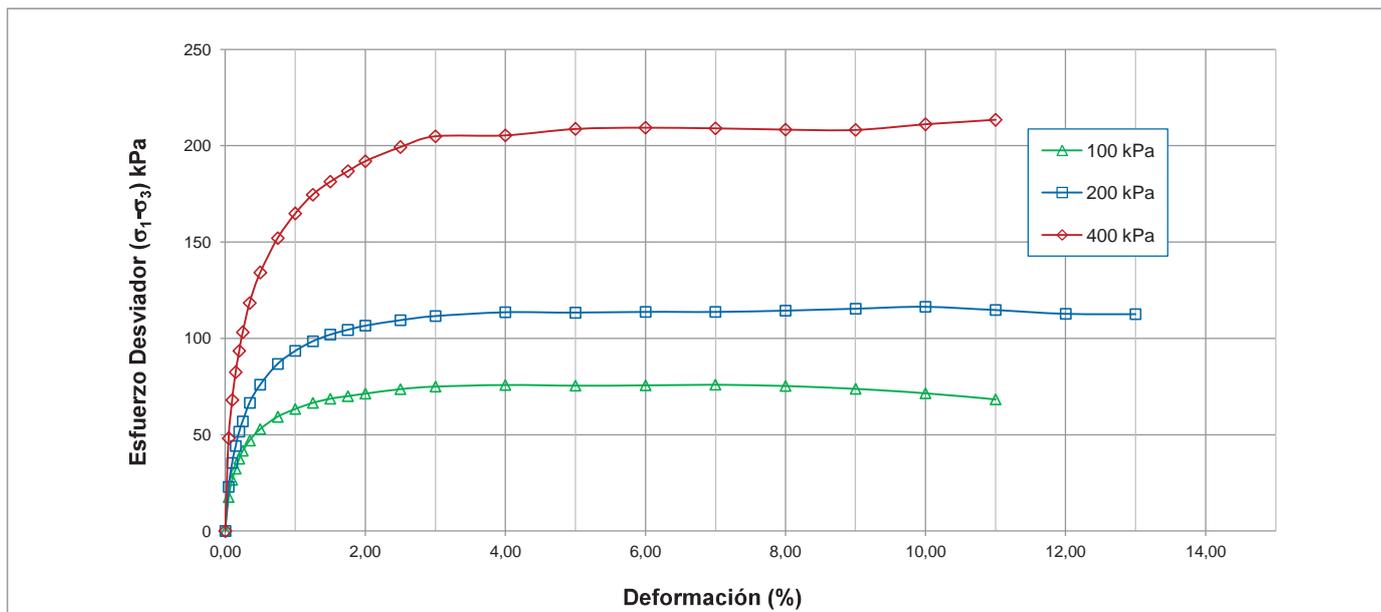
Fecha: 13-ene-15

Solicitado Por:

Clasificación SUCS:

CL/ML

Estado : Inalterado



## Observaciones:

Muestra inalterada.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:

LSA

Ingresado por:

JCA

Revisado por:

CSM

Nº de Informe:

LAB-14.10.147

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)  
ASTM - D4767

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:

Cliente:

Ubicación del Proyecto:

Cód. de Muestra: CA-HU14-01

Nº de Muestra: M-1

Profundidad (m): 4,00

Nº de Proyecto:

Zona: Suelo de Cimentación

Nº de Informe:

Descripción: Suelo

Fecha: 13-ene-15

Solicitado Por:

Clasificación SUCS:

CL/ML

Estado : Inalterado

Etapa de consolidación	Inicio	Final
Altura (cm)	15,16	13,37
Diámetro (cm)	7,12	6,79
Humedad (%)	88,70	55,30
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	0,848	1,058

Velocidad	0,025	(cm/min)
Parámetro "B"	0,96	
Presión de celda	593	kPa
Contra presión	193	kPa
Esf. Efect. Inicial	400	kPa

Deformación (%)	$\sigma_{desv}$ (kPa)	$\mu$ (kPa)	$p$ (kPa)	$q$ (kPa)	$p'$ (kPa)	$q'$ (kPa)	$q'/p'$	$(\sigma'_1/\sigma'_3)$
0,00	0	0	400,0	0,0	400,00	0,0	0,00	1,00
0,05	48	13	424,1	24,1	411,00	24,1	0,06	1,12
0,10	68	19	434,0	34,0	415,38	34,0	0,08	1,18
0,15	83	24	441,3	41,3	417,12	41,3	0,10	1,22
0,20	93	29	446,7	46,7	417,79	46,7	0,11	1,25
0,25	103	34	451,6	51,6	417,14	51,6	0,12	1,28
0,35	118	45	459,2	59,2	414,38	59,2	0,14	1,33
0,50	134	59	467,1	67,1	408,49	67,1	0,16	1,39
0,75	152	81	476,0	76,0	395,36	76,0	0,19	1,48
1,00	165	100	482,4	82,4	382,45	82,4	0,22	1,55
1,25	175	119	487,3	87,3	368,02	87,3	0,24	1,62
1,50	181	133	490,7	90,7	357,60	90,7	0,25	1,68
1,75	187	146	493,4	93,4	347,23	93,4	0,27	1,74
2,00	192	159	496,0	96,0	337,41	96,0	0,28	1,80
2,50	199	178	499,7	99,7	321,78	99,7	0,31	1,90
3,00	205	193	502,4	102,4	309,39	102,4	0,33	1,99
4,00	205	214	502,7	102,7	288,29	102,7	0,36	2,11
5,00	209	230	504,4	104,4	274,79	104,4	0,38	2,23
6,00	209	241	504,7	104,7	263,39	104,7	0,40	2,32
7,00	209	250	504,5	104,5	254,25	104,5	0,41	2,40
8,00	208	256	504,2	104,2	248,41	104,2	0,42	2,45
9,00	208	259	504,1	104,1	244,86	104,1	0,43	2,48
10,00	211	264	505,6	105,6	241,49	105,6	0,44	2,55
11,00	213	267	506,7	106,7	239,91	106,7	0,44	2,60

## Observaciones:

Muestra inalterada.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

Nº de Informe:

LSA

JCA

CSM

LAB-14.10.147

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:

Cliente:

Ubicación del Proyecto:

Cód. de Muestra: CA-HU14-01

Nº de Muestra: M-1

Profundidad (m): 4,00

Nº de Proyecto:

Zona: Suelo de Cimentación

Nº de Informe:

Descripción: Suelo

Fecha: 13-ene-15

Solicitado Por:

Clasificación SUCS:

CL/ML

Estado : Inalterado

Etapa de consolidación	Inicio	Final
Altura (cm)	15,16	13,91
Diámetro (cm)	7,12	6,85
Humedad (%)	79,47	58,22
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	0,896	1,053

Velocidad	0,025	(cm/min)
Parámetro "B"	0,96	
Presión de celda	393	kPa
Contra presión	193	kPa
Esf. Efect. Inicial	200	kPa

Deformación (%)	$\sigma_{desv}$ (kPa)	$\mu$ (kPa)	p (kPa)	q (kPa)	p' (kPa)	q' (kPa)	q'/p'	( $\sigma'_1/\sigma'_3$ )
0,00	0	0	200,0	0,0	200,00	0,0	0,00	1,00
0,05	23	9	211,4	11,4	202,46	11,4	0,06	1,12
0,10	35	15	217,7	17,7	202,52	17,7	0,09	1,19
0,15	44	20	222,1	22,1	202,07	22,1	0,11	1,25
0,20	52	25	225,8	25,8	201,00	25,8	0,13	1,29
0,25	57	28	228,4	28,4	200,17	28,4	0,14	1,33
0,35	67	37	233,3	33,3	196,74	33,3	0,17	1,41
0,50	76	48	238,0	38,0	190,41	38,0	0,20	1,50
0,75	87	62	243,4	43,4	181,32	43,4	0,24	1,63
1,00	93	73	246,7	46,7	173,66	46,7	0,27	1,74
1,25	98	83	249,2	49,2	166,49	49,2	0,30	1,84
1,50	102	91	251,0	51,0	159,95	51,0	0,32	1,94
1,75	104	97	252,2	52,2	154,97	52,2	0,34	2,02
2,00	107	103	253,3	53,3	149,87	53,3	0,36	2,10
2,50	109	112	254,7	54,7	142,35	54,7	0,38	2,25
3,00	112	120	255,8	55,8	135,82	55,8	0,41	2,39
4,00	114	130	256,8	56,8	126,47	56,8	0,45	2,63
5,00	113	137	256,7	56,7	119,46	56,7	0,47	2,80
6,00	114	143	256,9	56,9	114,18	56,9	0,50	2,99
7,00	114	147	256,9	56,9	110,02	56,9	0,52	3,14
8,00	114	150	257,2	57,2	107,57	57,2	0,53	3,27
9,00	115	152	257,7	57,7	105,34	57,7	0,55	3,42
10,00	116	154	258,2	58,2	103,76	58,2	0,56	3,56
11,00	115	157	257,3	57,3	100,82	57,3	0,57	3,64
12,00	113	157	256,4	56,4	99,85	56,4	0,56	3,59
13,00	113	157	256,3	56,3	99,75	56,3	0,56	3,59

## Observaciones:

Muestra inalterada.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:

LSA

Ingresado por:

JCA

Revisado por:

CSM

Nº de Informe:

LAB-14.10.147

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)  
ASTM - D4767

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:

Cliente:

Ubicación del Proyecto:

Cód. de Muestra: CA-HU14-01

Nº de Muestra: M-1

Profundidad (m): 4,00

Nº de Proyecto:

Zona: Suelo de Cimentación

Nº de Informe:

Descripción: Suelo

Fecha: 13-ene-15

Solicitado Por:

Clasificación SUCS:

CL/ML

Estado : Inalterado

Etapa de consolidación	Inicio	Final
Altura (cm)	15,16	14,49
Diámetro (cm)	7,12	6,94
Humedad (%)	74,85	61,66
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	0,959	1,057

Velocidad	0,025	(cm/min)
Parámetro "B"	0,95	
Presión de celda	293	kPa
Contra presión	193	kPa
Esf. Efect. Inicial	100	kPa

Deformación (%)	$\sigma_{desv}$ (kPa)	$\mu$ (kPa)	$p$ (kPa)	$q$ (kPa)	$p'$ (kPa)	$q'$ (kPa)	$q'/p'$	$(\sigma'_1/\sigma'_3)$
0,00	0	0	100,0	0,0	100,00	0,0	0,00	1,00
0,05	18	7	108,8	8,8	101,89	8,8	0,09	1,19
0,10	27	12	113,3	13,3	101,58	13,3	0,13	1,30
0,15	32	15	116,2	16,2	101,01	16,2	0,16	1,38
0,20	38	19	118,8	18,8	99,49	18,8	0,19	1,47
0,25	42	22	120,8	20,8	98,73	20,8	0,21	1,53
0,35	47	28	123,5	23,5	95,94	23,5	0,25	1,65
0,50	53	34	126,5	26,5	92,70	26,5	0,29	1,80
0,75	59	41	129,7	29,7	88,29	29,7	0,34	2,01
1,00	63	48	131,7	31,7	84,12	31,7	0,38	2,21
1,25	66	52	133,2	33,2	80,82	33,2	0,41	2,40
1,50	69	56	134,4	34,4	78,52	34,4	0,44	2,56
1,75	70	59	135,0	35,0	75,72	35,0	0,46	2,72
2,00	71	62	135,7	35,7	73,61	35,7	0,48	2,88
2,50	74	66	136,8	36,8	70,62	36,8	0,52	3,18
3,00	75	69	137,5	37,5	68,52	37,5	0,55	3,41
4,00	76	73	137,9	37,9	64,82	37,9	0,58	3,82
5,00	75	76	137,7	37,7	61,89	37,7	0,61	4,12
6,00	76	78	137,8	37,8	59,88	37,8	0,63	4,42
7,00	76	79	138,0	38,0	58,66	38,0	0,65	4,67
8,00	75	81	137,6	37,6	56,97	37,6	0,66	4,89
9,00	74	81	136,9	36,9	55,51	36,9	0,66	4,96
10,00	72	81	135,8	35,8	54,42	35,8	0,66	4,84
11,00	68	81	134,1	34,1	52,78	34,1	0,65	4,66

## Observaciones:

Muestra inalterada.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

Nº de Informe:

LSA

JCA

CSM

LAB-14.10.147

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:

Cliente:

Ubicación del Proyecto:

Cód. de Muestra: CA-HU14-05

Nº de Muestra: M-1

Profundidad (m): 3,00

Nº de Proyecto:

Zona: Suelo de Cimentación

Nº de Informe:

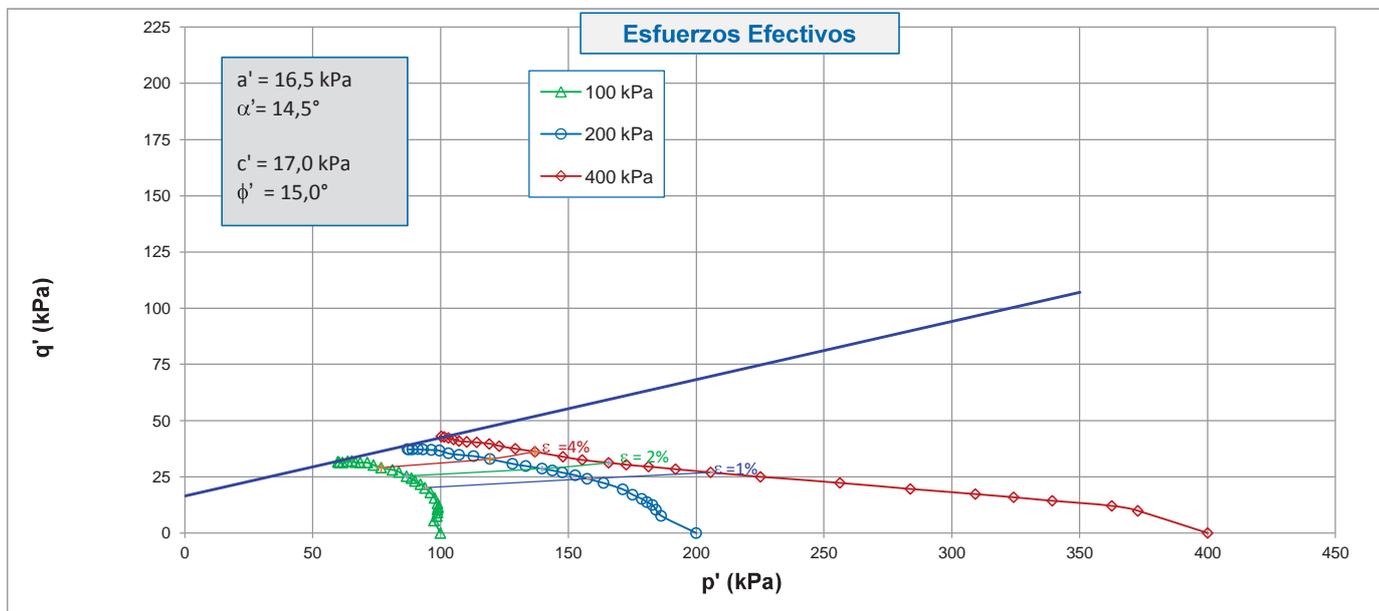
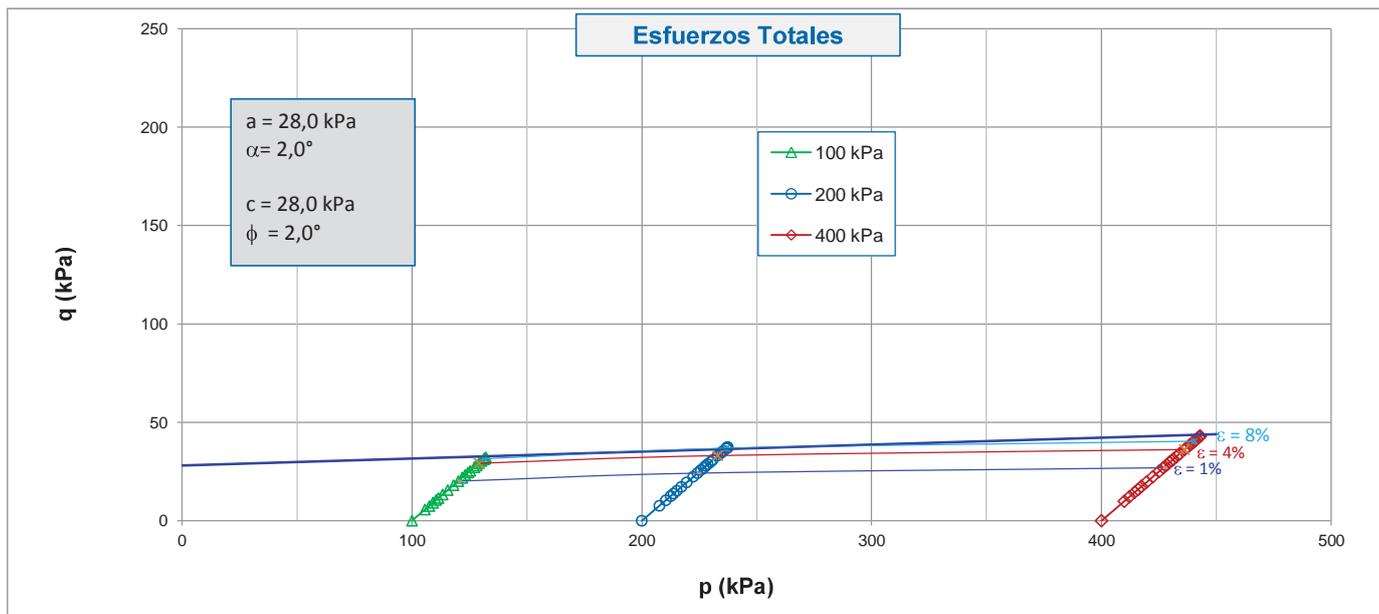
Descripción: Suelo

Fecha: 13-ene-15

Solicitado Por:

Clasificación SUCS: CH

Estado : Inalterado



## Observaciones:

Muestra inalterada.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:

LSA

Ingresado por:

JCA

Revisado por:

CSM

Nº de Informe:

LAB-14.10.147

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:

Cliente:

Ubicación del Proyecto:

Cód. de Muestra: CA-HU14-05

Nº de Muestra: M-1

Profundidad (m): 3,00

Nº de Proyecto:

Zona: Suelo de Cimentación

Nº de Informe:

Descripción: Suelo

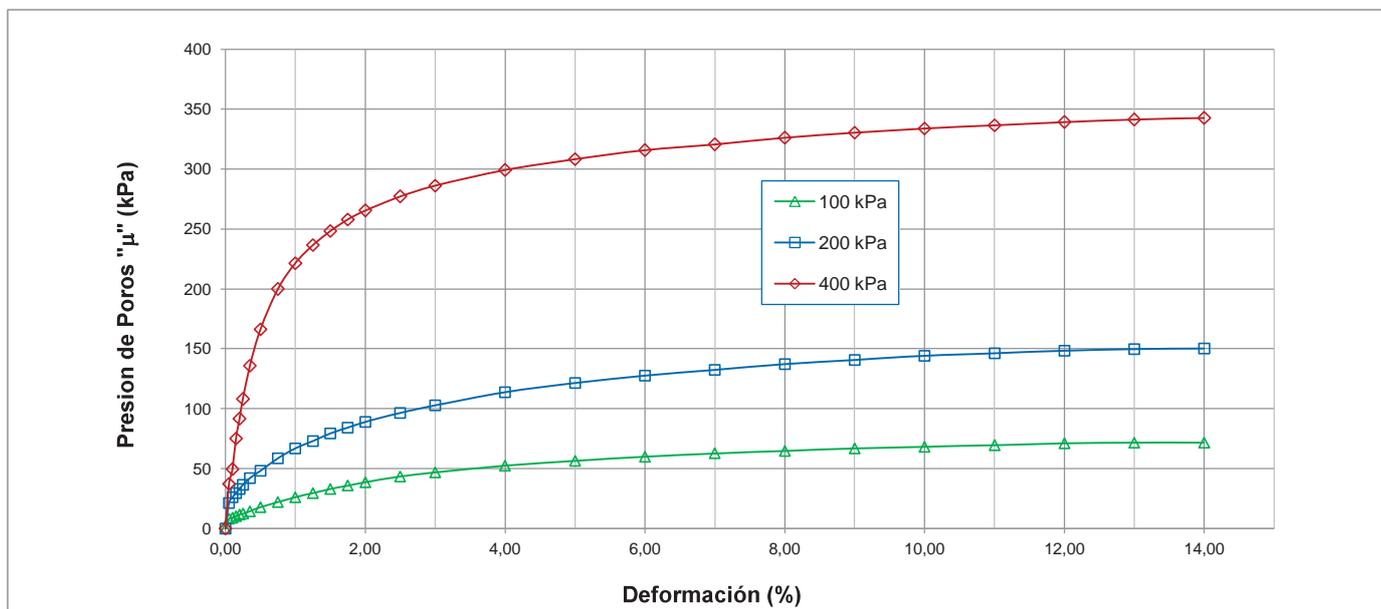
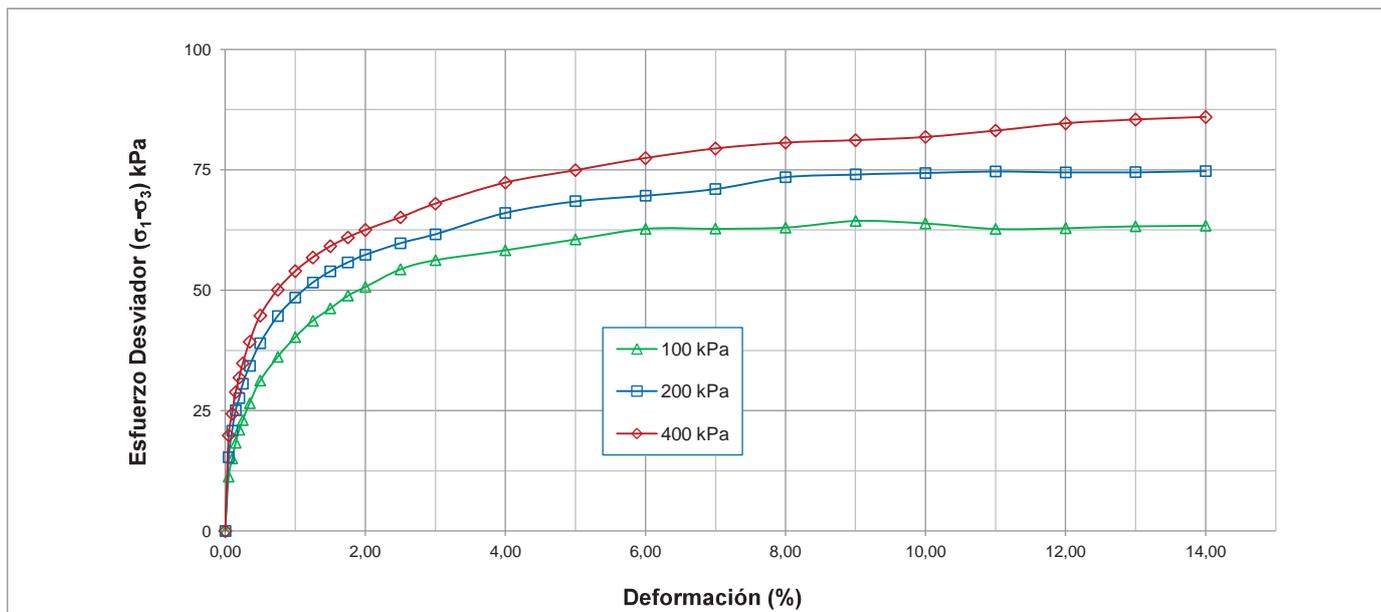
Fecha: 13-ene-15

Solicitado Por:

Clasificación SUCS:

CH

Estado : Inalterado



## Observaciones:

Muestra inalterada.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:

LSA

Ingresado por:

JCA

Revisado por:

CSM

Nº de Informe:

LAB-14.10.147

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:

Cliente:

Ubicación del Proyecto:

Cód. de Muestra: CA-HU14-05

Nº de Muestra: M-1

Profundidad (m): 3,00

Nº de Proyecto:

Zona: Suelo de Cimentación

Nº de Informe:

Descripción: Suelo

Fecha: 13-ene-15

Solicitado Por:

Clasificación SUCS:

CH

Estado : Inalterado

Etapa de consolidación	Inicio	Final
Altura (cm)	15,16	14,35
Diámetro (cm)	7,12	6,76
Humedad (%)	61,07	45,76
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,035	1,212

Velocidad	0,025	(cm/min)
Parámetro "B"	0,97	
Presión de celda	593	kPa
Contra presión	193	kPa
Esf. Efect. Inicial	400	kPa

Deformación (%)	$\sigma_{desv}$ (kPa)	$\mu$ (kPa)	$p$ (kPa)	$q$ (kPa)	$p'$ (kPa)	$q'$ (kPa)	$q'/p'$	$(\sigma'_1/\sigma'_3)$
0,00	0	0	400,0	0,0	400,00	0,0	0,00	1,00
0,05	20	37	409,9	9,9	372,68	9,9	0,03	1,05
0,10	24	50	412,2	12,2	362,53	12,2	0,03	1,07
0,15	29	75	414,4	14,4	339,27	14,4	0,04	1,09
0,20	32	92	415,9	15,9	324,22	15,9	0,05	1,10
0,25	35	108	417,4	17,4	309,16	17,4	0,06	1,12
0,35	39	136	419,6	19,6	283,82	19,6	0,07	1,15
0,50	45	166	422,4	22,4	256,20	22,4	0,09	1,19
0,75	50	200	425,1	25,1	225,10	25,1	0,11	1,25
1,00	54	221	427,0	27,0	205,66	27,0	0,13	1,30
1,25	57	236	428,4	28,4	191,91	28,4	0,15	1,35
1,50	59	248	429,6	29,6	181,35	29,6	0,16	1,39
1,75	61	258	430,5	30,5	172,61	30,5	0,18	1,43
2,00	63	265	431,3	31,3	165,81	31,3	0,19	1,46
2,50	65	277	432,6	32,6	155,40	32,6	0,21	1,53
3,00	68	286	434,0	34,0	147,85	34,0	0,23	1,60
4,00	72	299	436,2	36,2	136,93	36,2	0,26	1,72
5,00	75	308	437,5	37,5	129,26	37,5	0,29	1,82
6,00	77	316	438,7	38,7	122,94	38,7	0,31	1,92
7,00	79	321	439,7	39,7	119,10	39,7	0,33	2,00
8,00	81	326	440,3	40,3	114,20	40,3	0,35	2,09
9,00	81	330	440,6	40,6	110,31	40,6	0,37	2,16
10,00	82	334	440,9	40,9	107,21	40,9	0,38	2,23
11,00	83	336	441,6	41,6	105,11	41,6	0,40	2,31
12,00	85	339	442,3	42,3	103,10	42,3	0,41	2,39
13,00	85	341	442,7	42,7	101,43	42,7	0,42	2,46
14,00	86	343	443,0	43,0	100,31	43,0	0,43	2,50

## Observaciones:

Muestra inalterada.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:

LSA

Ingresado por:

JCA

Revisado por:

CSM

Nº de Informe:

LAB-14.10.147

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)  
ASTM - D4767

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:

Cliente:

Ubicación del Proyecto:

Cód. de Muestra: CA-HU14-05

Nº de Muestra: M-1

Profundidad (m): 3,00

Nº de Proyecto:

Zona: Suelo de Cimentación

Nº de Informe:

Descripción: Suelo

Fecha: 13-ene-15

Solicitado Por:

Clasificación SUCS:

CH

Estado : Inalterado

Etapa de consolidación	Inicio	Final
Altura (cm)	15,16	14,52
Diámetro (cm)	7,12	6,85
Humedad (%)	61,56	44,91
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,040	1,174

Velocidad	0,025	(cm/min)
Parámetro "B"	0,95	
Presión de celda	393	kPa
Contra presión	193	kPa
Esf. Efect. Inicial	200	kPa

Deformación (%)	$\sigma_{desv}$ (kPa)	$\mu$ (kPa)	$p$ (kPa)	$q$ (kPa)	$p'$ (kPa)	$q'$ (kPa)	$q'/p'$	$(\sigma'_1/\sigma'_3)$
0,00	0	0	200,0	0,0	200,00	0,0	0,00	1,00
0,05	15	21	207,7	7,7	186,28	7,7	0,04	1,09
0,10	21	26	210,4	10,4	184,21	10,4	0,06	1,12
0,15	25	30	212,5	12,5	182,89	12,5	0,07	1,15
0,20	28	33	213,8	13,8	180,69	13,8	0,08	1,17
0,25	31	37	215,3	15,3	178,74	15,3	0,09	1,19
0,35	34	42	217,1	17,1	175,09	17,1	0,10	1,22
0,50	39	48	219,5	19,5	171,23	19,5	0,11	1,26
0,75	45	59	222,3	22,3	163,70	22,3	0,14	1,32
1,00	48	67	224,2	24,2	157,36	24,2	0,15	1,36
1,25	52	73	225,8	25,8	152,71	25,8	0,17	1,41
1,50	54	79	227,0	27,0	147,68	27,0	0,18	1,45
1,75	56	84	227,9	27,9	143,77	27,9	0,19	1,48
2,00	57	89	228,7	28,7	139,73	28,7	0,21	1,52
2,50	60	97	229,9	29,9	133,35	29,9	0,22	1,58
3,00	62	103	230,8	30,8	128,09	30,8	0,24	1,63
4,00	66	114	233,0	33,0	119,27	33,0	0,28	1,77
5,00	68	121	234,2	34,2	112,89	34,2	0,30	1,87
6,00	70	128	234,8	34,8	107,27	34,8	0,32	1,96
7,00	71	132	235,5	35,5	103,12	35,5	0,34	2,05
8,00	73	137	236,7	36,7	99,53	36,7	0,37	2,17
9,00	74	141	237,0	37,0	96,37	37,0	0,38	2,25
10,00	74	144	237,2	37,2	93,08	37,2	0,40	2,33
11,00	75	146	237,3	37,3	91,16	37,3	0,41	2,39
12,00	74	148	237,2	37,2	89,00	37,2	0,42	2,44
13,00	75	150	237,3	37,3	87,64	37,3	0,43	2,48
14,00	75	150	237,4	37,4	87,06	37,4	0,43	2,50

## Observaciones:

Muestra inalterada.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:

LSA

Ingresado por:

JCA

Revisado por:

CSM

Nº de Informe:

LAB-14.10.147

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)  
ASTM - D4767

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:

Cliente:

Ubicación del Proyecto:

Cód. de Muestra: CA-HU14-05

Nº de Muestra: M-1

Profundidad (m): 3,00

Nº de Proyecto:

Zona: Suelo de Cimentación

Nº de Informe:

Descripción: Suelo

Fecha: 13-ene-15

Solicitado Por:

Clasificación SUCS:

CH

Estado : Inalterado

Etapa de consolidación	Inicio	Final
Altura (cm)	15,16	14,67
Diámetro (cm)	7,12	6,95
Humedad (%)	73,04	61,87
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	0,922	0,998

Velocidad	0,025	(cm/min)
Parámetro "B"	0,92	
Presión de celda	293	kPa
Contra presión	193	kPa
Esf. Efect. Inicial	100	kPa

Deformación (%)	$\sigma_{desv}$ (kPa)	$\mu$ (kPa)	$p$ (kPa)	$q$ (kPa)	$p'$ (kPa)	$q'$ (kPa)	$q'/p'$	$(\sigma'_1/\sigma'_3)$
0,00	0	0	100,0	0,0	100,00	0,0	0,00	1,00
0,05	11	8	105,6	5,6	97,37	5,6	0,06	1,12
0,10	15	9	107,5	7,5	98,56	7,5	0,08	1,17
0,15	18	10	109,2	9,2	98,81	9,2	0,09	1,20
0,20	21	12	110,5	10,5	98,81	10,5	0,11	1,24
0,25	23	12	111,5	11,5	99,11	11,5	0,12	1,26
0,35	27	14	113,3	13,3	98,79	13,3	0,13	1,31
0,50	31	18	115,6	15,6	97,69	15,6	0,16	1,38
0,75	36	22	118,1	18,1	96,01	18,1	0,19	1,46
1,00	40	26	120,1	20,1	93,94	20,1	0,21	1,55
1,25	44	30	121,8	21,8	92,18	21,8	0,24	1,62
1,50	46	33	123,1	23,1	90,03	23,1	0,26	1,69
1,75	49	36	124,4	24,4	88,57	24,4	0,28	1,76
2,00	51	39	125,3	25,3	86,74	25,3	0,29	1,83
2,50	54	43	127,2	27,2	83,74	27,2	0,32	1,96
3,00	56	47	128,1	28,1	81,25	28,1	0,35	2,06
4,00	58	52	129,2	29,2	76,76	29,2	0,38	2,23
5,00	61	57	130,3	30,3	73,75	30,3	0,41	2,39
6,00	63	60	131,4	31,4	71,40	31,4	0,44	2,57
7,00	63	63	131,4	31,4	68,65	31,4	0,46	2,69
8,00	63	65	131,5	31,5	66,70	31,5	0,47	2,79
9,00	64	67	132,2	32,2	65,31	32,2	0,49	2,94
10,00	64	68	131,9	31,9	63,69	31,9	0,50	3,01
11,00	63	70	131,4	31,4	61,73	31,4	0,51	3,07
12,00	63	71	131,5	31,5	60,44	31,5	0,52	3,17
13,00	63	72	131,6	31,6	59,93	31,6	0,53	3,24
14,00	63	72	131,7	31,7	59,99	31,7	0,53	3,24

## Observaciones:

Muestra inalterada.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:

LSA

Ingresado por:

JCA

Revisado por:

CSM

Nº de Informe:

LAB-14.10.147

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:

Cliente:

Ubicación del Proyecto:

Cód. de Muestra: **PM-HU14-04**

Nº de Muestra: **M-1**

Profundidad (m): **0,0 - 0,25**

Nº de Proyecto:

Zona: **Playa de Relaves**

Nº de Informe:

Descripción: **Relave**

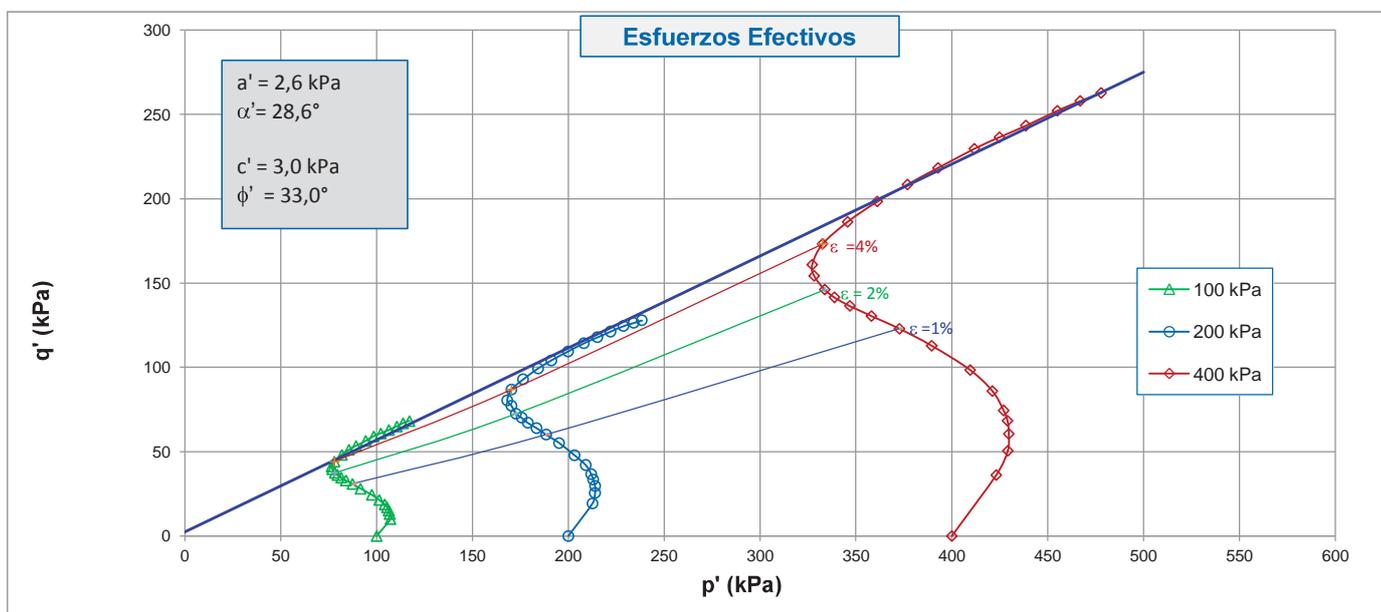
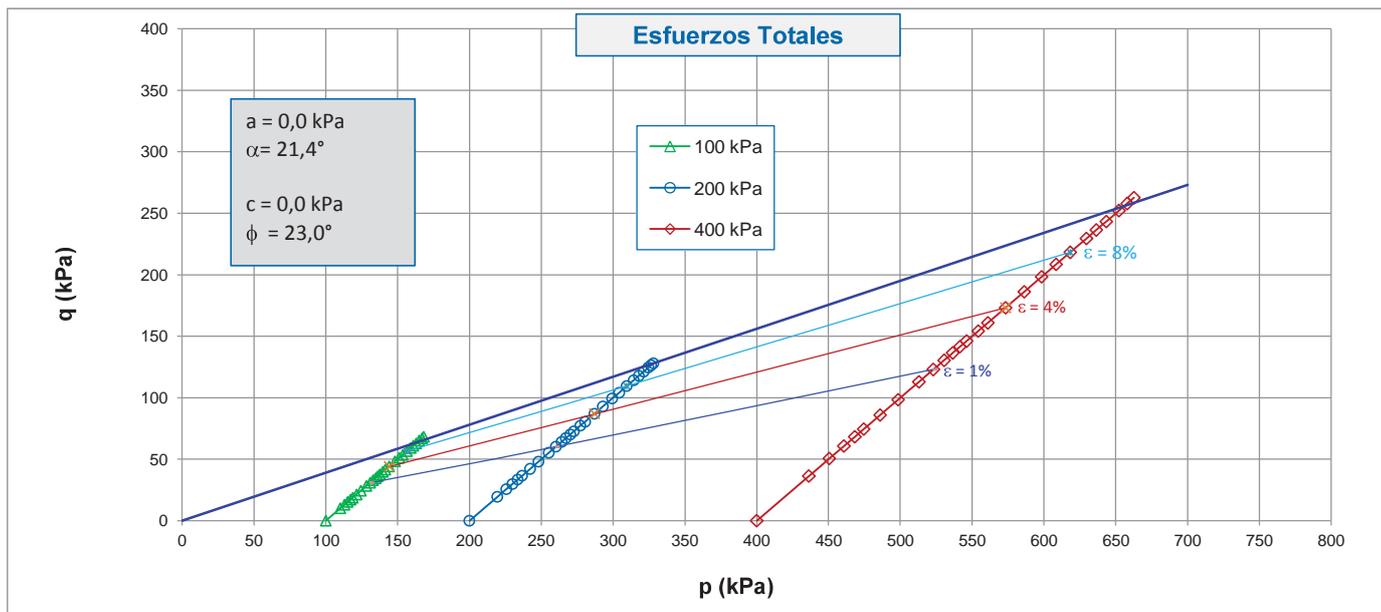
Fecha: **13/01/2015**

Solicitado Por:

Clasificación SUCS:

**CL**

Estado : Volteo



Observaciones:

Los especímenes fueron remodelados al volteo.

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso de ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:

LSA

Ingresado por:

JCA

Revisado por:

CSM

Nº de Informe:

LAB-14.10.147

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:

Cliente:

Ubicación del Proyecto:

Cód. de Muestra: **PM-HU14-04**

Nº de Muestra: **M-1**

Profundidad (m): **0,0 - 0,25**

Nº de Proyecto:

Zona: **Playa de Relaves**

Nº de Informe:

Descripción: **Relave**

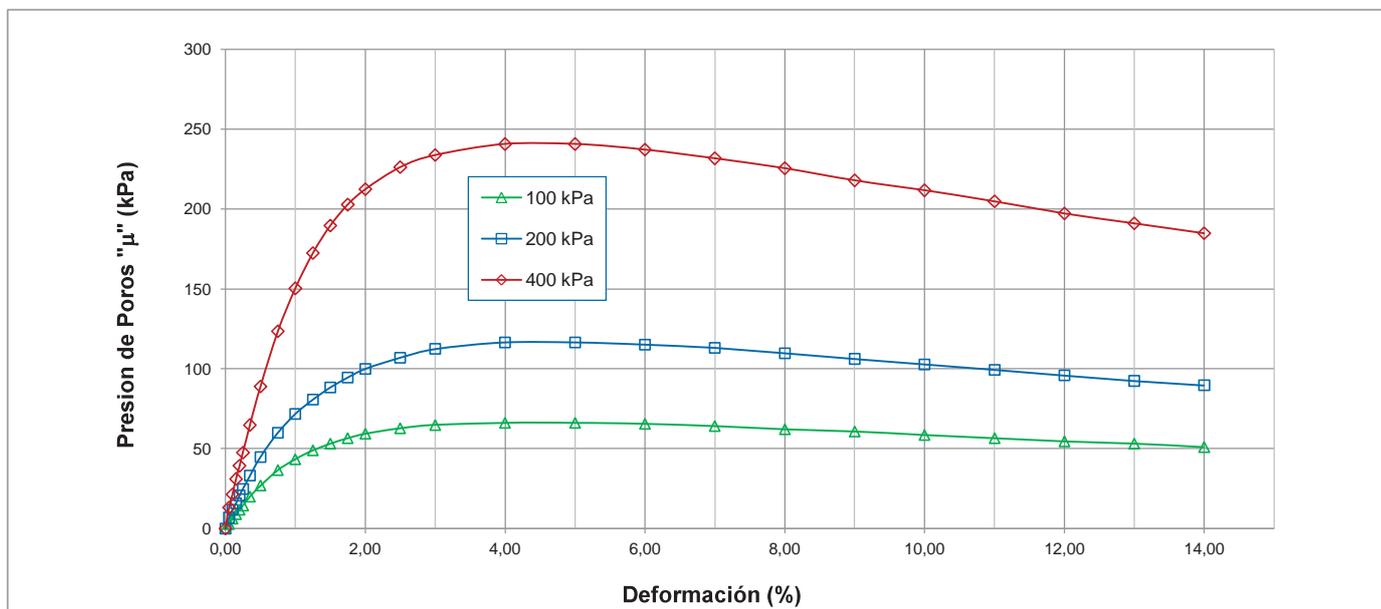
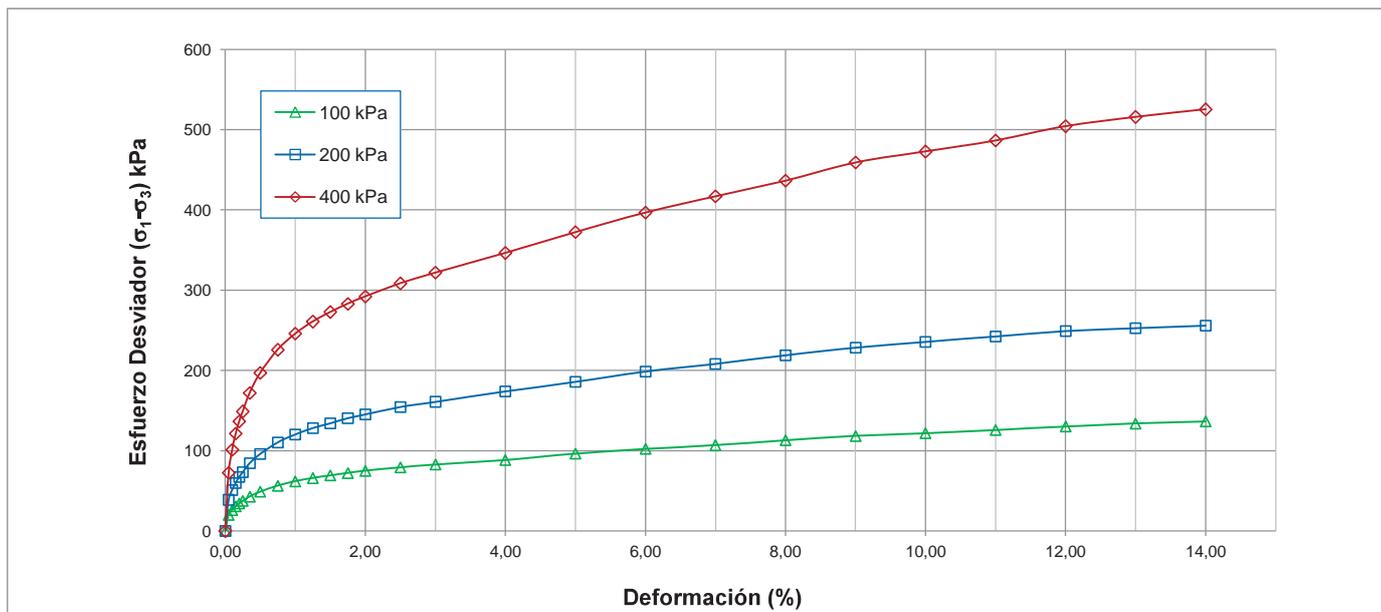
Fecha: **13/01/2015**

Solicitado Por:

Clasificación SUCS:

**CL**

Estado : Volteo



Observaciones:

Los especímenes fueron remodelados al volteo.

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso de ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:

LSA

Ingresado por:

JCA

Revisado por:

CSM

Nº de Informe:

LAB-14.10.147

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)  
ASTM - D4767

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:

Cliente:

Ubicación del Proyecto:

Cód. de Muestra: **PM-HU14-04**

Nº de Muestra: **M-1**

Profundidad (m): **0,0 - 0,25**

Nº de Proyecto:

Zona: **Playa de Relaves**

Nº de Informe:

Descripción: **Relave**

Fecha: **13/01/2015**

Solicitado Por:

Clasificación SUCS:

**CL**

Estado : Volteo

Etapa de consolidación	Inicio	Final
Altura (cm)	15,16	14,69
Diámetro (cm)	7,12	6,98
Humedad (%)	23,80	18,99
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,677	1,799

Velocidad	0,025	(cm/min)
Parámetro "B"	0,92	
Presión de celda	593	kPa
Contra presión	193	kPa
Esf. Efect. Inicial	400	kPa

Deformación (%)	$\sigma_{desv}$ (kPa)	$\mu$ (kPa)	p (kPa)	q (kPa)	p' (kPa)	q' (kPa)	q'/p'	( $\sigma'_1/\sigma'_3$ )
0,00	0	0	400,0	0,0	400,00	0,0	0,00	1,00
0,05	73	13	436,3	36,3	423,17	36,3	0,09	1,19
0,10	101	21	450,6	50,6	429,18	50,6	0,12	1,27
0,15	121	31	460,7	60,7	429,66	60,7	0,14	1,33
0,20	137	39	468,3	68,3	429,00	68,3	0,16	1,38
0,25	149	48	474,5	74,5	426,96	74,5	0,17	1,42
0,35	172	65	486,0	86,0	421,16	86,0	0,20	1,51
0,50	197	89	498,5	98,5	409,52	98,5	0,24	1,63
0,75	226	123	512,9	112,9	389,51	112,9	0,29	1,82
1,00	246	150	523,0	123,0	372,65	123,0	0,33	1,98
1,25	261	172	530,5	130,5	358,09	130,5	0,36	2,15
1,50	273	190	536,4	136,4	346,83	136,4	0,39	2,30
1,75	283	203	541,5	141,5	338,81	141,5	0,42	2,43
2,00	292	212	546,1	146,1	333,72	146,1	0,44	2,56
2,50	309	226	554,3	154,3	328,13	154,3	0,47	2,77
3,00	322	234	560,9	160,9	327,18	160,9	0,49	2,94
4,00	346	241	573,2	173,2	332,61	173,2	0,52	3,17
5,00	372	241	586,2	186,2	345,60	186,2	0,54	3,34
6,00	397	237	598,3	198,3	361,13	198,3	0,55	3,44
7,00	417	232	608,5	208,5	376,80	208,5	0,55	3,48
8,00	436	225	618,2	218,2	392,78	218,2	0,56	3,50
9,00	459	218	629,6	229,6	411,71	229,6	0,56	3,52
10,00	473	212	636,4	236,4	424,77	236,4	0,56	3,51
11,00	487	205	643,3	243,3	438,54	243,3	0,55	3,49
12,00	504	197	652,2	252,2	454,99	252,2	0,55	3,49
13,00	516	191	657,9	257,9	466,96	257,9	0,55	3,47
14,00	525	185	662,7	262,7	477,87	262,7	0,55	3,44

## Observaciones:

Los especímenes fueron remodelados al volteo.

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

Nº de Informe:

LSA

JCA

CSM

LAB-14.10.147

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:

Cliente:

Ubicación del Proyecto:

Cód. de Muestra: **PM-HU14-04**

Nº de Muestra: **M-1**

Profundidad (m): **0,0 - 0,25**

Nº de Proyecto:

Zona: **Playa de Relaves**

Nº de Informe:

Descripción: **Relave**

Fecha: **13/01/2015**

Solicitado Por:

Clasificación SUCS:

**CL**

Estado : Volteo

Etapa de consolidación	Inicio	Final
Altura (cm)	15,16	14,80
Diámetro (cm)	7,12	7,00
Humedad (%)	23,80	19,78
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,677	1,775

Velocidad	0,025	(cm/min)
Parámetro "B"	0,91	
Presión de celda	393	kPa
Contra presión	193	kPa
Esf. Efect. Inicial	200	kPa

Deformación (%)	$\sigma_{desv}$ (kPa)	$\mu$ (kPa)	$p$ (kPa)	$q$ (kPa)	$p'$ (kPa)	$q'$ (kPa)	$q'/p'$	$(\sigma'_1/\sigma'_3)$
0,00	0	0	200,0	0,0	200,00	0,0	0,00	1,00
0,05	39	7	219,5	19,5	212,56	19,5	0,09	1,20
0,10	51	12	225,6	25,6	213,87	25,6	0,12	1,27
0,15	60	16	229,8	29,8	213,99	29,8	0,14	1,32
0,20	67	21	233,6	33,6	212,90	33,6	0,16	1,37
0,25	73	25	236,7	36,7	211,88	36,7	0,17	1,42
0,35	84	33	242,2	42,2	209,08	42,2	0,20	1,51
0,50	96	45	248,0	48,0	203,17	48,0	0,24	1,62
0,75	110	60	255,2	55,2	195,23	55,2	0,28	1,79
1,00	120	72	260,2	60,2	188,47	60,2	0,32	1,94
1,25	128	81	264,1	64,1	183,44	64,1	0,35	2,07
1,50	134	88	267,2	67,2	178,91	67,2	0,38	2,20
1,75	140	94	270,2	70,2	175,75	70,2	0,40	2,33
2,00	145	100	272,6	72,6	172,64	72,6	0,42	2,45
2,50	155	107	277,3	77,3	170,39	77,3	0,45	2,66
3,00	161	112	280,5	80,5	168,13	80,5	0,48	2,84
4,00	174	117	286,9	86,9	170,40	86,9	0,51	3,08
5,00	186	117	292,9	92,9	176,41	92,9	0,53	3,23
6,00	199	115	299,4	99,4	184,25	99,4	0,54	3,34
7,00	208	113	304,2	104,2	191,10	104,2	0,55	3,40
8,00	219	110	309,5	109,5	199,90	109,5	0,55	3,42
9,00	229	106	314,3	114,3	208,10	114,3	0,55	3,44
10,00	236	103	317,9	117,9	215,15	117,9	0,55	3,42
11,00	243	99	321,3	121,3	221,98	121,3	0,55	3,41
12,00	249	96	324,5	124,5	228,71	124,5	0,54	3,39
13,00	253	92	326,4	126,4	234,02	126,4	0,54	3,35
14,00	256	90	328,0	128,0	238,35	128,0	0,54	3,32

## Observaciones:

Los especímenes fueron remodelados al volteo.

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

Nº de Informe:

LSA

JCA

CSM

LAB-14.10.147

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:

Cliente:

Ubicación del Proyecto:

Cód. de Muestra: **PM-HU14-04**

Nº de Muestra: **M-1**

Profundidad (m): **0,0 - 0,25**

Nº de Proyecto:

Zona: **Playa de Relaves**

Nº de Informe:

Descripción: **Relave**

Fecha: **13/01/2015**

Solicitado Por:

Clasificación SUCS:

**CL**

Estado : Volteo

Etapa de consolidación	Inicio	Final
Altura (cm)	15,16	14,86
Diámetro (cm)	7,12	7,05
Humedad (%)	23,80	21,60
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,677	1,744

Velocidad	0,025	(cm/min)
Parámetro "B"	0,90	
Presión de celda	293	kPa
Contra presión	193	kPa
Esf. Efect. Inicial	100	kPa

Deformación (%)	$\sigma_{desv}$ (kPa)	$\mu$ (kPa)	$p$ (kPa)	$q$ (kPa)	$p'$ (kPa)	$q'$ (kPa)	$q'/p'$	$(\sigma'_1/\sigma'_3)$
0,00	0	0	100,0	0,0	100,00	0,0	0,00	1,00
0,05	20	3	110,0	10,0	107,28	10,0	0,09	1,21
0,10	26	6	113,0	13,0	106,84	13,0	0,12	1,28
0,15	31	9	115,3	15,3	106,33	15,3	0,14	1,34
0,20	34	12	117,2	17,2	105,45	17,2	0,16	1,39
0,25	38	14	118,8	18,8	104,31	18,8	0,18	1,44
0,35	43	20	121,4	21,4	101,40	21,4	0,21	1,53
0,50	49	27	124,5	24,5	97,60	24,5	0,25	1,67
0,75	56	37	128,2	28,2	91,62	28,2	0,31	1,89
1,00	62	43	131,0	31,0	87,52	31,0	0,35	2,09
1,25	66	49	133,0	33,0	84,03	33,0	0,39	2,29
1,50	69	53	134,6	34,6	81,54	34,6	0,42	2,48
1,75	72	57	136,1	36,1	79,61	36,1	0,45	2,66
2,00	75	59	137,5	37,5	78,24	37,5	0,48	2,84
2,50	79	63	139,7	39,7	76,92	39,7	0,52	3,13
3,00	83	65	141,4	41,4	76,60	41,4	0,54	3,35
4,00	88	66	144,2	44,2	78,05	44,2	0,57	3,62
5,00	96	66	148,2	48,2	82,00	48,2	0,59	3,85
6,00	102	66	151,1	51,1	85,60	51,1	0,60	3,96
7,00	107	64	153,5	53,5	89,35	53,5	0,60	3,98
8,00	113	62	156,5	56,5	94,42	56,5	0,60	3,98
9,00	118	61	159,2	59,2	98,50	59,2	0,60	4,01
10,00	122	59	160,9	60,9	102,29	60,9	0,60	3,94
11,00	126	57	162,9	62,9	106,36	62,9	0,59	3,89
12,00	130	54	165,1	65,1	110,59	65,1	0,59	3,86
13,00	134	53	166,9	66,9	113,84	66,9	0,59	3,85
14,00	136	51	168,2	68,2	117,19	68,2	0,58	3,79

## Observaciones:

Los especímenes fueron remodelados al volteo.

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

Nº de Informe:

LSA

JCA

CSM

LAB-14.10.147

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:

Cliente:

Ubicación del Proyecto:

Cód. de Muestra: **PM-HU14-05**

Nº de Muestra: **M-1**

Profundidad (m): **0,0 - 0,6**

Nº de Proyecto:

Zona: **Playa de Relaves**

Nº de Informe:

Descripción: **Relave**

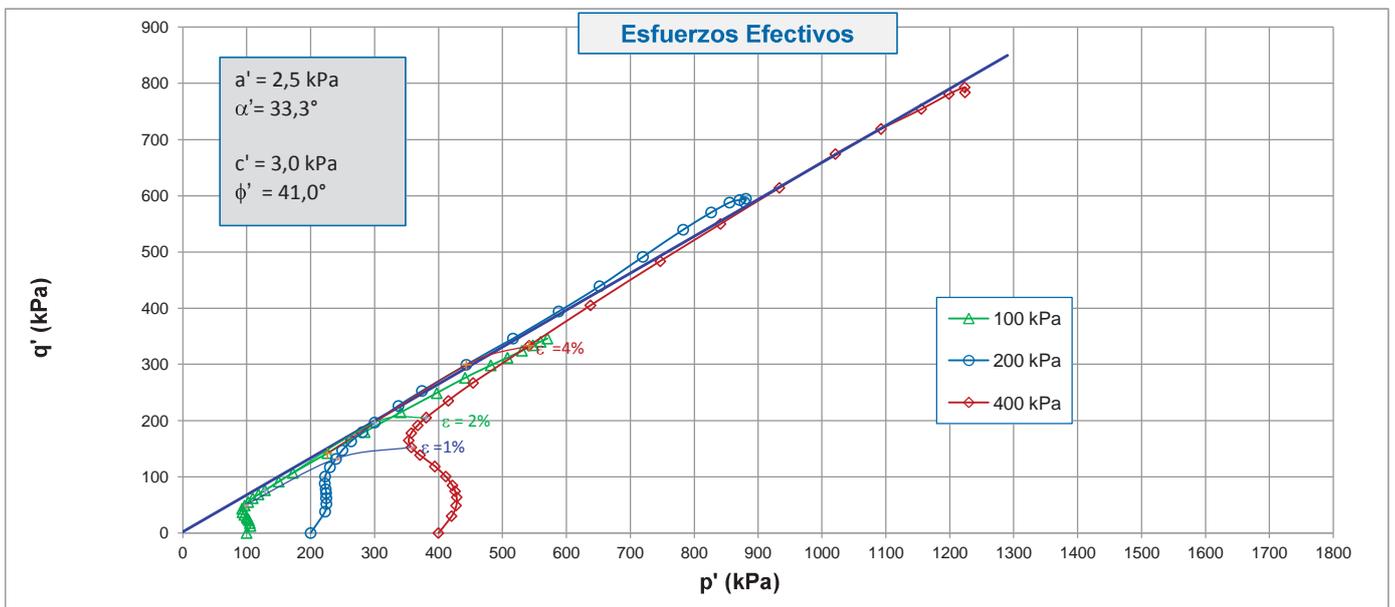
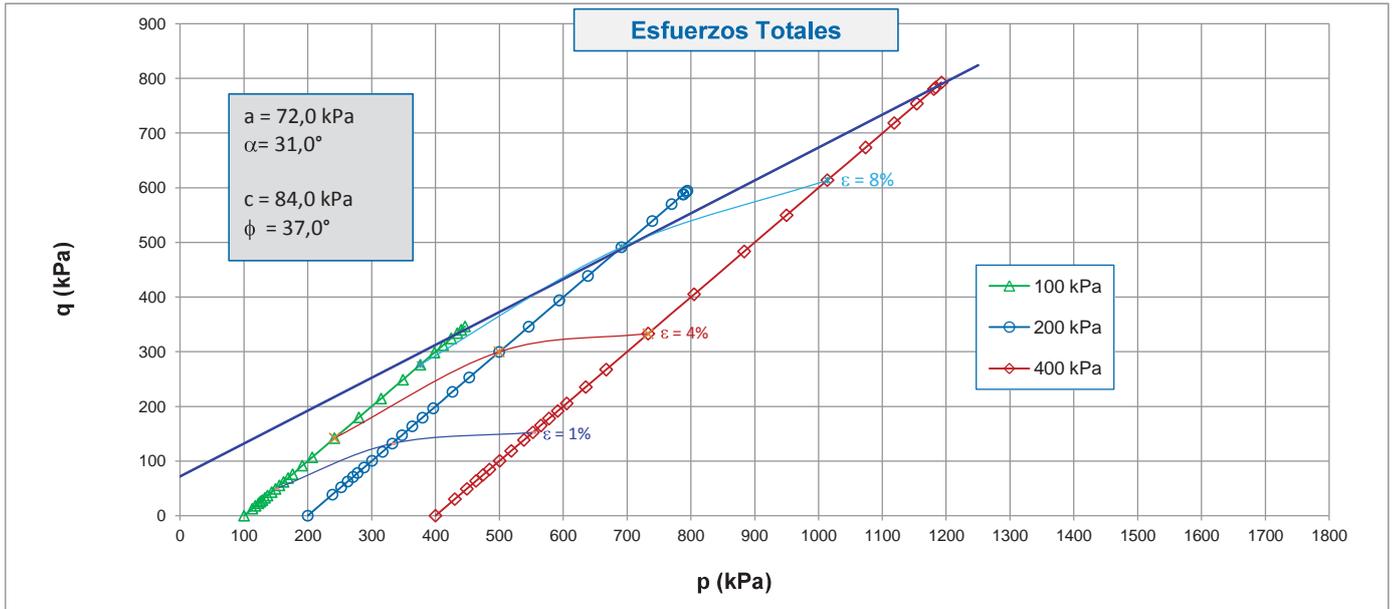
Fecha: **13/01/2015**

Solicitado Por:

Clasificación SUCS:

**ML**

Estado : Volteo



Observaciones:

Los especímenes fueron remodelados al volteo.

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso de ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:

LSA

Ingresado por:

JCA

Revisado por:

CSM

Nº de Informe:

LAB-14.10.147

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:

Cliente:

Ubicación del Proyecto:

Cód. de Muestra: **PM-HU14-05**

Nº de Muestra: **M-1**

Profundidad (m): **0,0 - 0,6**

Nº de Proyecto:

Zona: **Playa de Relaves**

Nº de Informe:

Descripción: **Relave**

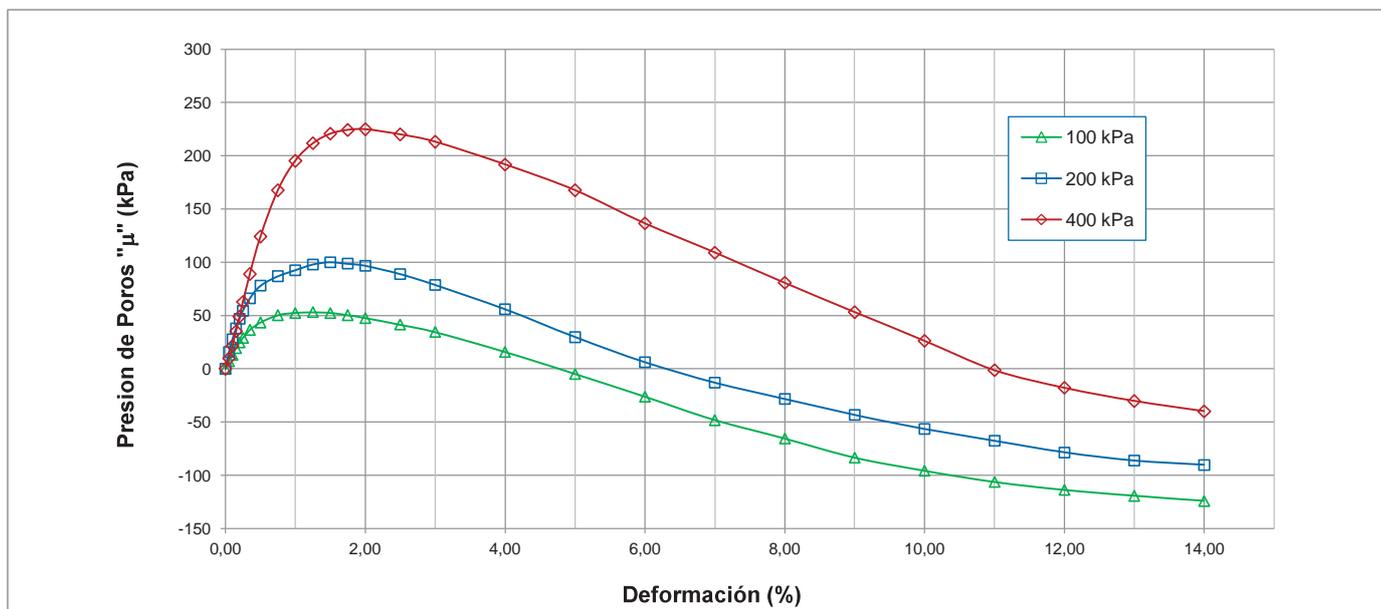
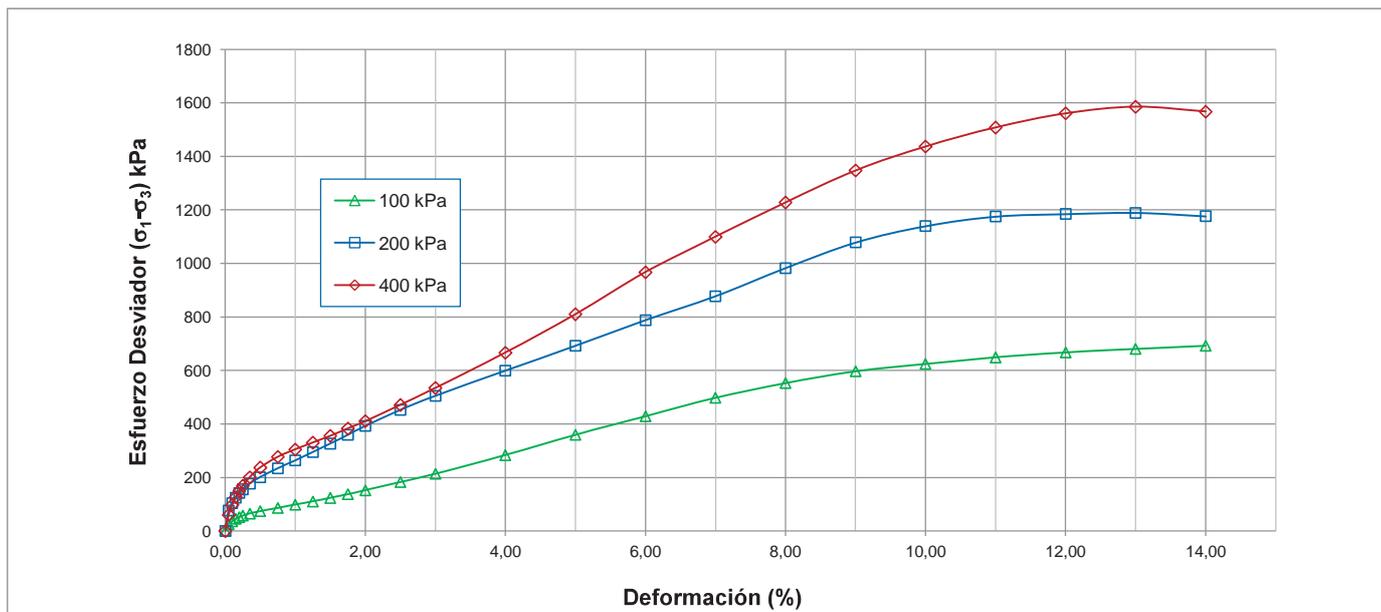
Fecha: **13/01/2015**

Solicitado Por:

Clasificación SUCS:

**ML**

Estado : Volteo



Observaciones:

Los especímenes fueron remodelados al volteo.

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso de ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:

LSA

Ingresado por:

JCA

Revisado por:

CSM

Nº de Informe:

LAB-14.10.147

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)  
ASTM - D4767

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:

Cliente:

Ubicación del Proyecto:

Cód. de Muestra: **PM-HU14-05**

Nº de Muestra: **M-1**

Profundidad (m): **0,0 - 0,6**

Nº de Proyecto:

Zona: **Playa de Relaves**

Nº de Informe:

Descripción: **Relave**

Fecha: **13/01/2015**

Solicitado Por:

Clasificación SUCS:

**ML**

Estado : Volteo

Etapa de consolidación	Inicio	Final
Altura (cm)	15,16	14,81
Diámetro (cm)	7,12	7,05
Humedad (%)	21,30	20,71
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,910	1,992

Velocidad	0,025	(cm/min)
Parámetro "B"	0,92	
Presión de celda	593	kPa
Contra presión	193	kPa
Esf. Efect. Inicial	400	kPa

Deformación (%)	$\sigma_{desv}$ (kPa)	$\mu$ (kPa)	$p$ (kPa)	$q$ (kPa)	$p'$ (kPa)	$q'$ (kPa)	$q'/p'$	$(\sigma'_1/\sigma'_3)$
0,00	0	0	400,0	0,0	400,00	0,0	0,00	1,00
0,05	60	10	430,2	30,2	420,60	30,2	0,07	1,15
0,10	98	21	449,1	49,1	427,68	49,1	0,11	1,26
0,15	127	35	463,6	63,6	428,41	63,6	0,15	1,35
0,20	149	49	474,7	74,7	425,74	74,7	0,18	1,43
0,25	169	63	484,6	84,6	421,81	84,6	0,20	1,50
0,35	201	89	500,5	100,5	411,54	100,5	0,24	1,65
0,50	237	124	518,6	118,6	394,47	118,6	0,30	1,86
0,75	277	168	538,6	138,6	371,05	138,6	0,37	2,19
1,00	305	195	552,4	152,4	357,30	152,4	0,43	2,49
1,25	330	212	565,1	165,1	353,39	165,1	0,47	2,75
1,50	356	221	578,0	178,0	357,37	178,0	0,50	2,98
1,75	383	224	591,5	191,5	367,41	191,5	0,52	3,18
2,00	411	225	605,4	205,4	380,63	205,4	0,54	3,34
2,50	471	220	635,5	235,5	415,51	235,5	0,57	3,62
3,00	535	213	667,3	267,3	454,21	267,3	0,59	3,86
4,00	666	192	733,2	333,2	541,54	333,2	0,62	4,20
5,00	810	168	805,1	405,1	637,60	405,1	0,64	4,49
6,00	967	137	883,5	483,5	747,00	483,5	0,65	4,67
7,00	1100	109	949,8	549,8	840,91	549,8	0,65	4,78
8,00	1228	81	1013,9	613,9	933,28	613,9	0,66	4,85
9,00	1348	53	1073,8	673,8	1020,69	673,8	0,66	4,88
10,00	1437	26	1118,6	718,6	1092,39	718,6	0,66	4,84
11,00	1508	-1	1154,0	754,0	1155,35	754,0	0,65	4,76
12,00	1561	-18	1180,5	780,5	1198,46	780,5	0,65	4,74
13,00	1586	-30	1192,8	792,8	1223,09	792,8	0,65	4,68
14,00	1567	-40	1183,6	783,6	1223,63	783,6	0,64	4,56

## Observaciones:

Los especímenes fueron remodelados al volteo.

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

Nº de Informe:

LSA

JCA

CSM

LAB-14.10.147

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)  
ASTM - D4767

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:

Cliente:

Ubicación del Proyecto:

Cód. de Muestra: **PM-HU14-05**

Nº de Muestra: **M-1**

Profundidad (m): **0,0 - 0,6**

Nº de Proyecto:

Zona: **Playa de Relaves**

Nº de Informe:

Descripción: **Relave**

Fecha: **13/01/2015**

Solicitado Por:

Clasificación SUCS:

**ML**

Estado : Volteo

Etapa de consolidación	Inicio	Final
Altura (cm)	15,16	14,92
Diámetro (cm)	7,12	7,08
Humedad (%)	21,30	19,56
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,910	1,960

Velocidad	0,025	(cm/min)
Parámetro "B"	0,90	
Presión de celda	393	kPa
Contra presión	193	kPa
Esf. Efect. Inicial	200	kPa

Deformación (%)	$\sigma_{desv}$ (kPa)	$\mu$ (kPa)	p (kPa)	q (kPa)	p' (kPa)	q' (kPa)	q'/p'	( $\sigma'_1/\sigma'_3$ )
0,00	0	0	200,0	0,0	200,00	0,0	0,00	1,00
0,05	77	16	238,4	38,4	222,55	38,4	0,17	1,42
0,10	104	28	252,1	52,1	224,48	52,1	0,23	1,60
0,15	125	38	262,3	62,3	224,40	62,3	0,28	1,77
0,20	142	47	270,9	70,9	224,05	70,9	0,32	1,93
0,25	156	54	278,0	78,0	223,57	78,0	0,35	2,07
0,35	176	66	288,2	88,2	222,03	88,2	0,40	2,32
0,50	201	78	300,7	100,7	222,80	100,7	0,45	2,65
0,75	234	87	317,0	117,0	230,16	117,0	0,51	3,07
1,00	264	92	332,2	132,2	239,77	132,2	0,55	3,46
1,25	295	98	347,4	147,4	249,54	147,4	0,59	3,89
1,50	327	100	363,4	163,4	263,43	163,4	0,62	4,27
1,75	359	99	379,5	179,5	280,93	179,5	0,64	4,54
2,00	393	97	396,5	196,5	300,01	196,5	0,66	4,80
2,50	453	89	426,4	226,4	337,45	226,4	0,67	5,08
3,00	506	79	452,8	252,8	374,16	252,8	0,68	5,16
4,00	599	56	499,6	299,6	443,74	299,6	0,68	5,16
5,00	692	30	546,1	346,1	516,44	346,1	0,67	5,06
6,00	788	6	594,0	394,0	587,83	394,0	0,67	5,07
7,00	878	-13	638,8	438,8	651,88	438,8	0,67	5,12
8,00	983	-28	691,4	491,4	719,63	491,4	0,68	5,31
9,00	1079	-43	739,4	539,4	782,83	539,4	0,69	5,43
10,00	1140	-57	770,0	570,0	826,51	570,0	0,69	5,44
11,00	1176	-68	787,8	587,8	855,35	587,8	0,69	5,39
12,00	1185	-79	792,4	592,4	871,05	592,4	0,68	5,25
13,00	1189	-86	794,6	594,6	880,75	594,6	0,68	5,16
14,00	1177	-90	788,5	588,5	878,81	588,5	0,67	5,05

## Observaciones:

Los especímenes fueron remodelados al volteo.

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

Nº de Informe:

LSA

JCA

CSM

LAB-14.10.147

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

# ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:

Cliente:

Ubicación del Proyecto:

Cód. de Muestra: **PM-HU14-05**

Nº de Muestra: **M-1**

Profundidad (m): **0,0 - 0,6**

Nº de Proyecto:

Zona: **Playa de Relaves**

Nº de Informe:

Descripción: **Relave**

Fecha: **13/01/2015**

Solicitado Por:

Clasificación SUCS:

**ML**

Estado : Volteo

Etapa de consolidación	Inicio	Final
Altura (cm)	15,16	14,99
Diámetro (cm)	7,12	7,11
Humedad (%)	21,30	17,80
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,910	1,936

Velocidad	0,025	(cm/min)
Parámetro "B"	0,90	
Presión de celda	293	kPa
Contra presión	193	kPa
Esf. Efect. Inicial	100	kPa

Deformación (%)	$\sigma_{desv}$ (kPa)	$\mu$ (kPa)	$p$ (kPa)	$q$ (kPa)	$p'$ (kPa)	$q'$ (kPa)	$q'/p'$	$(\sigma'_1/\sigma'_3)$
0,00	0	0	100,0	0,0	100,00	0,0	0,00	1,00
0,05	26	7	112,9	12,9	106,03	12,9	0,12	1,28
0,10	36	13	117,9	17,9	104,84	17,9	0,17	1,41
0,15	46	19	122,8	22,8	103,52	22,8	0,22	1,57
0,20	52	25	125,9	25,9	101,12	25,9	0,26	1,69
0,25	57	29	128,6	28,6	99,60	28,6	0,29	1,80
0,35	65	37	132,7	32,7	96,12	32,7	0,34	2,03
0,50	74	43	137,0	37,0	93,55	37,0	0,40	2,31
0,75	86	50	143,2	43,2	92,92	43,2	0,47	2,74
1,00	98	52	149,2	49,2	96,83	49,2	0,51	3,07
1,25	111	53	155,3	55,3	102,22	55,3	0,54	3,36
1,50	124	52	162,0	62,0	109,57	62,0	0,57	3,60
1,75	138	50	168,8	68,8	118,51	68,8	0,58	3,77
2,00	152	48	176,2	76,2	128,60	76,2	0,59	3,91
2,50	183	41	191,5	91,5	150,08	91,5	0,61	4,12
3,00	214	34	206,9	106,9	172,46	106,9	0,62	4,26
4,00	284	16	241,9	141,9	226,01	141,9	0,63	4,37
5,00	360	-5	279,9	179,9	284,69	179,9	0,63	4,43
6,00	429	-26	314,5	214,5	340,74	214,5	0,63	4,40
7,00	498	-48	348,8	248,8	397,05	248,8	0,63	4,36
8,00	552	-66	376,2	276,2	441,74	276,2	0,63	4,34
9,00	597	-83	398,5	298,5	481,90	298,5	0,62	4,25
10,00	624	-96	412,1	312,1	507,95	312,1	0,61	4,19
11,00	649	-106	424,5	324,5	530,67	324,5	0,61	4,15
12,00	668	-114	434,0	334,0	547,73	334,0	0,61	4,12
13,00	681	-119	440,3	340,3	559,59	340,3	0,61	4,10
14,00	692	-124	446,2	346,2	570,30	346,2	0,61	4,09

## Observaciones:

Los especímenes fueron remodelados al volteo.

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

Nº de Informe:

LSA

JCA

CSM

LAB-14.10.147

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

# CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

## PARED FLEXIBLE ASTM D-5084

### LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del proyecto:

Cliente:

Ubicación del proyecto:

Cód. de muestra: **CA-HU14-02**

Nº de muestra: **M-1**

Profundidad (m): **3,50**

Nº de proyecto:

Zona: **Suelo de Cimentación**

Nº de Informe:

Descripción: **Suelo**

Fecha: **13/01/2015**

Solicitado por:

#### Datos del Ensayo

Estado de la muestra: **Muestra Inalterada**  
 Clasificación SUCS: **CL**  
 Confinamiento efectivo: **200 kPa**

#### Calculo del Parámetro B

Presión de Poros (PSI)	Presión de Celda (PSI)	B
54,0	56,3	0,95
27,4	28,2	

Diámetro (cm)	7,12		
Altura (cm)	15,16		
Gravedad de Sólidos	2,61		
Densidad inicial seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1,53	Densidad final seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1,53
Humedad Inicial (%)	20,3	Humedad final (%)	26,3
Saturación inicial (%)	75	Saturación final (%)	97

#### Medición del Coeficiente de Permeabilidad

Nº	Gradiente (Dh/l)	Vol ( V ) ( cm <sup>3</sup> )	Caudal ( Q ) ( cm <sup>3</sup> /s )	Perm. ( K <sub>T</sub> ) ( cm/s )	T °C	KT20°C ( cm/s )
1	24,97	0,06	1,0E-04	1,0E-07	25,0	8,9E-08
2	24,87	0,16	1,3E-04	1,3E-07	25,0	1,2E-07
3	24,77	0,14	1,2E-04	1,2E-07	25,0	1,1E-07
4	24,68	0,14	1,2E-04	1,2E-07	25,0	1,1E-07
5	24,59	0,14	1,2E-04	1,2E-07	25,0	1,1E-07
6	24,51	0,12	1,0E-04	1,0E-07	25,0	9,1E-08
7	24,42	0,14	1,2E-04	1,2E-07	25,0	1,1E-07
8	24,29	0,20	1,1E-04	1,1E-07	25,0	1,0E-07
9	24,15	0,20	1,1E-04	1,2E-07	25,0	1,0E-07
<b>Promedio</b>	<b>24,58</b>	<b>0,14</b>		<b>1,2E-07</b>	<b>25,0</b>	<b>1,0E-07</b>

#### Observación:

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.  
 Ensayo de carga constante.

Realizado por:

LS

Ingresado por:

JCA

Revisado por:

CSM

Nº de informe:

LAB-14.10.147

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

# CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

## PARED FLEXIBLE ASTM D-5084

### LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del proyecto:

Cliente:

Ubicación del proyecto:

Cód. de muestra: **CA-HU14-04**

Nº de muestra: **M-1**

Profundidad (m): **2,50**

Nº de proyecto:

Zona: **Suelo de Cimentación**

Nº de Informe:

Descripción: **Suelo**

Fecha: **13/01/2015**

Solicitado por:

#### Datos del Ensayo

Estado de la muestra: **Muestra Inalterada**  
 Clasificación SUCS: **CL**  
 Confinamiento efectivo: **200 kPa**

#### Calculo del Parámetro B

Presión de Poros (PSI)	Presión de Celda (PSI)	B
54,2	56,2	0,95
27,5	28,2	

Diámetro (cm)	7,12
Altura (cm)	15,16
Gravedad de Sólidos	2,68

Densidad inicial seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1,14	Densidad final seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1,14
Humedad Inicial (%)	38,1	Humedad final (%)	63,0
Saturación inicial (%)	76	Saturación final (%)	99

#### Medición del Coeficiente de Permeabilidad

Nº	Gradiente (Dh/l)	Vol ( V ) ( cm <sup>3</sup> )	Caudal ( Q ) ( cm <sup>3</sup> /s )	Perm. ( K <sub>T</sub> ) ( cm/s )	T °C	KT20°C ( cm/s )
1	24,97	0,06	1,0E-04	1,0E-07	25,0	8,9E-08
2	24,90	0,10	8,3E-05	8,4E-08	25,0	7,5E-08
3	24,84	0,10	8,3E-05	8,4E-08	25,0	7,5E-08
4	24,78	0,08	6,7E-05	6,8E-08	25,0	6,0E-08
5	24,68	0,16	8,9E-05	9,0E-08	25,0	8,0E-08
6	24,60	0,12	6,7E-05	6,8E-08	25,0	6,1E-08
7	24,48	0,18	7,5E-05	7,7E-08	25,0	6,8E-08
8	24,36	0,18	7,5E-05	7,7E-08	25,0	6,9E-08
9	24,19	0,26	7,2E-05	7,5E-08	25,0	6,7E-08
<b>Promedio</b>	<b>24,64</b>	<b>0,14</b>		<b>8,0E-08</b>	<b>25,0</b>	<b>7,2E-08</b>

#### Observación:

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.  
 Ensayo de carga constante.

Realizado por:

LS

Ingresado por:

JCA

Revisado por:

CSM

Nº de informe:

LAB-14.10.147

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

# CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

## PARED FLEXIBLE ASTM D-5084

### LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del proyecto:

Cliente:

Ubicación del proyecto:

Cód. de muestra: **PM-HU14-04**  
 Profundidad (m): **0,0 - 0,25**  
 Zona: **Playa de Relaves**

Nº de muestra: **M-1**

Nº de proyecto:

Nº de Informe:

Descripción: **Relave**

Fecha: **13/01/2015**

Solicitado por:

#### Datos del Ensayo

Estado de la muestra: **Remoldeada a la Densidad Seca = 1,677g/cm<sup>3</sup> w = 23,8 %**  
 Clasificación SUCS: **CL**  
 Confinamiento efectivo: **200 kPa**

#### Calculo del Parámetro B

Presión de Poros (PSI)	Presión de Celda (PSI)	B
52,9	56,3	0,95
27,0	28,9	

Diámetro (cm)	7,12	
Altura (cm)	15,16	
Gravedad de Sólidos	3,02	
Densidad inicial seca(gr/cm <sup>3</sup> )	1,68	Densidad final seca(gr/cm <sup>3</sup> )
1,78		
Humedad Inicial (%)	23,8	Humedad final (%)
22,9		
Saturación inicial (%)	90	Saturación final (%)
99		

#### Medición del Coeficiente de Permeabilidad

Nº	Gradiente (Dh/l)	Vol ( V ) ( cm <sup>3</sup> )	Caudal ( Q ) ( cm <sup>3</sup> /s )	Perm. ( K <sub>T</sub> ) ( cm/s )	T °C	KT20°C ( cm/s )
1	19,89	0,16	3,3E-04	4,2E-07	25,0	3,7E-07
2	19,79	0,16	3,3E-04	4,2E-07	25,0	3,8E-07
3	19,65	0,20	3,3E-04	4,3E-07	25,0	3,8E-07
4	19,54	0,18	3,0E-04	3,9E-07	25,0	3,4E-07
5	19,40	0,20	3,3E-04	4,3E-07	25,0	3,8E-07
6	19,29	0,18	3,0E-04	3,9E-07	25,0	3,5E-07
7	19,17	0,18	3,0E-04	3,9E-07	25,0	3,5E-07
8	19,05	0,18	3,0E-04	4,0E-07	25,0	3,5E-07
9	18,93	0,18	3,0E-04	4,0E-07	25,0	3,5E-07
<b>Promedio</b>	<b>19,41</b>	<b>0,18</b>		<b>4,1E-07</b>	<b>25,0</b>	<b>3,6E-07</b>

#### Observación:

- Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.
- Ensayo de carga constante.
- Los especímenes fueron remoldeados al volteo.

Realizado por:

LS

Ingresado por:

JCA

Revisado por:

CSM

Nº de informe:

LAB-14.10.147

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

# CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

## PARED FLEXIBLE ASTM D-5084

### LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del proyecto:

Cliente:

Ubicación del proyecto:

Cód. de muestra: **PM-HU14-05**

Nº de muestra: **M-1**

Profundidad (m): **0,0 - 0,6**

Nº de proyecto:

Zona: **Playa de Relaves**

Nº de Informe:

Descripción: **Relave**

Fecha: **13/01/2015**

Solicitado por:

#### Datos del Ensayo

Estado de la muestra: **Remoldeada a la Densidad Seca = 1,91 gr/cm<sup>3</sup> y O.C.H. = 21,3 %**  
 Clasificación SUCS: **ML**  
 Confinamiento efectivo: **200 kPa**

#### Calculo del Parámetro B

Presión de Poros (PSI)	Presión de Celda (PSI)	B
52,9	56,0	0,96
27,0	28,9	

Diámetro (cm)	7,12		
Altura (cm)	15,16		
Gravedad de Sólidos	3,07		
Densidad inicial seca(gr/cm <sup>3</sup> )	1,91	Densidad final seca(gr/cm <sup>3</sup> )	1,96
Humedad Inicial (%)	21,3	Humedad final (%)	19,6
Saturación inicial (%)	95	Saturación final (%)	99

#### Medición del Coeficiente de Permeabilidad

Nº	Gradiente (Dh/l)	Vol ( V ) ( cm <sup>3</sup> )	Caudal ( Q ) ( cm <sup>3</sup> /s )	Perm. ( K <sub>T</sub> ) ( cm/s )	T °C	KT20°C ( cm/s )
1	3,19	0,16	5,33E-03	5,17E-05	26	4,49E-05
2	3,07	0,18	6,00E-03	5,92E-05	26	5,14E-05
3	2,98	0,14	4,67E-03	4,68E-05	26	4,07E-05
4	2,88	0,16	5,33E-03	5,43E-05	26	4,72E-05
5	2,80	0,12	4,00E-03	4,14E-05	26	3,60E-05
6	2,69	0,16	5,33E-03	5,60E-05	26	4,87E-05
7	2,61	0,12	4,00E-03	4,26E-05	26	3,71E-05
8	2,52	0,14	4,67E-03	5,05E-05	26	4,39E-05
9	2,35	0,26	4,33E-03	4,79E-05	26	4,17E-05
<b>Promedio</b>	<b>2,79</b>	<b>0,16</b>		<b>5,0E-05</b>	<b>26,0</b>	<b>4,4E-05</b>

#### Observación:

- Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.
- Ensayo de carga constante.
- Los especímenes fueron remoldeados al volteo.

Realizado por:

LS

Ingresado por:

JCA

Revisado por:

CSM

Nº de informe:

LAB-14.10.147

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

## ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FISICAS

(ASTM - D2216; D422; D4318; D427; D2487; D-3282)

Informe :  
Solicitante :  
Proyecto :

Fecha : Enero, 2015

Ubicación :

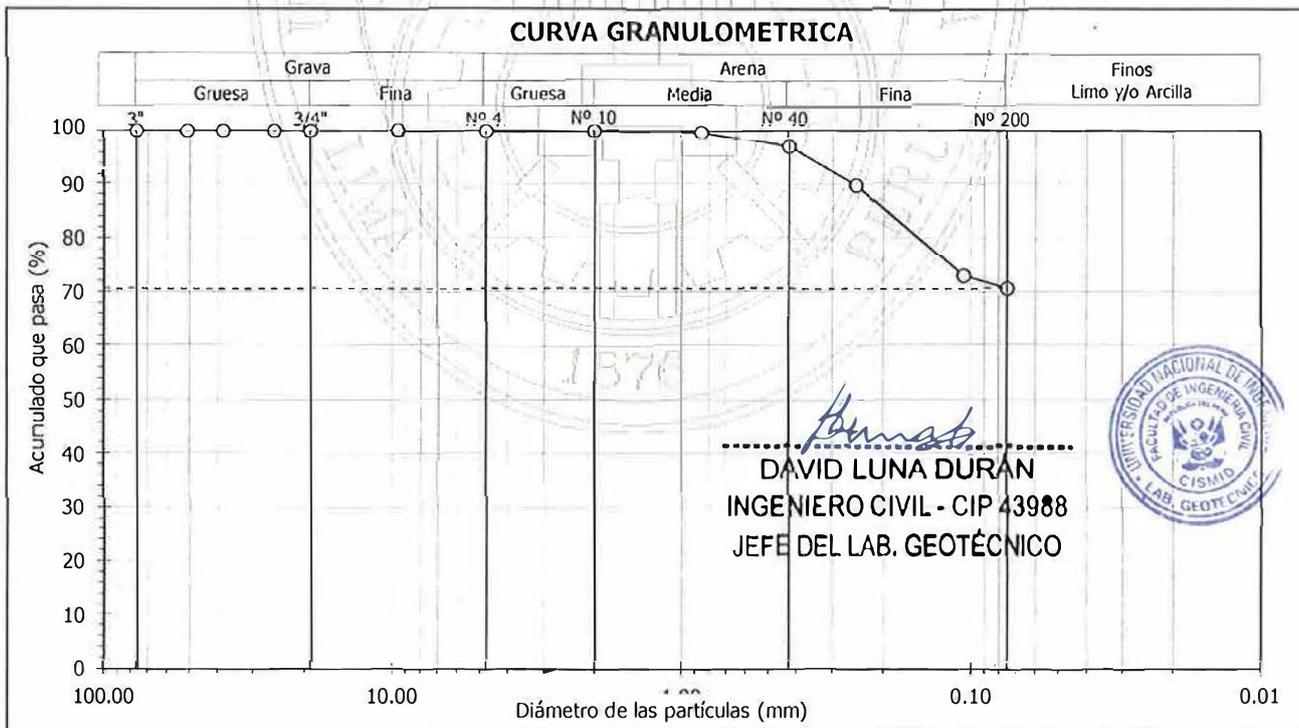
Sondaje : CA-HUA14-02  
Muestra : M - 1  
Profundidad (m) : 3.50

Hoja : 1 de 1

Granulometría por tamizado - D422		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1½"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
¾"	19.050	100.0
3/8"	9.525	100.0
Nº 4	4.750	100.0
Nº 10	2.000	99.9
Nº 20	0.850	99.7
Nº 40	0.425	96.9
Nº 60	0.250	89.7
Nº 140	0.106	72.9
Nº 200	0.075	70.6

Contenido de humedad - D2216		(%)	31.3
Límites de consistencia	Límite Líquido	(%)	32
	Límite Plástico D4318	(%)	22
	Índice de Plasticidad	(%)	10
Resultados de granulometría por tamizado	Límite de Contracción - D427	(%)	---
	Coefficiente de Uniformidad (Cu)		---
	Coefficiente de Curvatura (Cc)		---
	Grava [ Nº 4 < $\phi$ < 3" ]	(%)	0.0
	Arena [ Nº 200 < $\phi$ < Nº 4 ]	(%)	29.4
Finos [ $\phi$ < Nº 200 ]	(%)	70.6	

Clasificación - D3282 / D2487	
AASHTO	SUCS
<b>A-4 (6)</b>	<b>CL Arcilla delgada con arena</b>



Observación : La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante.

## CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL (ASTM-D2435)

INFORME :  
SOLICITANTE :  
PROYECTO :

Fecha : Enero, 2015

UBICACION :

Sondaje : CA-HUA14-02  
Muestra : M - 1  
Profundidad (m) : 3.50

Hoja : 1 de 3  
Estado : Inalterado  
SUCS : CL

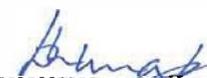
DATOS DEL ESPECIMEN	
Altura (cm)	1.95
Diámetro (cm)	6.00
Gravedad de Sólidos (G <sub>s</sub> )	2.65

Humedad inicial (%)	29.8
Humedad final (%)	21.4
Saturación inicial (%)	88.0
Saturación final (%)	99.0

ETAPA DE CARGA									
Carga Aplicada (kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura Final (mm)	Asent. (mm)	Altura			Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Relación de Vacíos (e)	Deform. Vertical (%)	Coefic. de consolid. (cm <sup>2</sup> /min)
			Final (mm)	Promedio (mm)	Drenada (mm)				
0.00	10.493	0.000	19.500	19.500	9.750	1.394	0.897	0.00	---
0.05	10.277	0.216	19.284	19.392	9.696	1.410	0.876	1.11	0.96
0.10	10.209	0.284	19.216	19.250	9.625	1.415	0.869	1.46	0.50
0.20	10.081	0.412	19.088	19.152	9.576	1.425	0.857	2.11	0.71
0.40	9.765	0.728	18.772	18.930	9.465	1.449	0.826	3.73	0.69
0.80	9.363	1.130	18.370	18.571	9.286	1.480	0.787	5.79	1.04
1.60	8.697	1.796	17.704	18.037	9.019	1.536	0.722	9.21	0.84
3.20	7.995	2.498	17.002	17.353	8.677	1.599	0.654	12.81	0.76
6.40	7.155	3.338	16.162	16.582	8.291	1.682	0.572	17.12	1.05

ETAPA DE DESCARGA									
Carga Aplicada (kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura Final (mm)	Asent. (mm)	Altura			Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Relación de Vacíos (e)	Deform. Vertical (%)	Coefic. de consolid. (cm <sup>2</sup> /min)
			Final (mm)	Promedio (mm)	Drenada (mm)				
6.40	7.155	3.338	16.162	16.162	8.081	1.682	0.572	17.12	---
3.20	7.181	3.312	16.188	14.506	7.253	1.680	0.575	16.98	---
1.60	7.237	3.256	16.244	14.547	7.274	1.674	0.580	16.70	---
0.80	7.325	3.168	16.332	14.619	7.310	1.665	0.589	16.25	---
0.40	7.381	3.112	16.388	14.691	7.346	1.659	0.594	15.96	---
0.20	7.498	2.995	16.505	14.778	7.389	1.647	0.605	15.36	---
0.10	7.620	2.873	16.627	14.897	7.449	1.635	0.617	14.73	---

Observaciones : La muestra ha sido proporcionada e identificada por el solicitante.

  
**DAVID LUNA DURÁN**  
 INGENIERO CIVIL - CIP 43988  
 JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO



## CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL (ASTM-D2435)

INFORME

Fecha : Enero, 2015

SOLICITANTE : *[Faint text]*

PROYECTO : *[Faint text]*

UBICACION : *[Faint text]*

Sondaje : CA-HUA14-02

Hoja : 2 de 3

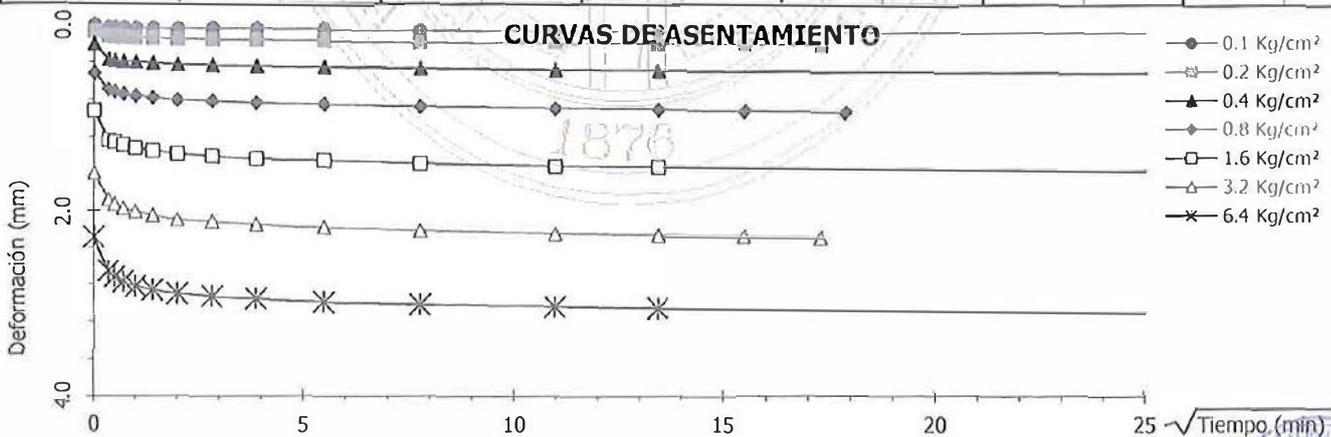
Muestra : M - 1

Estado : Inalterado

Profundidad (m) : 3.50

SUCS : CL

DETALLE DE LA ETAPA DE CARGA													
0.1 Kg/cm <sup>2</sup>		0.2 Kg/cm <sup>2</sup>		0.4 Kg/cm <sup>2</sup>		0.8 Kg/cm <sup>2</sup>		1.6 Kg/cm <sup>2</sup>		3.2 Kg/cm <sup>2</sup>		6.4 Kg/cm <sup>2</sup>	
Tiempo (min)	Def. (mm)	Tiempo (min)	Def. (mm)	Tiempo (min)	Def. (mm)	Tiempo (min)	Def. (mm)	Tiempo (min)	Def. (mm)	Tiempo (min)	Def. (mm)	Tiempo (min)	Def. (mm)
0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.13	0.028	0.13	0.050	0.13	0.171	0.13	0.175	0.13	0.318	0.13	0.300	0.13	0.370
0.25	0.028	0.25	0.054	0.25	0.179	0.25	0.197	0.25	0.334	0.25	0.347	0.25	0.433
0.5	0.030	0.5	0.060	0.5	0.188	0.5	0.222	0.5	0.365	0.5	0.392	0.5	0.484
1	0.034	1	0.066	1	0.196	1	0.243	1	0.402	1	0.430	1	0.535
2	0.036	2	0.072	2	0.209	2	0.264	2	0.431	2	0.472	2	0.574
4	0.038	4	0.078	4	0.220	4	0.285	4	0.460	4	0.512	4	0.608
8	0.040	8	0.087	8	0.233	8	0.302	8	0.491	8	0.539	8	0.644
15	0.042	15	0.091	15	0.242	15	0.320	15	0.518	15	0.570	15	0.667
30	0.044	30	0.098	30	0.253	30	0.337	30	0.535	30	0.602	30	0.702
60	0.048	60	0.106	60	0.262	60	0.356	60	0.563	60	0.630	60	0.728
120	0.052	120	0.114	120	0.276	120	0.374	120	0.592	120	0.662	120	0.747
180	0.055	180	0.120	180	0.284	180	0.385	180	0.602	180	0.679	180	0.766
3985	0.068	240	0.124	1130	0.316	240	0.394	1130	0.666	240	0.692	1125	0.832
		300	0.128			320	0.402			300	0.702	1185	0.840
												1245	0.840



*[Signature]*  
**DAVID LUNA DURÁN**  
 INGENIERO CIVIL - CIP 43988



## CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL (ASTM-D2435)

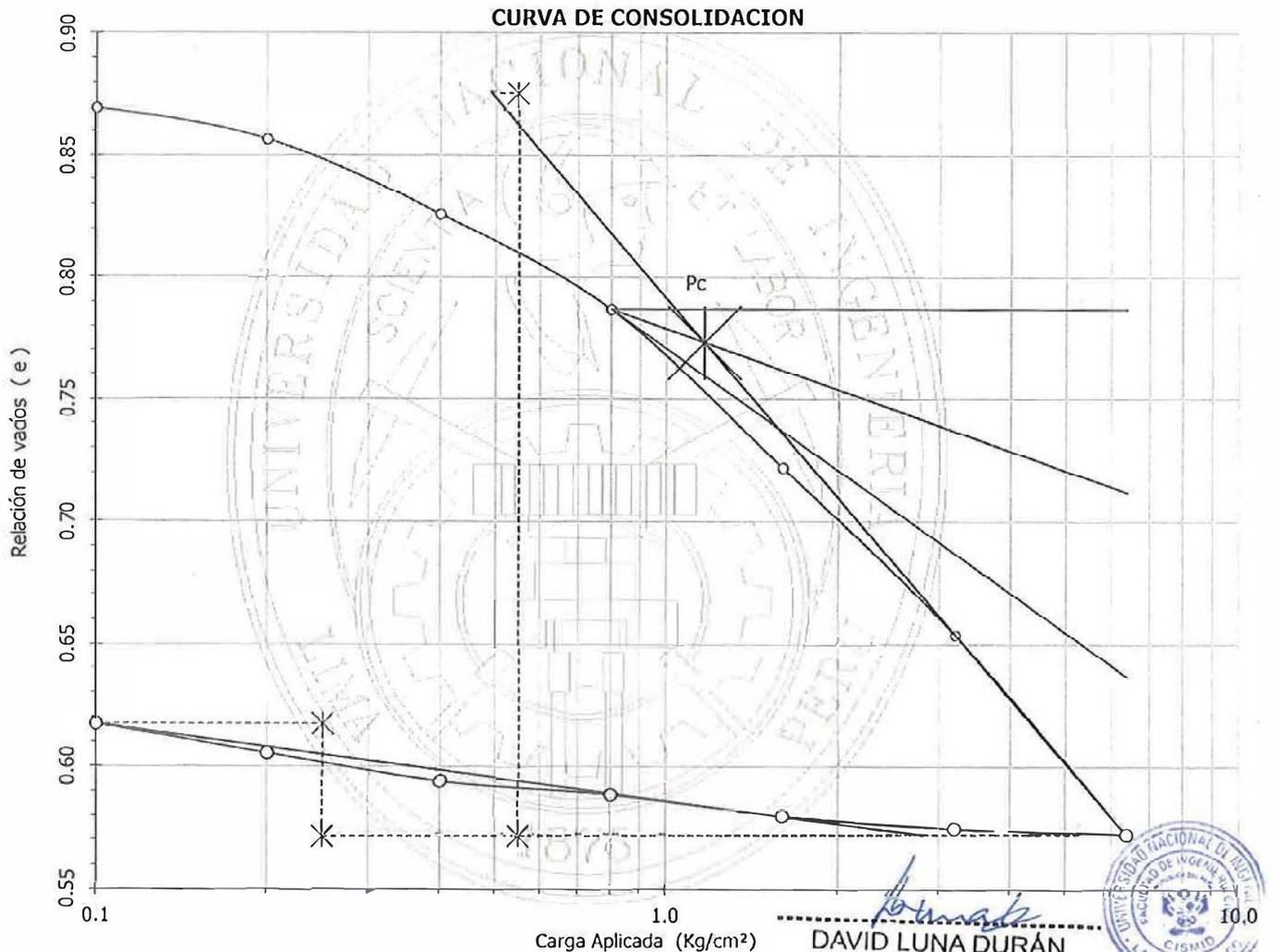
INFORME :  
SOLICITANTE :  
PROYECTO :

Fecha : Enero, 2015

UBICACION :

Sondaje : CA-HUA14-02  
Muestra : M - 1  
Profundidad (m) : 3.50

Hoja : 3 de 3  
Estado : Inalterado  
SUCS : CL



  
**DAVID LUNA DURÁN**  
 INGENIERO CIVIL - CIP 43988  
 JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO



$\Delta e_c = 0.304 \quad \Rightarrow \quad C_c = 0.272$

$\Delta e_s = 0.045 \quad \Rightarrow \quad C_s = 0.031$

**RESULTADOS:**  
 Presión de Preconsolidación  
 **$P_c = 1.17 \text{ Kg/cm}^2$**

# ENSAYO DE CONSOLIDACION

ASTM D2435

LABORATORIO GEOTECNICO

Fecha de Reporte: **31/08/2009**

Nº Informe Lab :

Nombre del Cliente:

Nº Proyecto:

Nombre Proyecto:

Muestra: **DH\_H09-104 M-12 / 15.40-15.85**

Cantera: **Shelby-5**

## Datos del Especimen

• Altura Inicial	<b>2,14 cm</b>	• Clasif. SUCS	<b>CH</b>
• Diámetro	<b>6,18 cm</b>	• Gravedad Específica	<b>2,95</b>
• Altura de Sólidos	<b>0,61 cm</b>	• Peso de Sólidos (gr)	<b>54,19</b>
• Altura Inicial de Vacíos	<b>1,53 cm</b>	• Relación de vacíos ini.	<b>2,499</b>

## ETAPA DE CARGA

Carga Aplicada (kPa)	Lect. del Extens. (cm)	Asent. $\delta h$ (cm)	Altura de la muestra (cm)	Variación Relación Vacíos $\Delta e = \delta H / H_s$	Relación de vacíos $e_i$	Coef. de Consolid. "C <sub>v</sub> " (cm <sup>2</sup> /s)	Coef de Variación Volum. "m <sub>v</sub> " (kPa) <sup>-1</sup>
1	2,281		2,140		2,4994	---	---
4	2,145	0,13589	2,004	0,22224	2,2771	0,05721	0,01848
9	2,026	0,25527	1,884	0,41748	2,0819	0,05721	0,01258
18	1,912	0,36881	1,771	0,60317	1,8962	0,05045	0,00598
37	1,796	0,48539	1,654	0,79384	1,7055	0,05873	0,00283
75	1,692	0,58852	1,551	0,96249	1,5369	0,05045	0,00125
151	1,593	0,68834	1,451	1,12575	1,3736	0,05873	0,00062
302	1,501	0,77978	1,360	1,27529	1,2241	0,03077	0,00028
603	1,410	0,87046	1,269	1,42359	1,0758	0,04924	0,00014
1207	1,322	0,95885	1,181	1,56816	0,9312	0,00174	0,00007

## ETAPA DE DESCARGA

Carga Aplicada (kPa)	Lect. del Extens. (cm)	Asent. $\delta h$ (cm)	Altura de la muestra (cm)	Variación Relación Vacíos $\Delta e = \delta H / H_s$	Relación de vacíos $e_i$	Carga Aplicada (kPa)	"k" (cm/s)
						1	---
1203	1,322	0,95885	1,181	1,56816	0,9312	18	2,96E-05
601	1,339	0,94183	1,198	1,54032	0,9591	37	1,63E-05
301	1,365	0,91567	1,224	1,49754	1,0018	75	6,20E-06
151	1,401	0,88011	1,260	1,43938	1,0600	151	3,56E-06
75	1,428	0,85268	1,287	1,39452	1,1049	302	8,54E-07
37	1,463	0,81788	1,322	1,33761	1,1618	603	6,78E-07
18	1,493	0,78791	1,352	1,28859	1,2108	K <sub>prom</sub> = 9.533E-06 cm/s (considerando solo los 5 valores finales)	
9	1,519	0,76149	1,378	1,24539	1,2540		
4	1,537	0,74422	1,395	1,21714	1,2822		
1	1,590	0,69088	1,449	1,12990	1,3695		

Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Vector Perú S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Vector Perú S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos al costo de los ensayos respectivos representados aquí.

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

Laboratorio:

TBP

JSC

CSM

VP-151-09

# ENSAYO DE CONSOLIDACION

ASTM D2435

LABORATORIO GEOTECNICO

Fecha de Reporte:

31/08/2009

N° Informe Lab :

Nombre del Cliente:

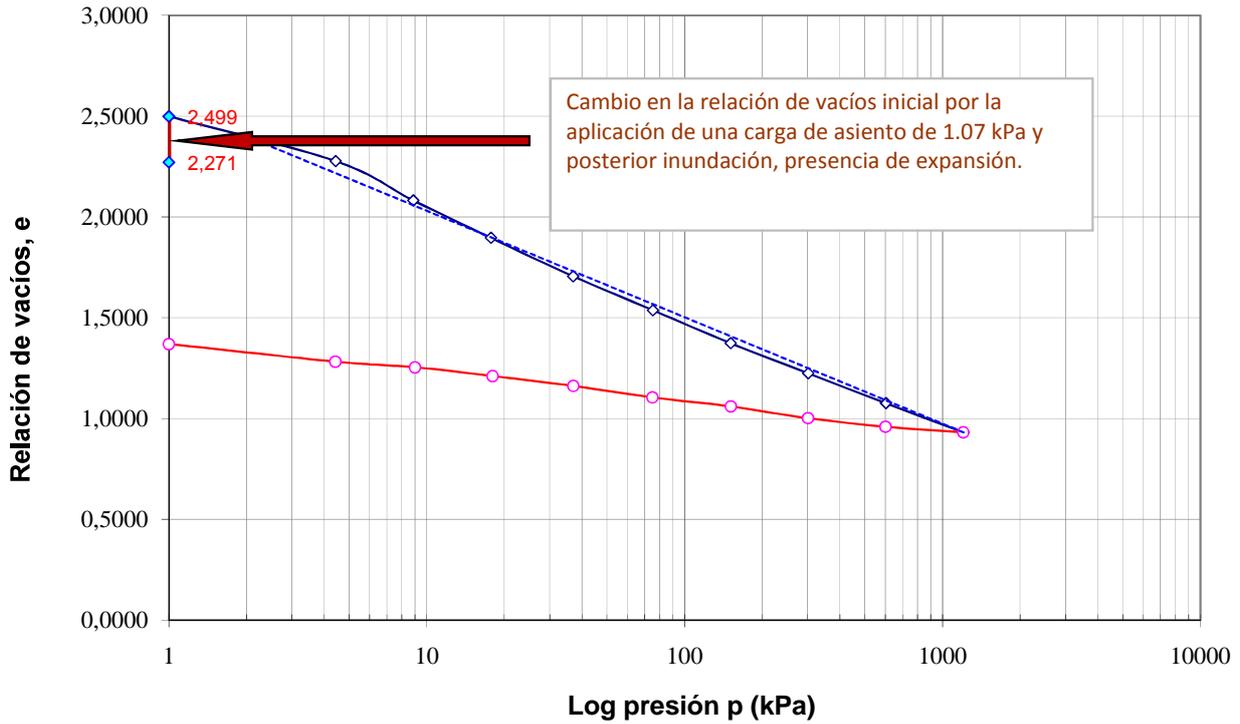
N° Proyecto:

Muestra:

DH\_H09-104 M-12 / 15.4015.85

Cantera:

Shelby-5



## DATOS DEL ESPECIMEN

	Inicial	Final
Contenido de Humedad, %	34,0	49,2
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	0,84	1,24
Relación de Vacíos	2,499	0,931

## RESULTADOS DEL ENSAYO

Presión de Preconsolidación, P <sub>c</sub>	--
Indice de Compresión, C <sub>c</sub>	1,22E-03
Indice de Expansión, C <sub>s</sub>	5,42E-04

**Notas:** Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Vector Perú S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Vector Perú S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos al costo de los ensayos respectivos representados aquí.

Realizado por:

TBP

Ingresado por:

JSC

Revisado por:

CSM

Laboratorio:

VP-151-09

# ENSAYO DE CONSOLIDACION

ASTM D2435

LABORATORIO GEOTECNICO

Fecha de Reporte: **08/09/2009**

N° Informe Lab :

Nombre del Cliente:

N° Proyecto:

Nombre Proyecto:

Muestra: **DH\_H09-107 M-8 / 28.15-28.60**

Cantera: **Shelby-2**

### Datos del Especimen

• Altura Inicial	<b>2.00 cm</b>	• Clasif. SUCS	<b>CL</b>
• Diámetro	<b>6.18 cm</b>	• Gravedad Específica	<b>2.92</b>
• Altura de Sólidos	<b>1.17 cm</b>	• Peso de Sólidos (gr)	<b>102.50</b>
• Altura Inicial de Vacíos	<b>0.84 cm</b>	• Relación de vacíos ini.	<b>0.719</b>

### ETAPA DE CARGA

Carga Aplicada (kPa)	Lect. del Extens. (cm)	Asent. $\delta h$ (cm)	Altura de la muestra (cm)	Variación Relación Vacíos $\Delta e = \delta H / H_s$	Relación de vacíos $e_i$	Coef. de Consolid. "C <sub>v</sub> " (cm <sup>2</sup> /s)	Coef de Variación Volum. "m <sub>v</sub> " (kPa) <sup>-1</sup>
1	2.123		2.005		0.7185	---	---
4	2.106	0.01727	1.987	0.01481	0.7037	0.04481	0.00251
9	2.097	0.02667	1.978	0.02286	0.6956	0.04132	0.00106
18	2.090	0.03327	1.971	0.02853	0.6900	0.06543	0.00037
37	2.076	0.04775	1.957	0.04094	0.6776	0.06161	0.00038
75	2.058	0.06553	1.939	0.05618	0.6623	0.06194	0.00023
151	2.033	0.09017	1.914	0.07730	0.6412	0.00589	0.00016
302	1.960	0.16383	1.841	0.14045	0.5781	0.03605	0.00024
603	1.882	0.24130	1.763	0.20687	0.5116	0.04188	0.00013
1207	1.809	0.31445	1.690	0.26958	0.4489	0.02143	0.00006

### ETAPA DE DESCARGA

Carga Aplicada (kPa)	Lect. del Extens. (cm)	Asent. $\delta h$ (cm)	Altura de la muestra (cm)	Variación Relación Vacíos $\Delta e = \delta H / H_s$	Relación de vacíos $e_i$	Carga Aplicada (kPa)	"k" (cm/s)
						1	---
1203	1.809	0.31445	1.690	0.26958	0.4489	18	2.38E-06
601	1.816	0.30785	1.697	0.26392	0.4546	37	2.27E-06
301	1.826	0.29769	1.707	0.25521	0.4633	75	1.40E-06
151	1.829	0.29464	1.710	0.25259	0.4659	151	9.40E-08
75	1.838	0.28499	1.720	0.24432	0.4742	302	8.61E-07
37	1.843	0.28067	1.724	0.24062	0.4779	603	5.26E-07
18	1.852	0.27178	1.733	0.23300	0.4855	K <sub>prom</sub> = 1.255E-06 cm/s (considerando solo los 5 valores finales)	
9	1.855	0.26873	1.736	0.23038	0.4881		
4	1.862	0.26162	1.743	0.22429	0.4942		
1	1.875	0.24892	1.756	0.21340	200 kPa		

Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Vector Perú S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Vector Perú S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos al costo de los ensayos respectivos representados aquí.

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

Laboratorio:

TBP

JSC

CSM

**VP-151-09**

# ENSAYO DE CONSOLIDACION

ASTM D2435

LABORATORIO GEOTECNICO

Fecha de Reporte: **08/09/2009**

N° Informe Lab :

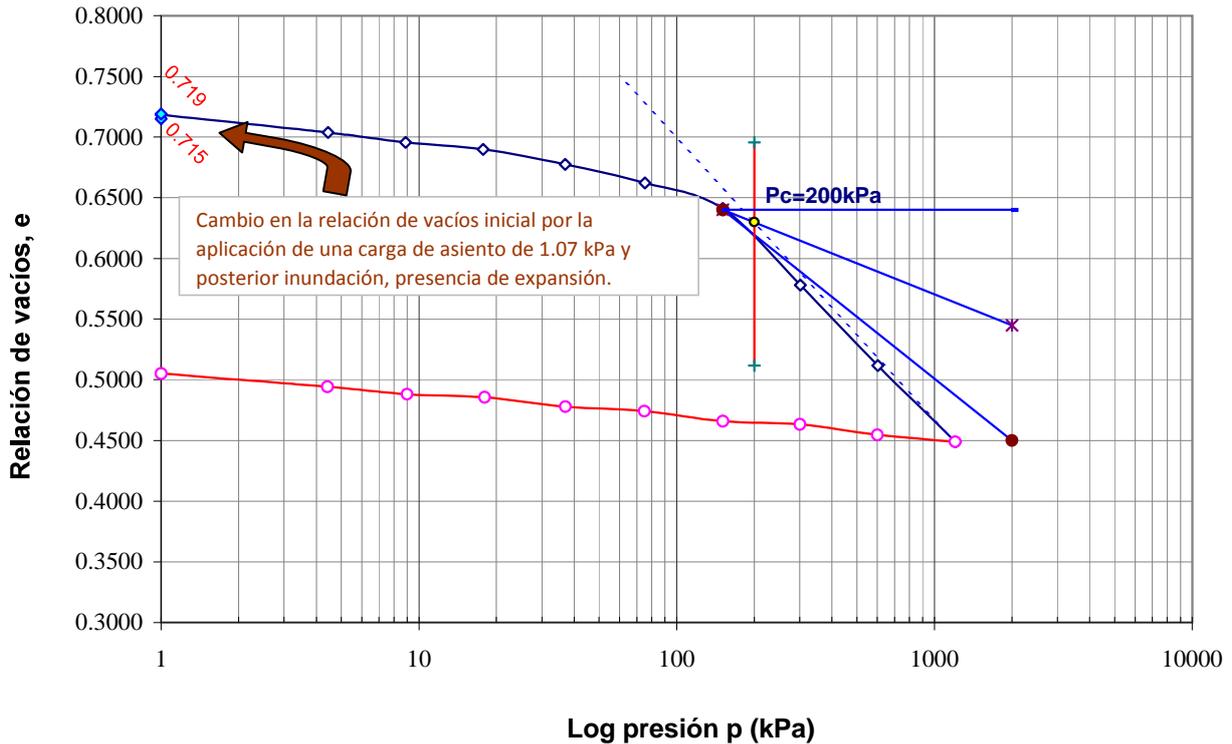
Nombre del Cliente:

N° Proyecto:

Nombre del Proyecto:

Muestra: **DH\_H09-107 M-8 / 28.15-28.60**

Cantera: **Shelby-2**



## DATOS DEL ESPECIMEN

	Inicial	Final
Contenido de Humedad, %	13.0	15.5
Densidad Seca (gr/cm³)	1.70	1.78
Relación de Vacíos	0.719	0.449

## RESULTADOS DEL ENSAYO

Presión de Preconsolidación, $P_c$	200 kPa
Indice de Compresión, $C_c$	2.62E-04
Indice de Expansión, $C_s$	6.64E-05

**Notas:** Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Vector Perú S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Vector Perú S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos al costo de los ensayos respectivos representados aquí.

Realizado por:

TBP

Ingresado por:

JSC

Revisado por:

CSM

Laboratorio:

VP-151-09

## ***ANEXO E: REGISTRO FOTOGRÁFICO***



**Foto N° 1:** Vista panorámica aguas arriba de la presa de relaves en estudio.



**Foto N° 2:** Calicata CA-HU-05.



**Foto N° 3:** Punto de muestreo PM-HU14-05.



**Foto N° 4:** Punto de muestreo PM-HU14-06.



**Foto N° 5:** Línea de refracción LR-HU14-101.



**Foto N° 6:** Línea de refracción LR-HU14-102.



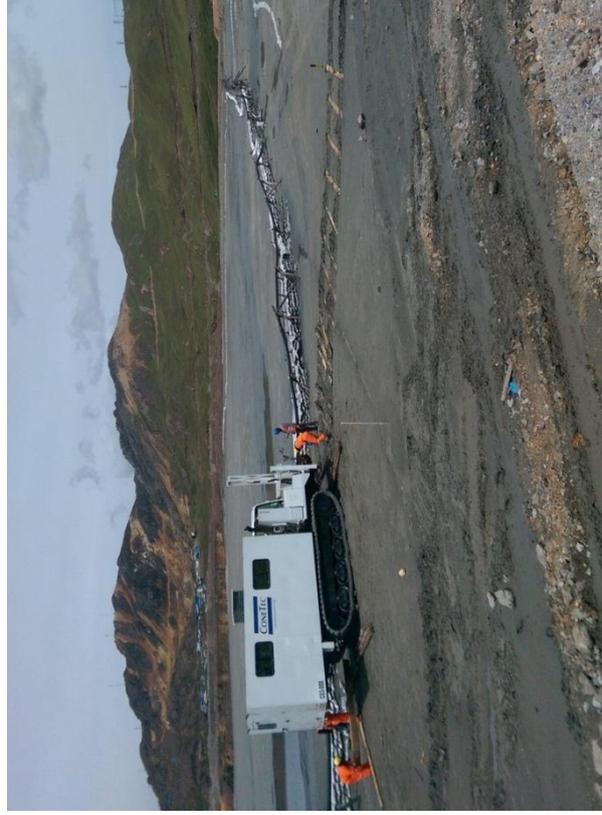
**Foto N° 7:** Línea de refracción LR-HU14-103.



**Foto N° 8: Ensayo SCPTu - 01B.**



**Foto N° 9: Ensayo SCPTu - 02.**



**Foto N° 10: Ensayo SCPTu - 03.**



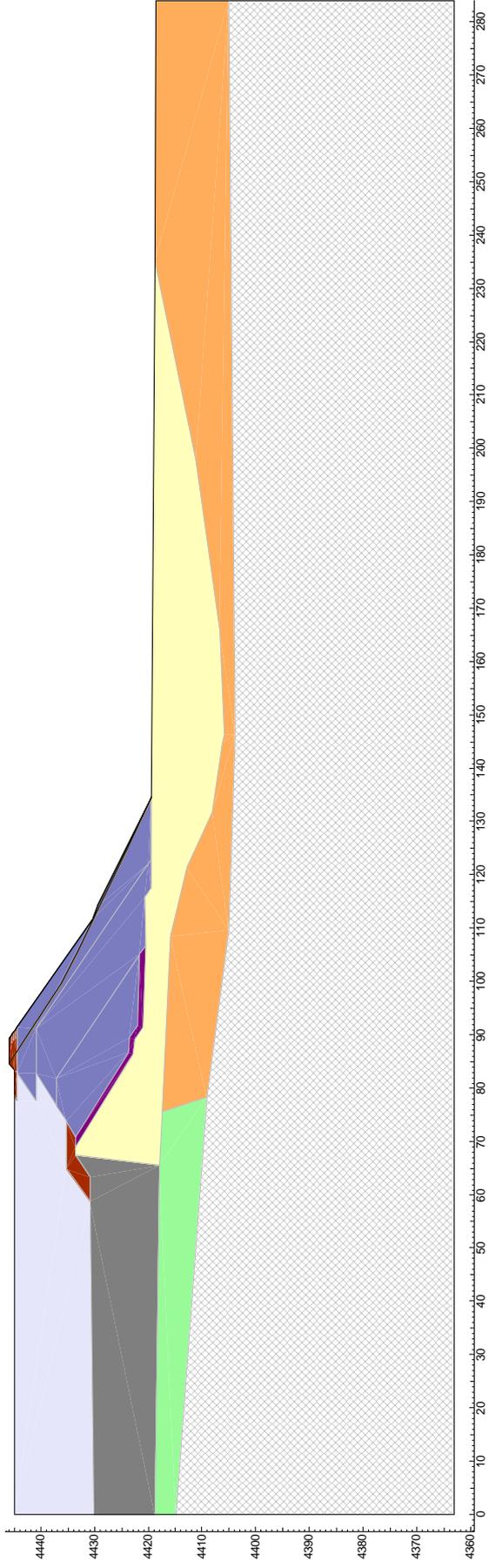
**Foto N° 11: Ensayo SCPTu - 09.**

## **ANEXO F: ANÁLISIS DE INFILTRACIÓN**

### Análisis de infiltración

Sección 1-1' - Análisis de flujo de estado constante - Modelo geométrico

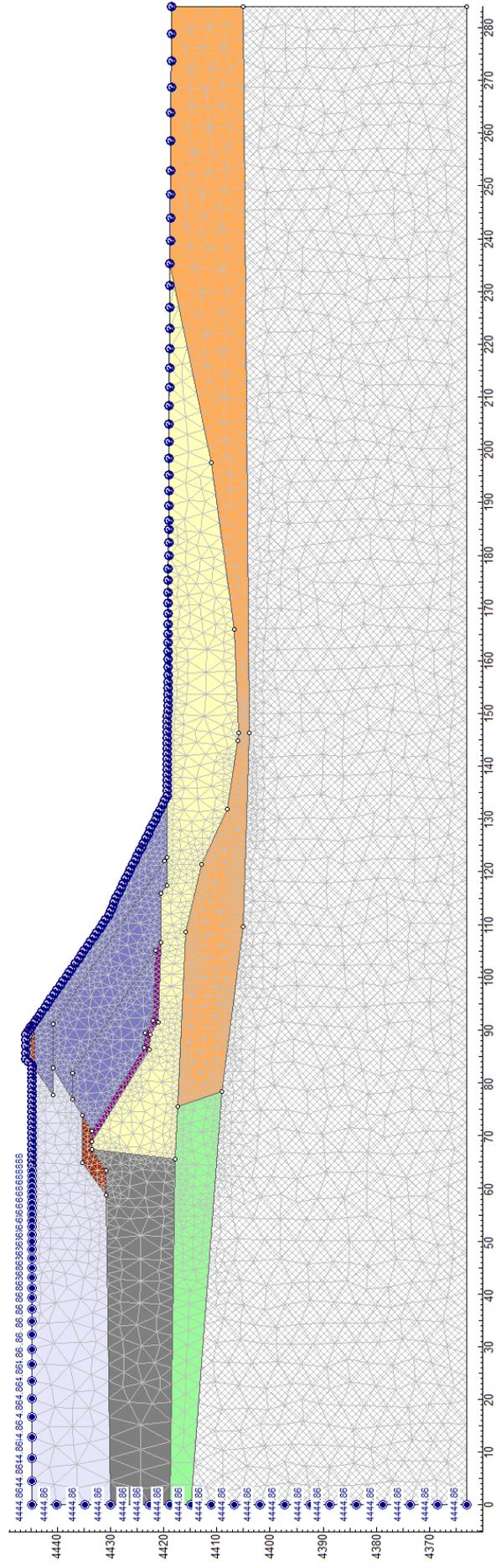
Materiales	$\gamma$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ )	$k$ ( $m/s$ )
Relave no consolidado	18	20	$1 \times 10^{-6}$
Relave consolidado	21	22,5	$1 \times 10^{-7}$
Enrocado	20	21	$1 \times 10^{-3}$
Diques aguas arriba	20	21	$1 \times 10^{-4}$
Base drenante	20	21	$1 \times 10^{-0}$
Desmante de mina	20	21	$7,5 \times 10^{-4}$
Arcilla	17,5	18	$1 \times 10^{-7}$
Limo	18	20	$1 \times 10^{-5}$
Basamento rocoso	22	24	$9 \times 10^{-5}$



### Análisis de infiltración

Sección 1-1', Análisis de flujo de estado constante - Discretización de la malla y condiciones de borde

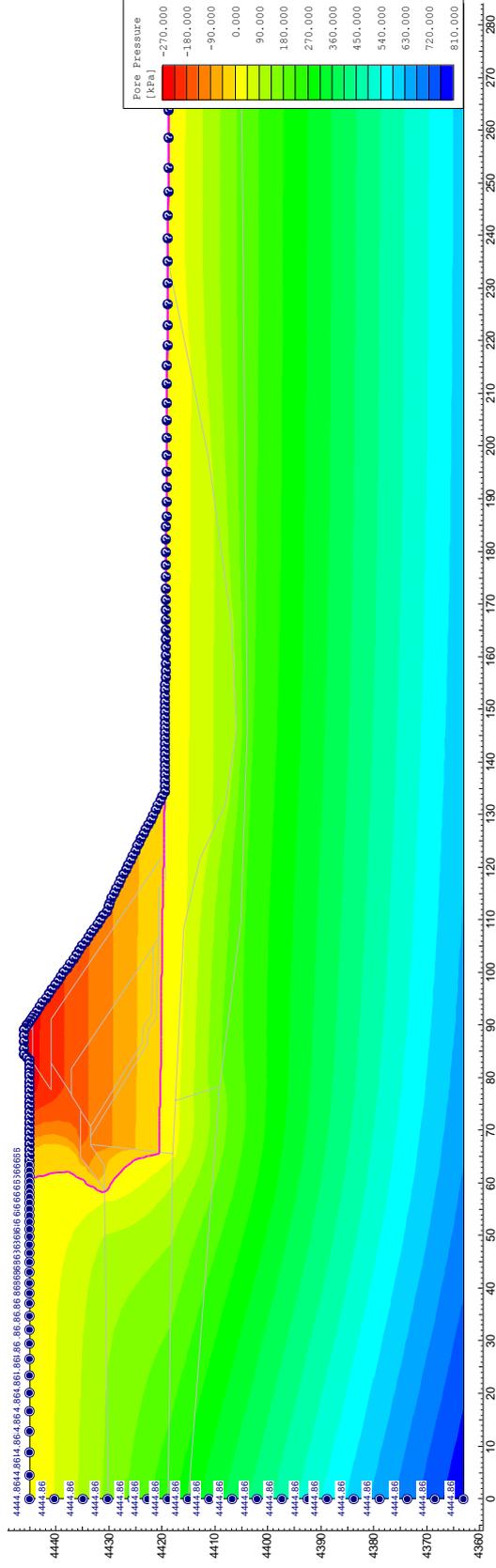
Materiales		$\gamma$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ )	$k$ ( $m/s$ )
Relave no consolidado		18	20	$1 \times 10^{-6}$
Relave consolidado		21	22,5	$1 \times 10^{-7}$
Enrocado		20	21	$1 \times 10^{-3}$
Diques aguas arriba		20	21	$1 \times 10^{-4}$
Base drenante		20	21	$1 \times 10^{-0}$
Desmante de mina		20	21	$7,5 \times 10^{-4}$
Arcilla		17,5	18	$1 \times 10^{-7}$
Limo		18	20	$1 \times 10^{-5}$
Basamento rocoso		22	24	$9 \times 10^{-5}$



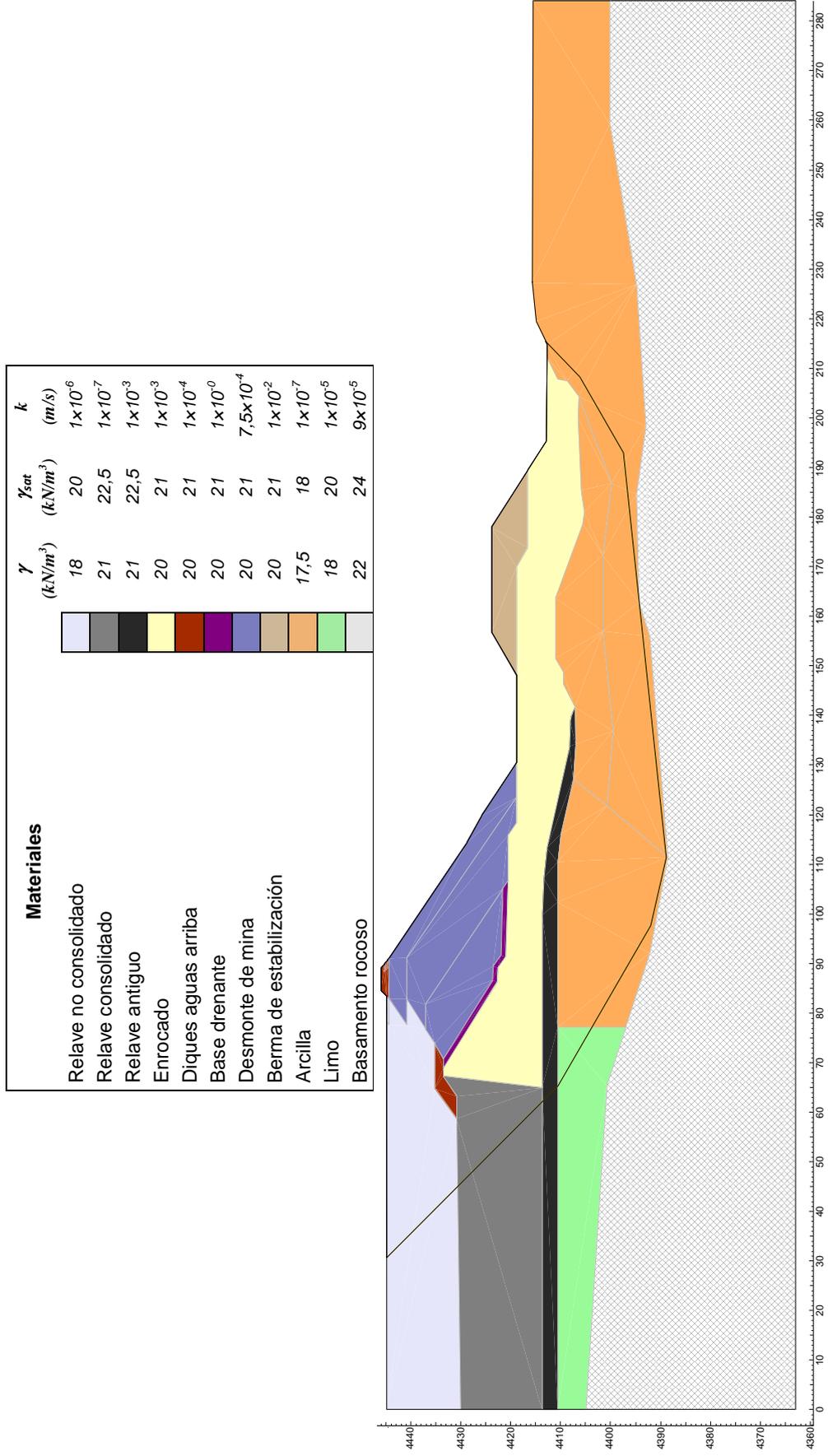
### Análisis de Infiltración

#### Sección 1-1', Análisis de flujo de estado constante - Distribución de Presión de Poros

Materiales		$\gamma$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ )	$k$ ( $m/s$ )
Relave no consolidado		18	20	$1 \times 10^{-6}$
Relave consolidado		21	22,5	$1 \times 10^{-7}$
Enrocado		20	21	$1 \times 10^{-3}$
Diques aguas arriba		20	21	$1 \times 10^{-4}$
Base drenante		20	21	$1 \times 10^{-0}$
Desmante de mina		20	21	$7,5 \times 10^{-4}$
Arcilla		17,5	18	$1 \times 10^{-7}$
Limo		18	20	$1 \times 10^{-5}$
Basamento rocoso		22	24	$9 \times 10^{-5}$



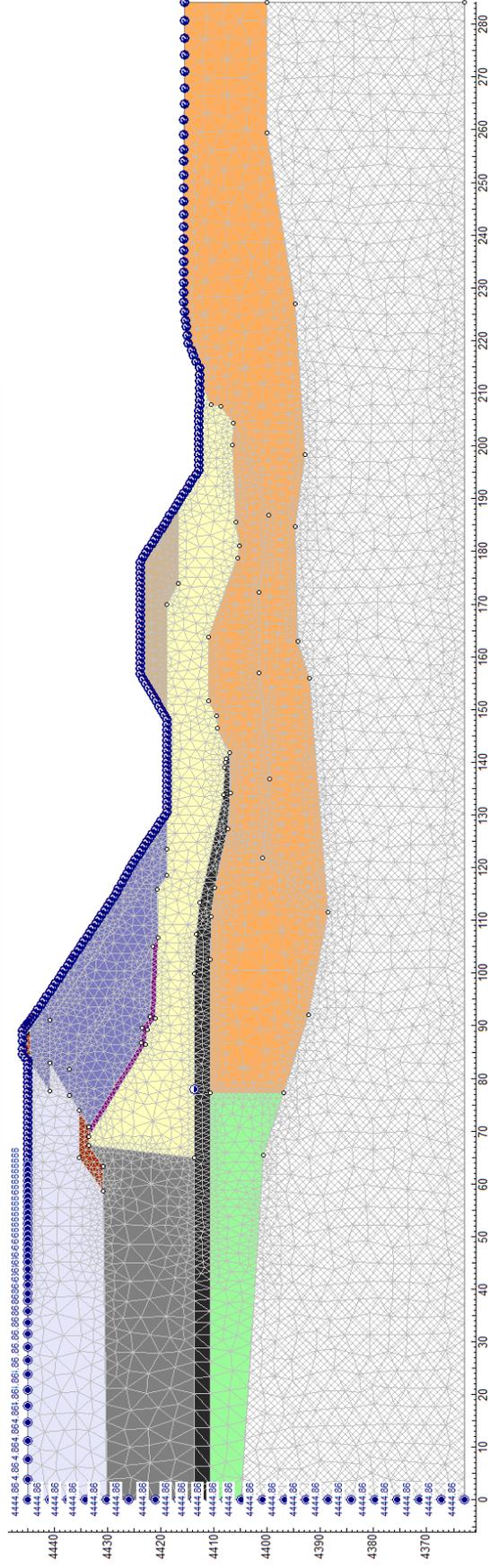
### Análisis de infiltración Sección 2-2', - Análisis de flujo de estado constante - Modelo geométrico



### Análisis de infiltración

Sección 2-2', Análisis de flujo de estado constante - Discretización de la malla y condiciones de borde

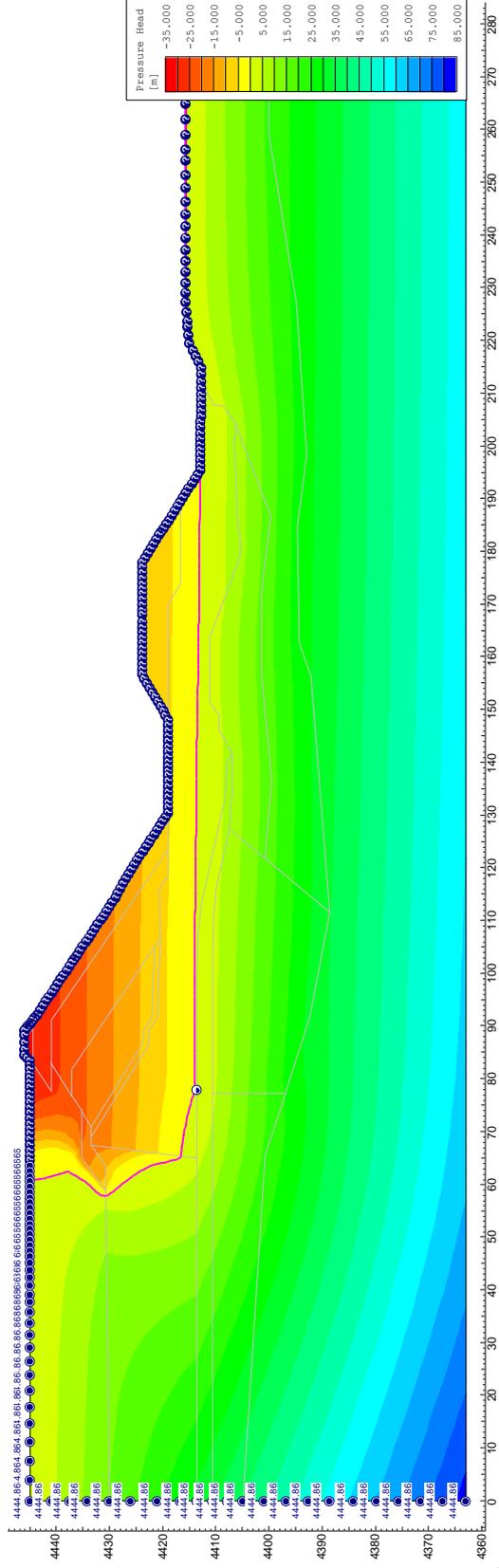
Materiales	$\gamma$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ )	$k$ ( $m/s$ )
Relave no consolidado	18	20	$1 \times 10^{-6}$
Relave consolidado	21	22,5	$1 \times 10^{-7}$
Relave antiguo	21	22,5	$1 \times 10^{-3}$
Entocado	20	21	$1 \times 10^{-3}$
Diques aguas arriba	20	21	$1 \times 10^{-4}$
Base drenante	20	21	$1 \times 10^{-0}$
Desmante de mina	20	21	$7,5 \times 10^{-4}$
Berma de estabilización	20	21	$1 \times 10^{-2}$
Arcilla	17,5	18	$1 \times 10^{-7}$
Limo	18	20	$1 \times 10^{-5}$
Basamento rocoso	22	24	$9 \times 10^{-5}$



### Análisis de Infiltración

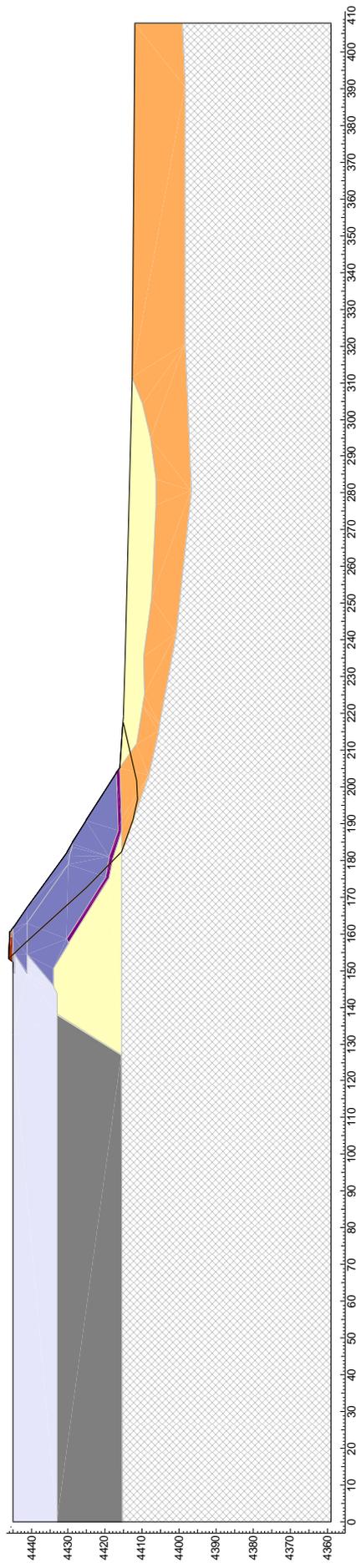
Sección 2-2', Análisis de flujo de estado constante - Distribución de Presión de Poros

Materiales	$\gamma$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ )	$k$ ( $m/s$ )
Relave no consolidado	18	20	$1 \times 10^{-6}$
Relave consolidado	21	22,5	$1 \times 10^{-7}$
Relave antiguo	21	22,5	$1 \times 10^{-3}$
Enrocado	20	21	$1 \times 10^{-3}$
Diques aguas arriba	20	21	$1 \times 10^{-4}$
Base drenante	20	21	$1 \times 10^{-0}$
Desmante de mina	20	21	$7,5 \times 10^{-4}$
Berma de estabilización	20	21	$1 \times 10^{-2}$
Arcilla	17,5	18	$1 \times 10^{-7}$
Limo	18	20	$1 \times 10^{-5}$
Basamento rocoso	22	24	$9 \times 10^{-5}$



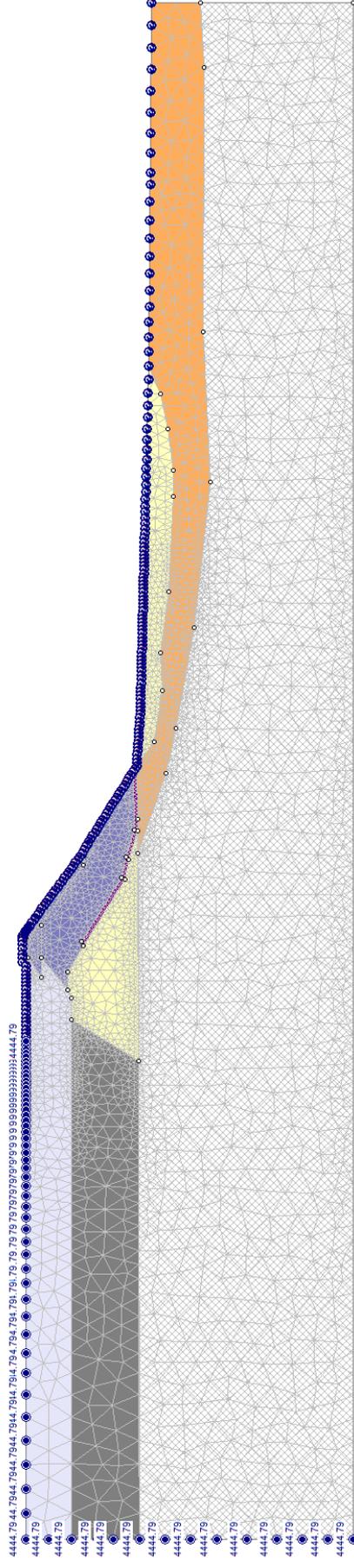
**Análisis de infiltración**  
 Sección 3-3', - Análisis de flujo de estado constante - Modelo geométrico

Materiales	$\gamma$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ )	$k$ ( $m/s$ )
Relave no consolidado	18	20	$1 \times 10^{-6}$
Relave consolidado	21	22,5	$1 \times 10^{-7}$
Enrocado	20	21	$1 \times 10^{-3}$
Diques aguas arriba	20	21	$1 \times 10^{-4}$
Base drenante	20	21	$1 \times 10^{-0}$
Desmonte de mina	20	21	$7,5 \times 10^{-4}$
Arcilla	17,5	18	$1 \times 10^{-7}$
Basamento rocoso	22	$9 \times 10^{-5}$	



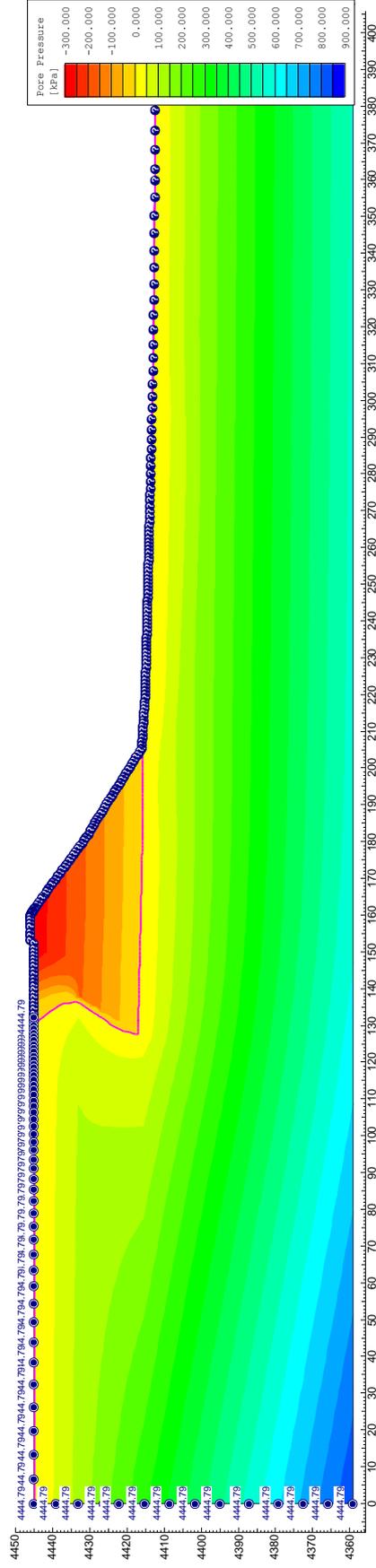
**Análisis de infiltración**  
 Sección 3-3', Análisis de flujo de estado constante - Discretización de la malla y condiciones de borde

Materiales	$\gamma$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ )	$k$ ( $m/s$ )
Relave no consolidado	18	20	$1 \times 10^{-6}$
Relave consolidado	21	22,5	$1 \times 10^{-7}$
Enrocado	20	21	$1 \times 10^{-3}$
Diques aguas arriba	20	21	$1 \times 10^{-4}$
Base drenante	20	21	$1 \times 10^0$
Desmante de mina	20	21	$7,5 \times 10^{-4}$
Arcilla	17,5	18	$1 \times 10^{-7}$
Basamento rocoso	22	24	$9 \times 10^{-5}$



### Sección 3-3', Análisis de flujo de estado constante - Distribución de Presión de Poros

Materiales	$\gamma$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ )	$k$ ( $m/s$ )
Relave no consolidado	18	20	$1 \times 10^{-6}$
Relave consolidado	21	22,5	$1 \times 10^{-7}$
Enrocado	20	21	$1 \times 10^{-3}$
Diques aguas arriba	20	21	$1 \times 10^{-4}$
Base drenante	20	21	$1 \times 10^{-0}$
Desmante de mina	20	21	$7,5 \times 10^{-4}$
Arcilla	17,5	18	$1 \times 10^{-7}$
Basamento rocoso	22	24	$9 \times 10^{-5}$



## **ANEXO G: ANÁLISIS DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL**

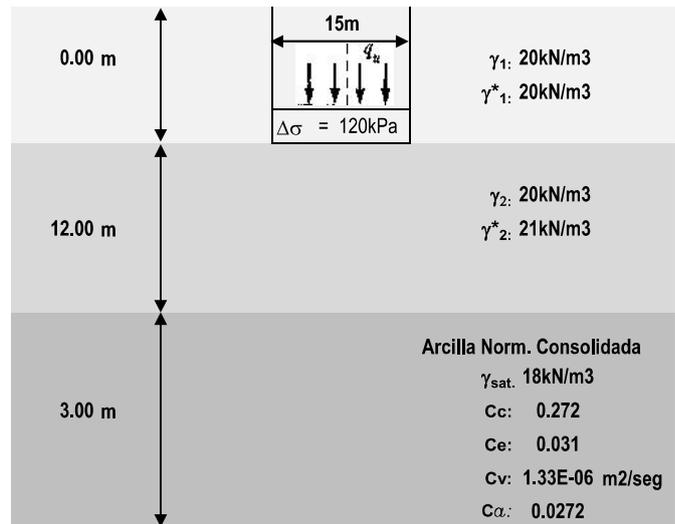
# ANÁLISIS DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL

## Pie de la sección 1-1' Columna de suelo típico

### ANÁLISIS DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL

#### 1,0 DATOS GENERALES

Ancho de cimentación	B	15.00	m
Largo de cimentación	L	400.00	m
Profundidad de la cimentación	Df	0.00	m
Profundidad del nivel freático	H <sub>1</sub>	0.00	m
Profundidad de superficie de Arcilla	H <sub>2</sub>	12.00	m
Profundidad de base de Arcilla	H <sub>3</sub>	15.00	m
Densidad del Agua	γ <sub>w</sub>	10.00	kN/m <sup>3</sup>
Presión de Sobrecarga	Δσ	120.00	kPa



#### ESTRATOS SUPERIORES

Peso específico estrato 1	γ <sub>1</sub>	20.00	kN/m <sup>3</sup>
Peso específico estrato 2	γ <sub>2</sub>	20.00	kN/m <sup>3</sup>
Peso específico saturado estrato 1	γ* <sub>1</sub>	20.00	kN/m <sup>3</sup>
Peso específico saturado estrato 2	γ* <sub>2</sub>	21.00	kN/m <sup>3</sup>

#### ESTRATO DE ARCILLA

Tipo de arcilla	Norm. Consolidada		
Peso específico saturado estrato 1	γ <sub>sat</sub>	18.00	kN/m <sup>3</sup>
Relación de vacíos inicial	e <sub>o</sub>	0.900	
Presión de preconsolidación	σ <sub>c</sub>	0.00	kPa
Índice de compresión	C <sub>c</sub>	0.272	
Índice de expansión	C <sub>e</sub>	0.031	
Coefficiente de Consolidación	C <sub>v</sub>	1.33E-06	m <sup>2</sup> /seg
Índice de compresión secundaria	C <sub>α</sub>	0.027	

#### 2,0 CÁLCULO DE ESFUERZOS Y SOBRECARGA

##### Método de Discretización

Número de Estratos	N	4
Espesor de Estratos	He	0.75 m

Estrato	Z <sub>prom</sub>	σ'	Δσ
1	12.38	123.00	75.86
2	13.13	129.00	72.90
3	13.88	135.00	70.11
4	14.63	141.00	67.48

#### 3,0 CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS

Estrato	Consolidación Primaria (cm)	Consolidación Secundaria (cm)
1	2.24	0.924
2	2.09	0.924
3	1.95	0.924
4	1.82	0.924
<b>Total</b>	<b>8.10</b>	<b>3.697</b>

**Asentamiento por Consolidación (cm)      7.30**

#### 4,0 CÁLCULO DE TIEMPO DE CONSOLIDACIÓN

Grado de Consolidación Promedio	U	90.09%
Factor Tiempo	T <sub>v</sub>	0.853

**Tiempo de Consolidación      t      0.18      años**

## ANÁLISIS DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL

### Pie de la sección 2-2' Columna de suelo típico

#### ANÁLISIS DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL

##### 1,0 DATOS GENERALES

Ancho de cimentación	B	15.00	m
Largo de cimentación	L	400.00	m
Profundidad de la cimentación	Df	0.00	m
Profundidad del nivel freático	H <sub>1</sub>	0.00	m
Profundidad de superficie de Arcilla	H <sub>2</sub>	12.00	m
Profundidad de base de Arcilla	H <sub>3</sub>	19.00	m
Densidad del Agua	γ <sub>w</sub>	10.00	kN/m <sup>3</sup>
Presión de Sobrecarga	Δσ	140.00	kPa

##### ESTRATOS SUPERIORES

Peso específico estrato 1	γ <sub>1</sub>	20.00	kN/m <sup>3</sup>
Peso específico estrato 2	γ <sub>2</sub>	20.00	kN/m <sup>3</sup>
Peso específico saturado estrato 1	γ <sup>*</sup> <sub>1</sub>	20.00	kN/m <sup>3</sup>
Peso específico saturado estrato 2	γ <sup>*</sup> <sub>2</sub>	21.00	kN/m <sup>3</sup>

##### ESTRATO DE ARCILLA

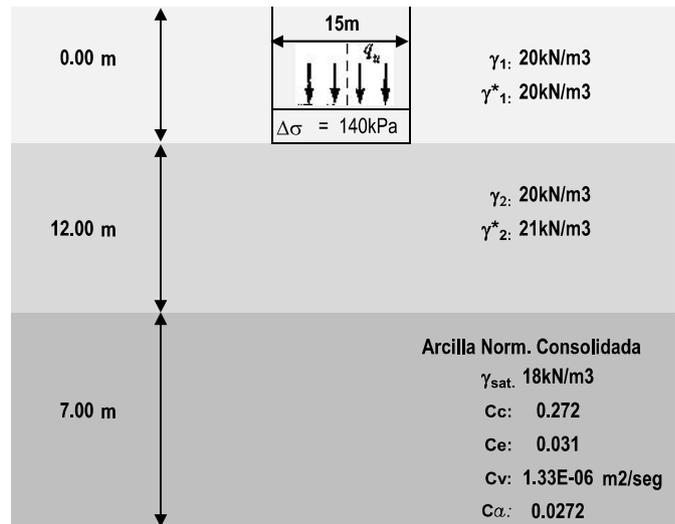
Tipo de arcilla	Norm. Consolidada		
Peso específico saturado estrato 1	γ <sub>sat</sub>	18.00	kN/m <sup>3</sup>
Relación de vacíos inicial	e <sub>o</sub>	0.900	
Presión de preconsolidación	σ <sub>c</sub>	0.00	kPa
Índice de compresión	C <sub>c</sub>	0.272	
Índice de expansión	C <sub>e</sub>	0.031	
Coefficiente de Consolidación	C <sub>v</sub>	1.33E-06	m <sup>2</sup> /seg
Índice de compresión secundaria	C <sub>α</sub>	0.027	

##### 2,0 CÁLCULO DE ESFUERZOS Y SOBRECARGA

###### Método de Discretización

Número de Estratos	N	4
Espesor de Estratos	He	1.75 m

Estrato	Z <sub>prom</sub>	σ'	Δσ
1	12.88	127.00	86.18
2	14.63	141.00	78.72
3	16.38	155.00	72.23
4	18.13	169.00	66.57



##### 3,0 CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS

Estrato	Consolidación Primaria (cm)	Consolidación Secundaria (cm)
1	5.64	0.849
2	4.83	0.849
3	4.16	0.849
4	3.61	0.849
<b>Total</b>	<b>18.24</b>	<b>3.396</b>

**Asentamiento por Consolidación (cm)      16.50**

##### 4,0 CÁLCULO DE TIEMPO DE CONSOLIDACIÓN

Grado de Consolidación Promedio	U	90.47%
Factor Tiempo	T <sub>v</sub>	0.869

**Tiempo de Consolidación      t      1.01      años**

## ANÁLISIS DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL

**30 m del pie de la sección 3-3'**  
**Columna de suelo típico**

### ANÁLISIS DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL

#### 1,0 DATOS GENERALES

Ancho de cimentación	B	15.00	m
Largo de cimentación	L	400.00	m
Profundidad de la cimentación	Df	0.00	m
Profundidad del nivel freático	H <sub>1</sub>	0.00	m
Profundidad de superficie de Arcilla	H <sub>2</sub>	5.50	m
Profundidad de base de Arcilla	H <sub>3</sub>	8.50	m
Densidad del Agua	γ <sub>w</sub>	10.00	kN/m <sup>3</sup>
Presión de Sobrecarga	Δσ	80.00	kPa

#### ESTRATOS SUPERIORES

Peso específico estrato 1	γ <sub>1</sub>	20.00	kN/m <sup>3</sup>
Peso específico estrato 2	γ <sub>2</sub>	20.00	kN/m <sup>3</sup>
Peso específico saturado estrato 1	γ <sup>*</sup> <sub>1</sub>	20.00	kN/m <sup>3</sup>
Peso específico saturado estrato 2	γ <sup>*</sup> <sub>2</sub>	21.00	kN/m <sup>3</sup>

#### ESTRATO DE ARCILLA

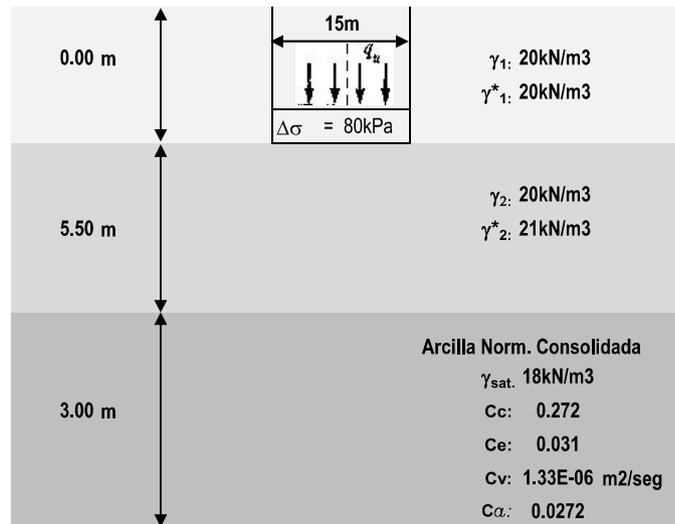
Tipo de arcilla	Norm. Consolidada		
Peso específico saturado estrato 1	γ <sub>sat</sub>	18.00	kN/m <sup>3</sup>
Relación de vacíos inicial	e <sub>o</sub>	0.900	
Presión de preconsolidación	σ <sub>c</sub>	0.00	kPa
Índice de compresión	C <sub>c</sub>	0.272	
Índice de expansión	C <sub>e</sub>	0.031	
Coefficiente de Consolidación	C <sub>v</sub>	1.33E-06	m <sup>2</sup> /seg
Índice de compresión secundaria	C <sub>α</sub>	0.027	

#### 2,0 CÁLCULO DE ESFUERZOS Y SOBRECARGA

##### Método de Discretización

Número de Estratos	N	4
Espesor de Estratos	He	0.75 m

Estrato	Z <sub>prom</sub>	σ'	Δσ
1	5.88	58.00	71.26
2	6.63	64.00	68.81
3	7.38	70.00	66.28
4	8.13	76.00	63.73



#### 3,0 CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS

Estrato	Consolidación Primaria (cm)	Consolidación Secundaria (cm)
1	3.74	1.288
2	3.40	1.288
3	3.11	1.288
4	2.84	1.288
<b>Total</b>	<b>13.09</b>	<b>5.153</b>

**Asentamiento por Consolidación (cm)      11.80**

#### 4,0 CÁLCULO DE TIEMPO DE CONSOLIDACIÓN

Grado de Consolidación Promedio	U	90.17%
Factor Tiempo	T <sub>v</sub>	0.856

**Tiempo de Consolidación      t      0.18      años**

## ANÁLISIS DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL

### Pie de la sección 3-3' Columna de suelo típico

#### ANÁLISIS DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL

##### 1,0 DATOS GENERALES

Ancho de cimentación	B	15.00	m
Largo de cimentación	L	400.00	m
Profundidad de la cimentación	Df	0.00	m
Profundidad del nivel freático	H <sub>1</sub>	0.00	m
Profundidad de superficie de Arcilla	H <sub>2</sub>	0.00	m
Profundidad de base de Arcilla	H <sub>3</sub>	7.50	m
Densidad del Agua	γ <sub>w</sub>	10.00	kN/m <sup>3</sup>
Presión de Sobrecarga	Δσ	200.00	kPa

##### ESTRATOS SUPERIORES

Peso específico estrato 1	γ <sub>1</sub>	20.00	kN/m <sup>3</sup>
Peso específico estrato 2	γ <sub>2</sub>	20.00	kN/m <sup>3</sup>
Peso específico saturado estrato 1	γ <sup>*</sup> <sub>1</sub>	20.00	kN/m <sup>3</sup>
Peso específico saturado estrato 2	γ <sup>*</sup> <sub>2</sub>	21.00	kN/m <sup>3</sup>

##### ESTRATO DE ARCILLA

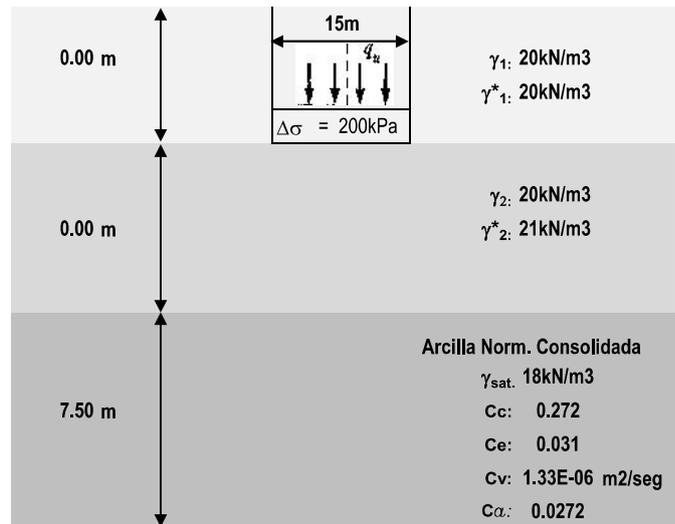
Tipo de arcilla	Norm. Consolidada		
Peso específico saturado estrato 1	γ <sub>sat</sub>	18.00	kN/m <sup>3</sup>
Relación de vacíos inicial	e <sub>o</sub>	0.900	
Presión de preconsolidación	σ <sub>c</sub>	0.00	kPa
Índice de compresión	C <sub>c</sub>	0.272	
Índice de expansión	C <sub>e</sub>	0.031	
Coefficiente de Consolidación	C <sub>v</sub>	1.33E-06	m <sup>2</sup> /seg
Índice de compresión secundaria	C <sub>α</sub>	0.027	

##### 2,0 CÁLCULO DE ESFUERZOS Y SOBRECARGA

###### Método de Discretización

Número de Estratos	N	4
Espesor de Estratos	He	1.875 m

Estrato	Z <sub>prom</sub>	σ'	Δσ
1	0.94	7.50	199.92
2	2.81	22.50	196.40
3	4.69	37.50	187.34
4	6.56	52.50	172.03



##### 3,0 CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS

Estrato	Consolidación Primaria (cm)	Consolidación Secundaria (cm)
1	38.70	0.738
2	26.52	0.738
3	20.88	0.738
4	16.94	0.738
<b>Total</b>	<b>103.04</b>	<b>2.951</b>

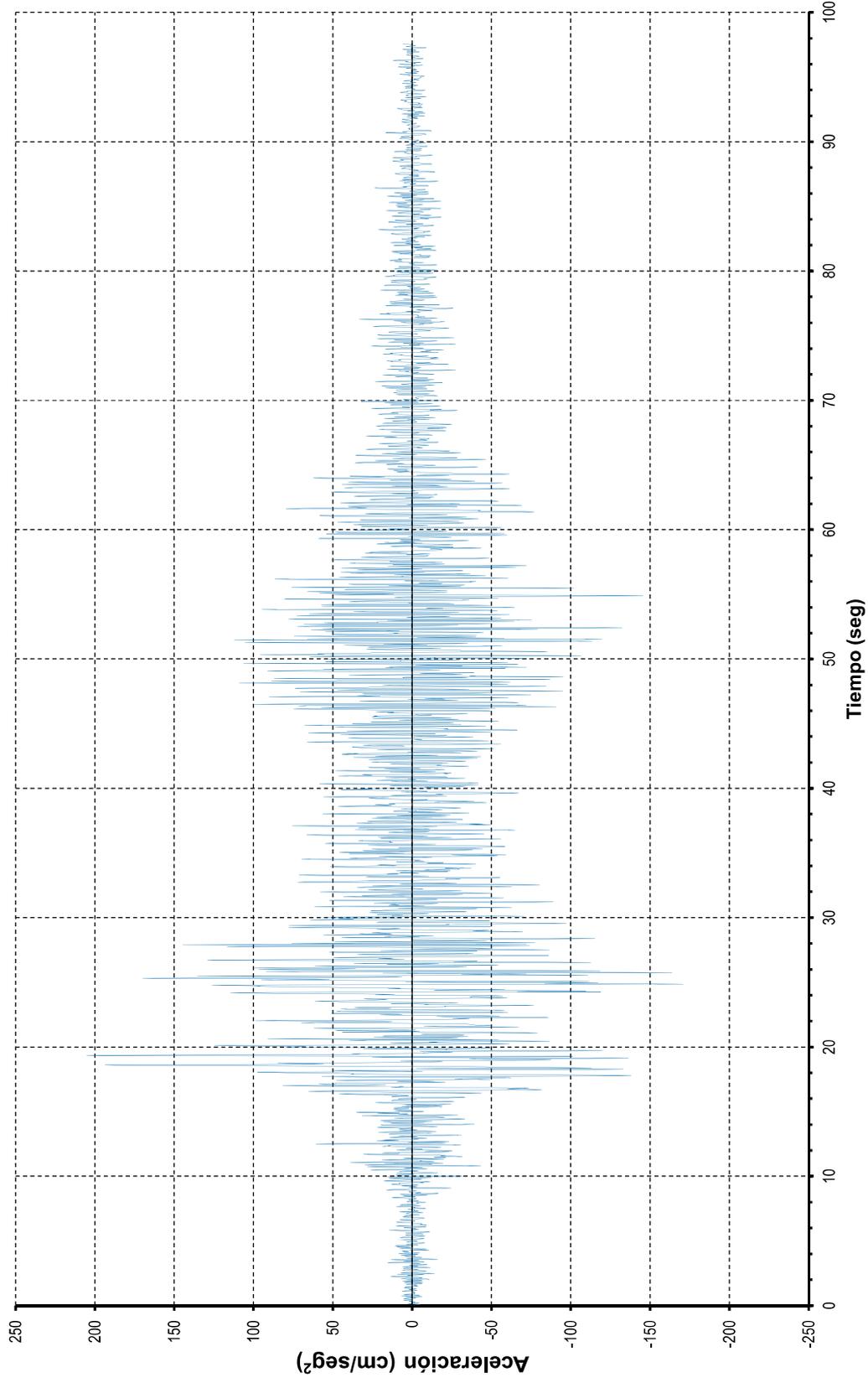
**Asentamiento por Consolidación (cm)      92.80**

##### 4,0 CÁLCULO DE TIEMPO DE CONSOLIDACIÓN

Grado de Consolidación Promedio	U	90.06%
Factor Tiempo	T <sub>v</sub>	0.852

**Tiempo de Consolidación      t      1.14      años**

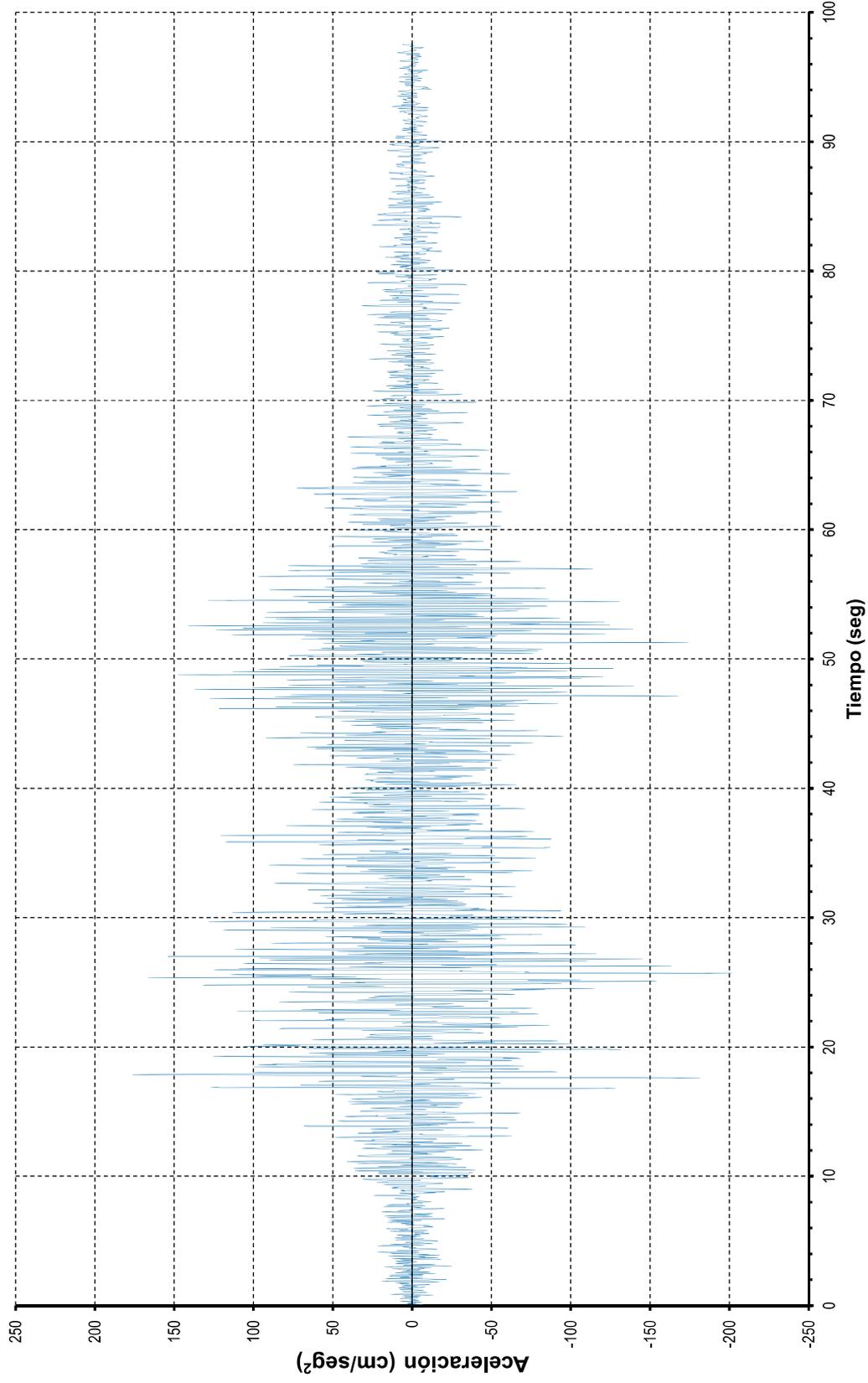
## **ANEXO H: ANÁLISIS DE RESPUESTA SÍSMICA UNIDIMENSIONAL**



GRÁFICA Nº

H.1

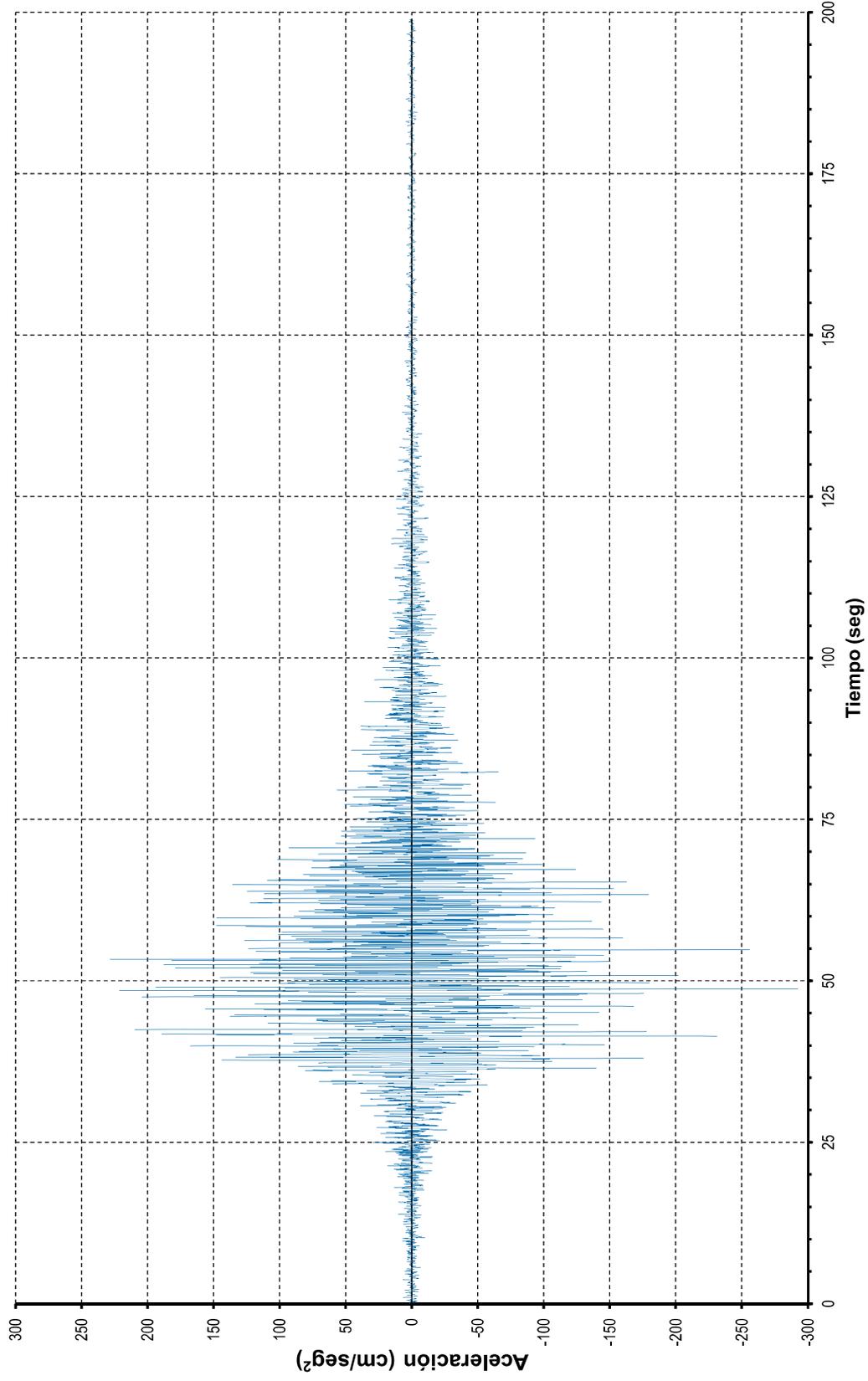
REGISTRO TIEMPO-HISTORIA DEL SISMO DE LIMA DE 1974 E-W REGISTRADO EN EL DISTRITO DE SANTIAGO DE SURCO EN LIMA, CORREGIDO POR LÍNEA BASE Y FILTRADO POR PASA BANDA



GRÁFICA Nº

H.2

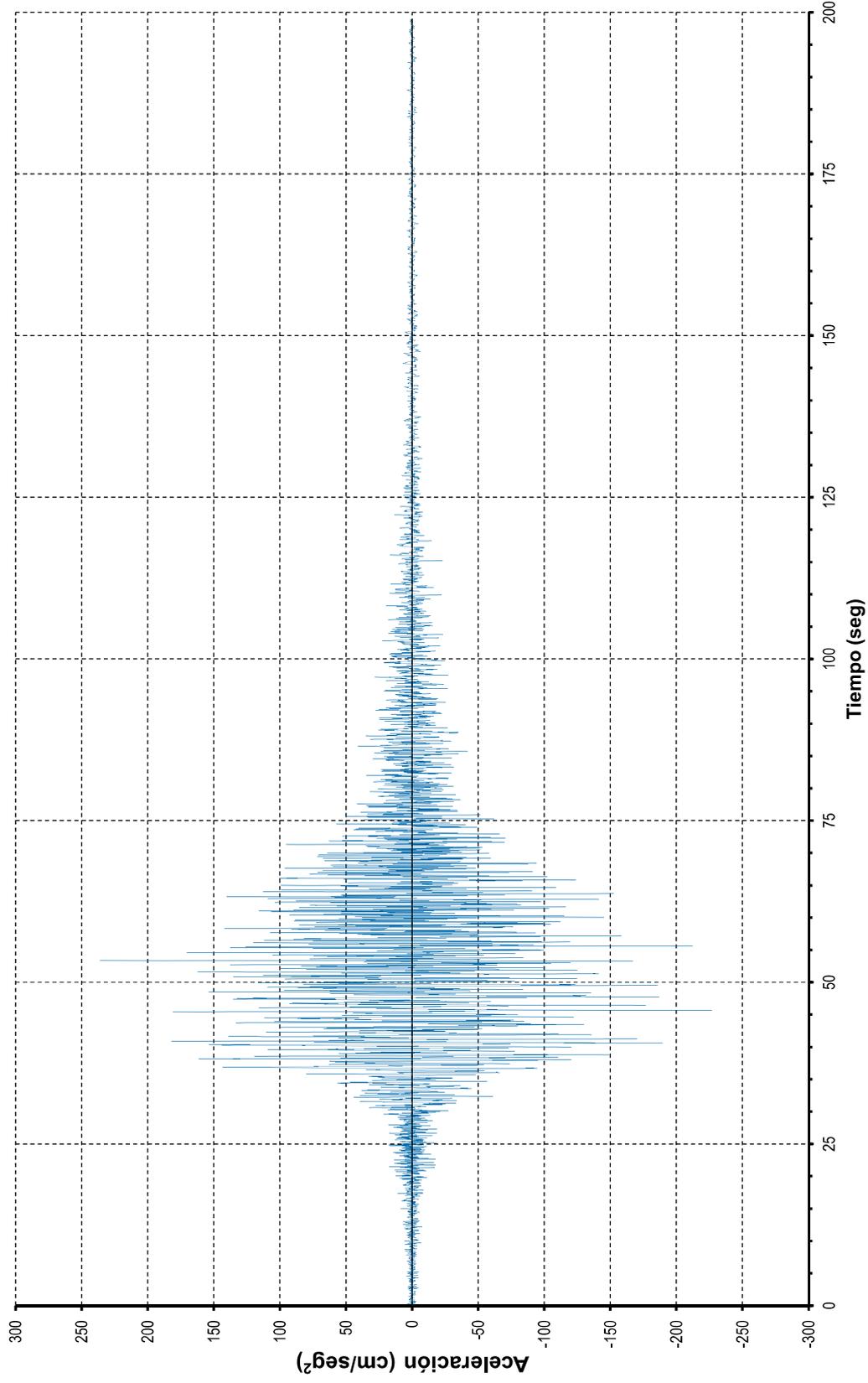
REGISTRO TIEMPO-HISTORIA DEL SISMO DE LIMA DE 1974 N-S REGISTRADO EN EL DISTRITO DE SANTIAGO DE SURCO EN LIMA, CORREGIDO POR LÍNEA BASE Y FILTRADO POR PASA BANDA



REGISTRO TIEMPO-HISTORIA DEL SISMO DE ATICO DE 2001 E-W REGISTRADO EN EL COMPLEJO DEPORTIVO DEL GOBIERNO REGIONAL DE MOQUEGUA,  
CORREGIDO POR LÍNEA BASE Y FILTRADO POR PASA BANDA

GRÁFICA Nº

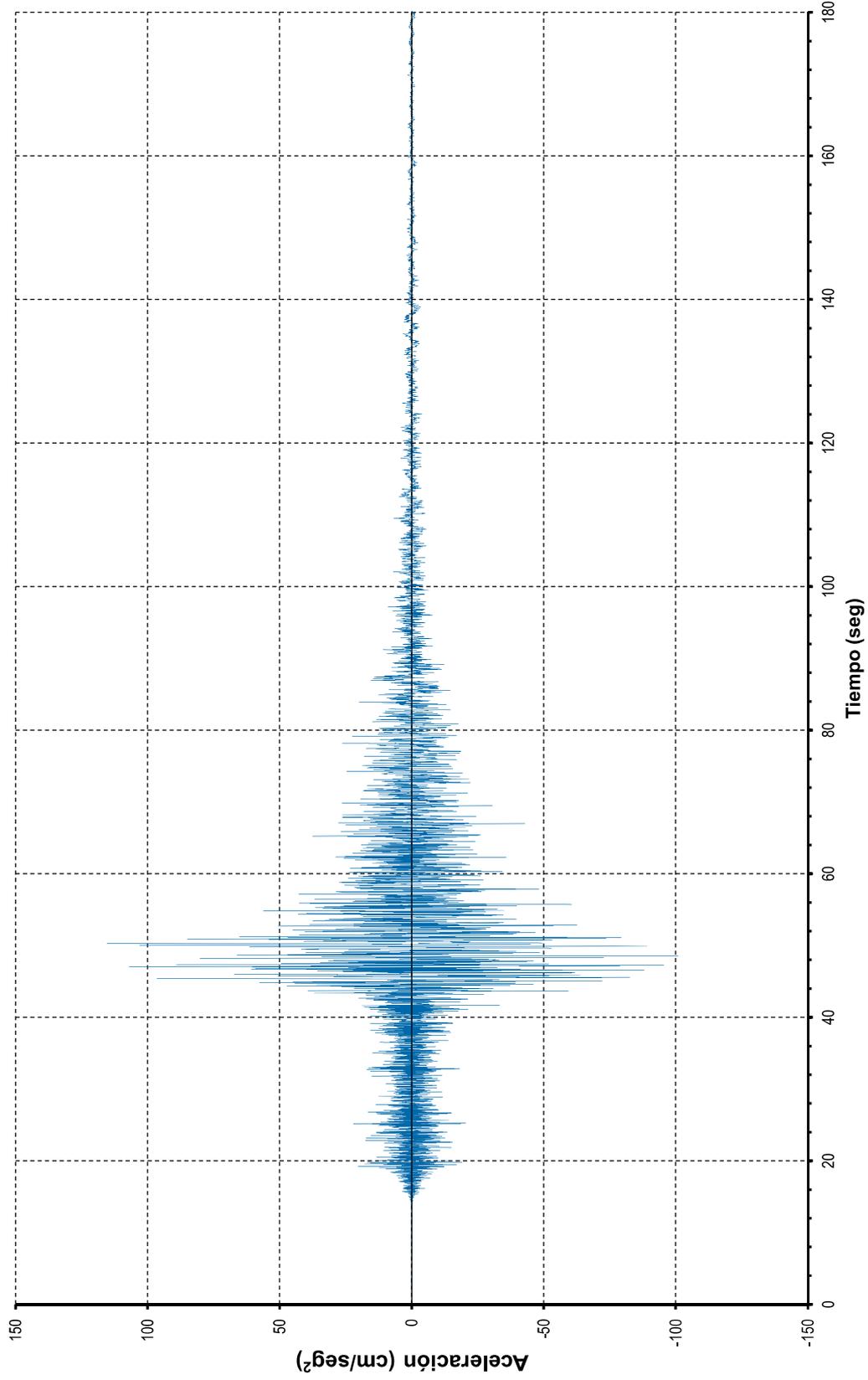
H.3



GRÁFICA N°

H.4

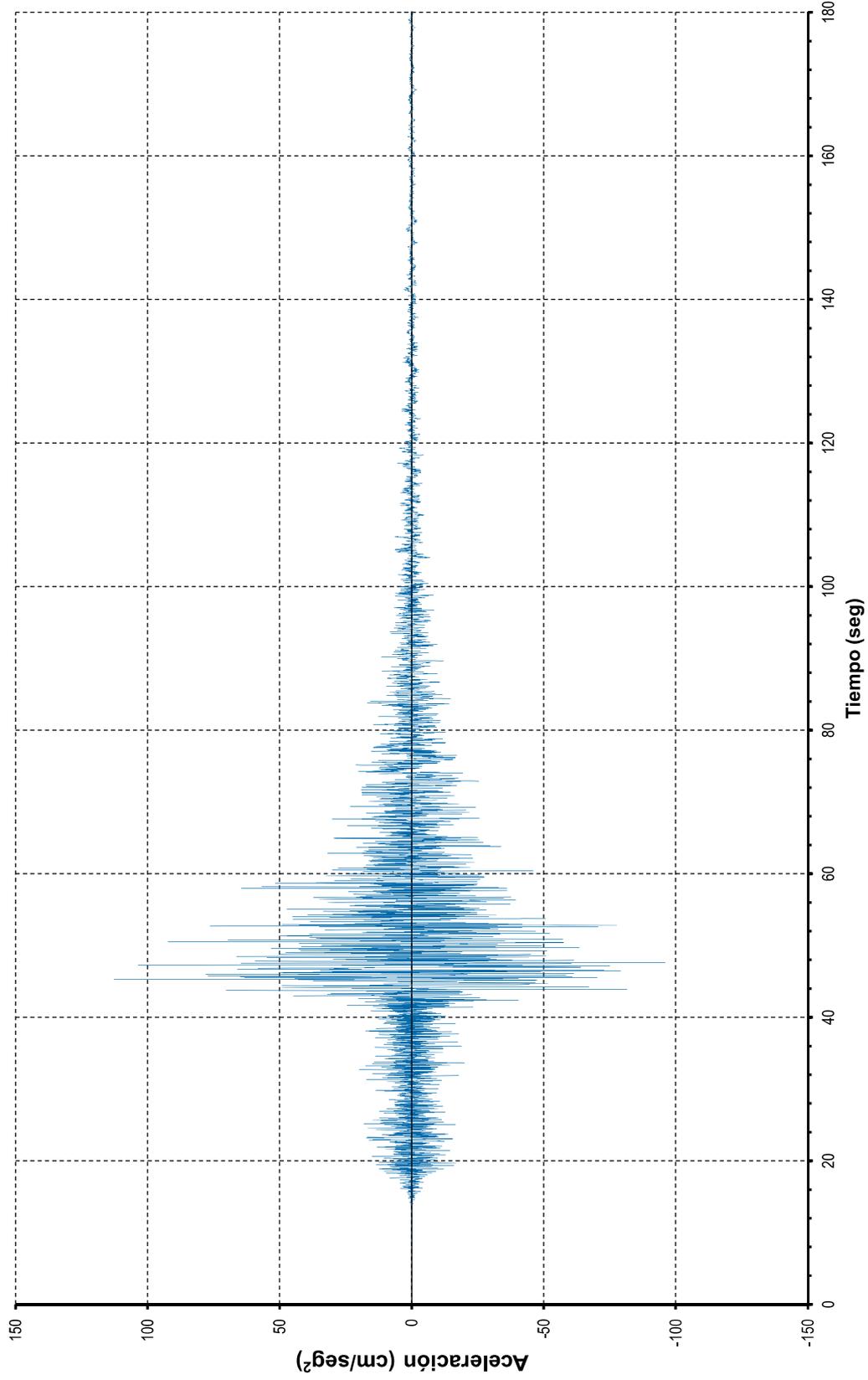
REGISTRO TIEMPO-HISTORIA DEL SISMO DE ATICO DE 2001 N-S REGISTRADO EN EL COMPLEJO DEPORTIVO DEL GOBIERNO REGIONAL DE MOQUEGUA  
CORREGIDO POR LÍNEA BASE Y FILTRADO POR PASA BANDA



GRÁFICA Nº

H.5

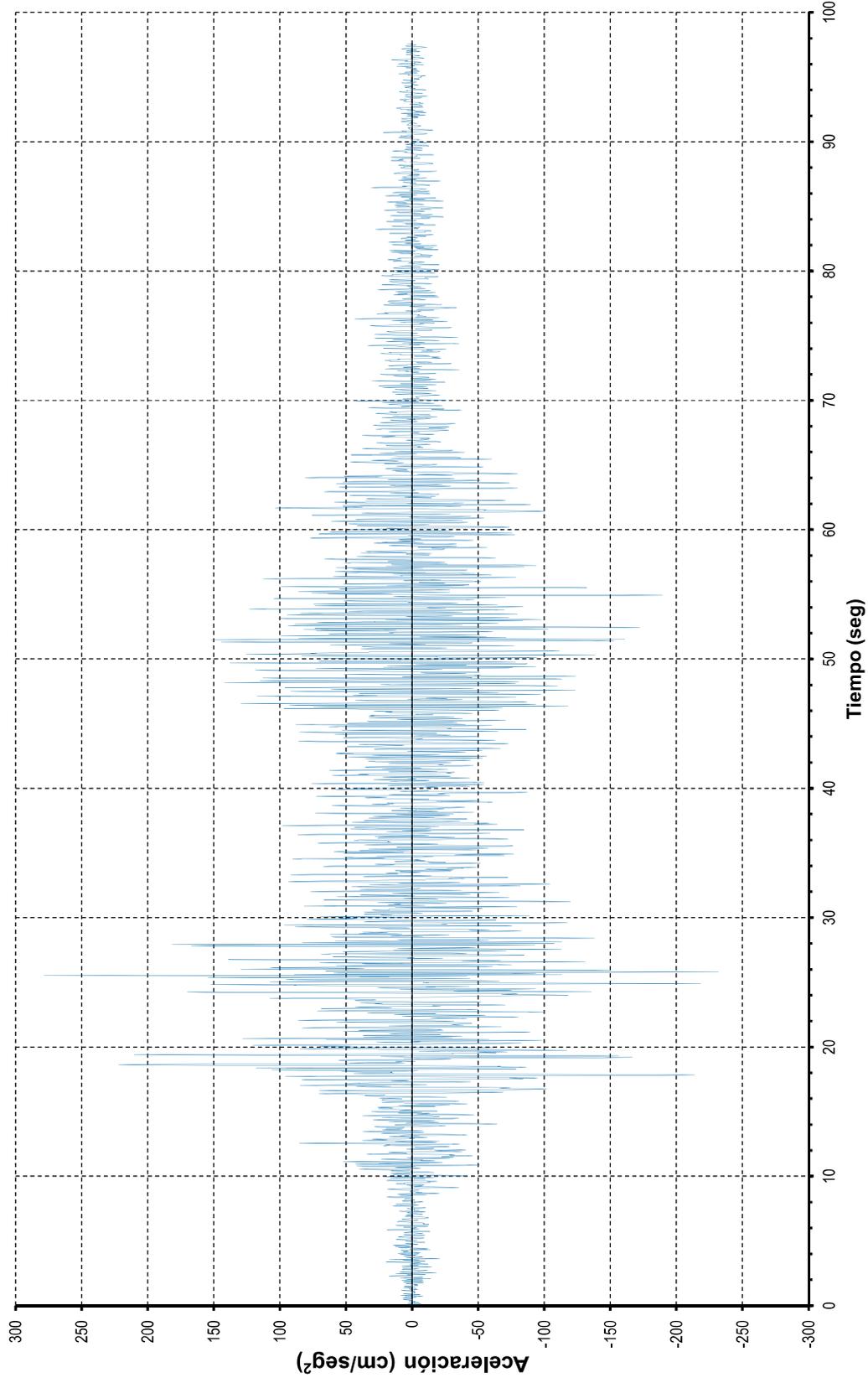
REGISTRO TIEMPO-HISTORIA DEL SISMO DE TARAPACÁ DE 2005 E-W REGISTRADO EN LA UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA, CORREGIDO POR LÍNEA BASE Y FILTRADO POR PASA BANDA



GRÁFICA Nº

H.6

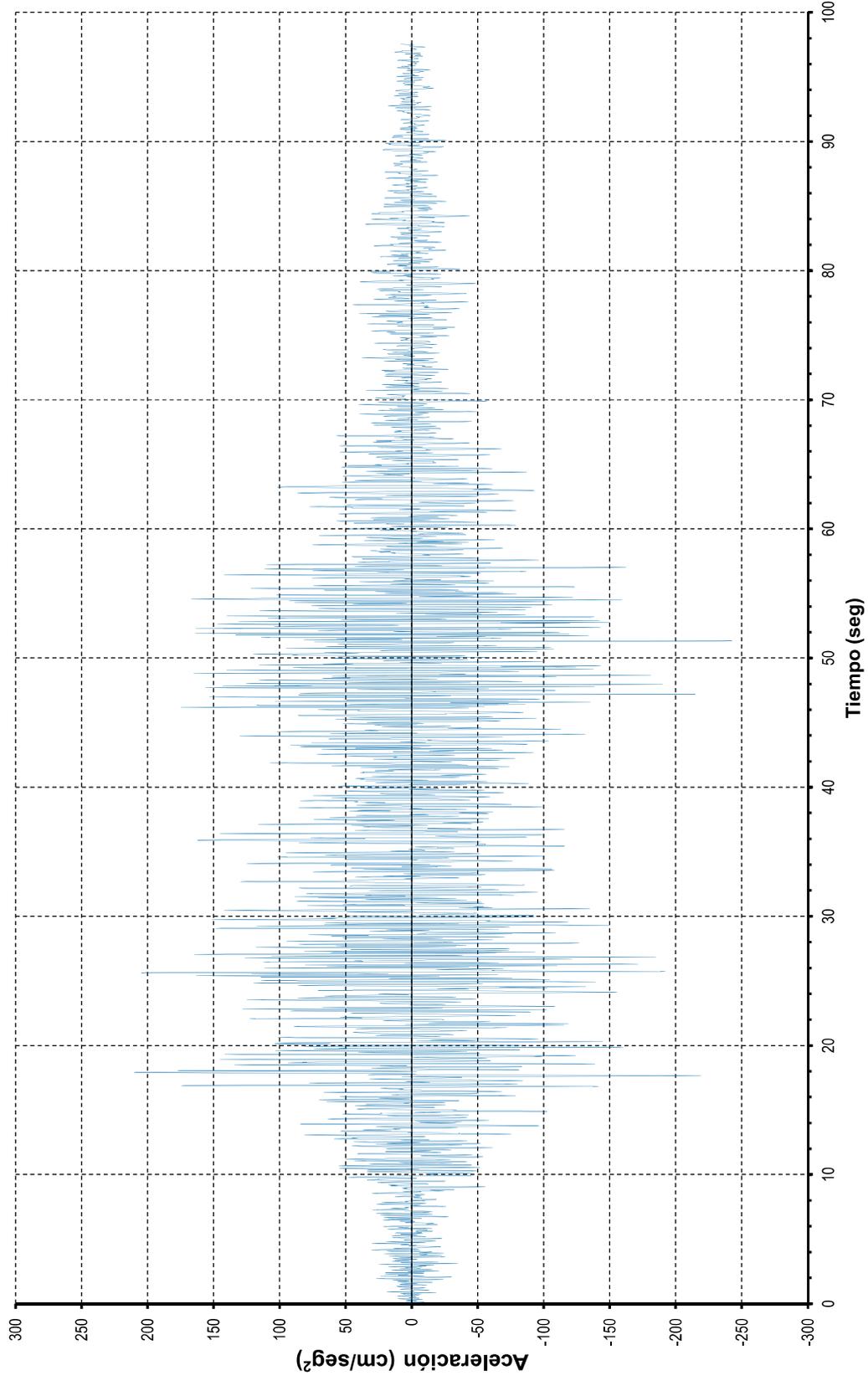
REGISTRO TIEMPO-HISTORIA DEL SISMO DE TARAPACÁ DE 2005 N-S REGISTRADO EN LA UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA, CORREGIDO POR LÍNEA BASE Y FILTRADO POR PASA BANDA



REGISTRO TIEMPO-HISTORIA DEL SISMO DE LIMA DE 1974 E-W AJUSTADO ESPECTRALMENTE AL ESPECTRO DE PELIGRO UNIFORME (SUELO TIPO B) PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 475 AÑOS

GRÁFICA N°

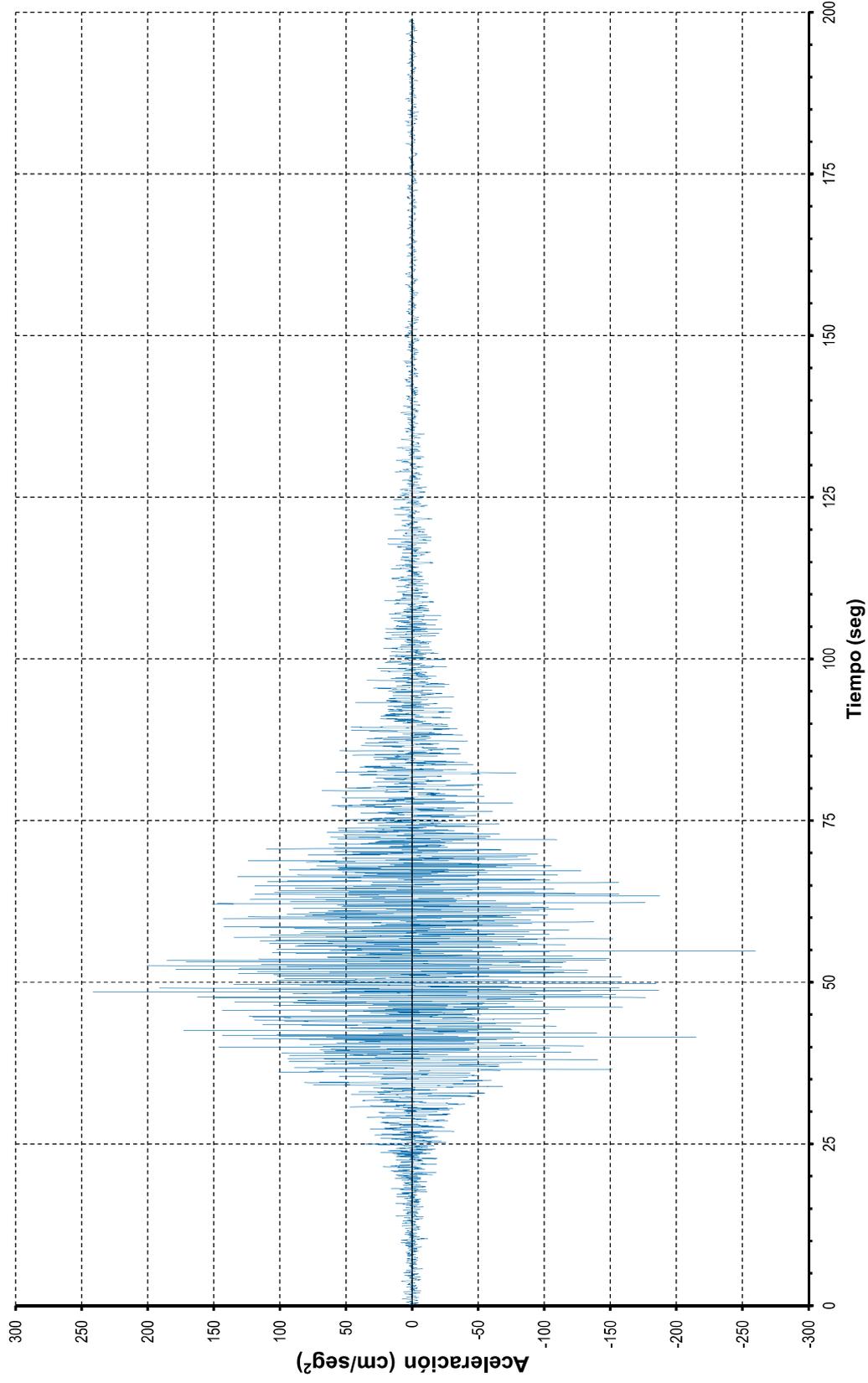
H.7



REGISTRO TIEMPO-HISTORIA DEL SISMO DE LIMA DE 1974 N-S AJUSTADO ESPECTRALMENTE AL ESPECTRO DE PELIGRO UNIFORME (SUELO TIPO B) PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 475 AÑOS

GRÁFICA N°

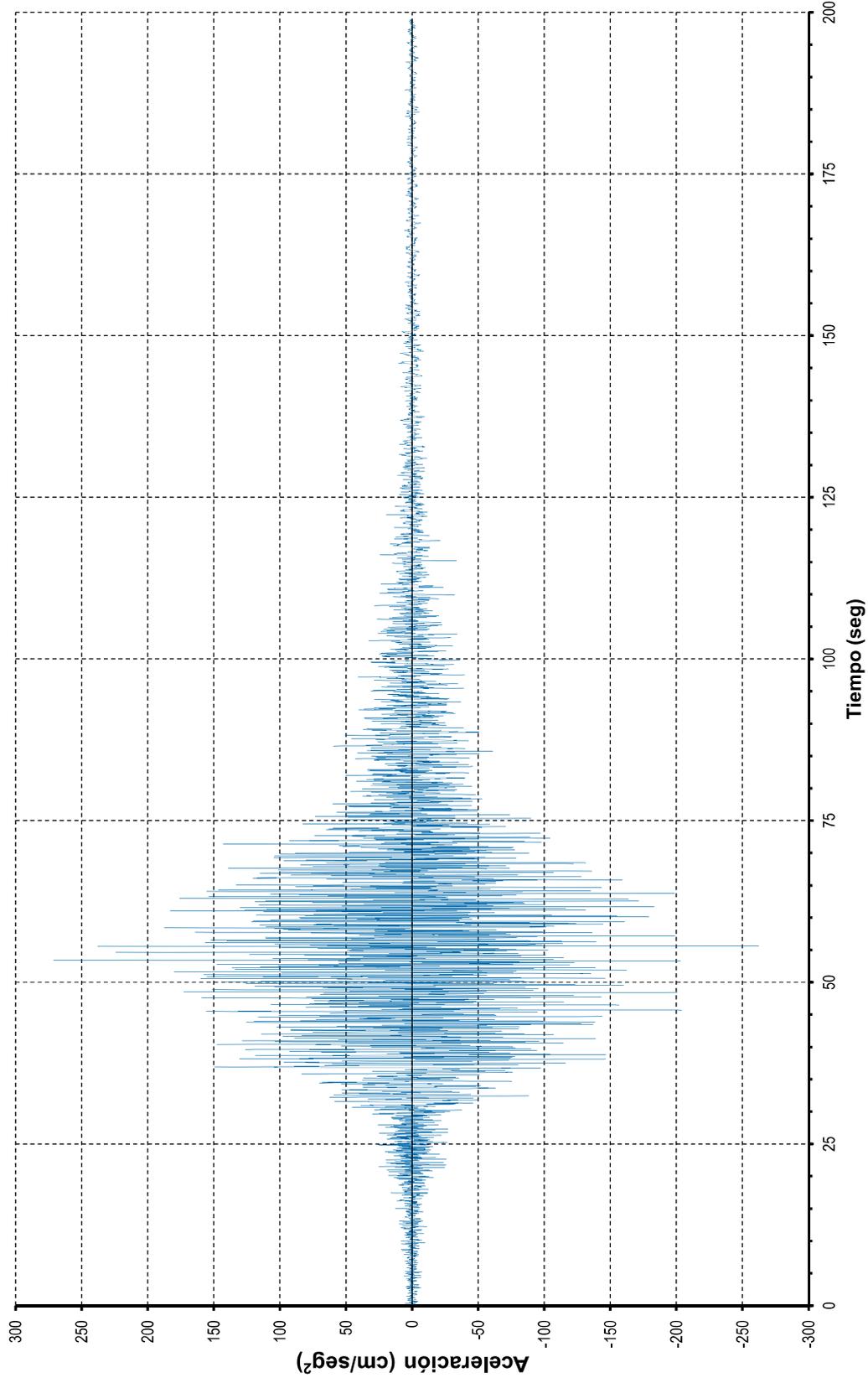
H.8



REGISTRO TIEMPO-HISTORIA DEL SISMO DE ATICO DE 2001 E-W AJUSTADO ESPECTRALMENTE AL ESPECTRO DE PELIGRO UNIFORME (SUELO TIPO B) PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 475 AÑOS

GRÁFICA Nº

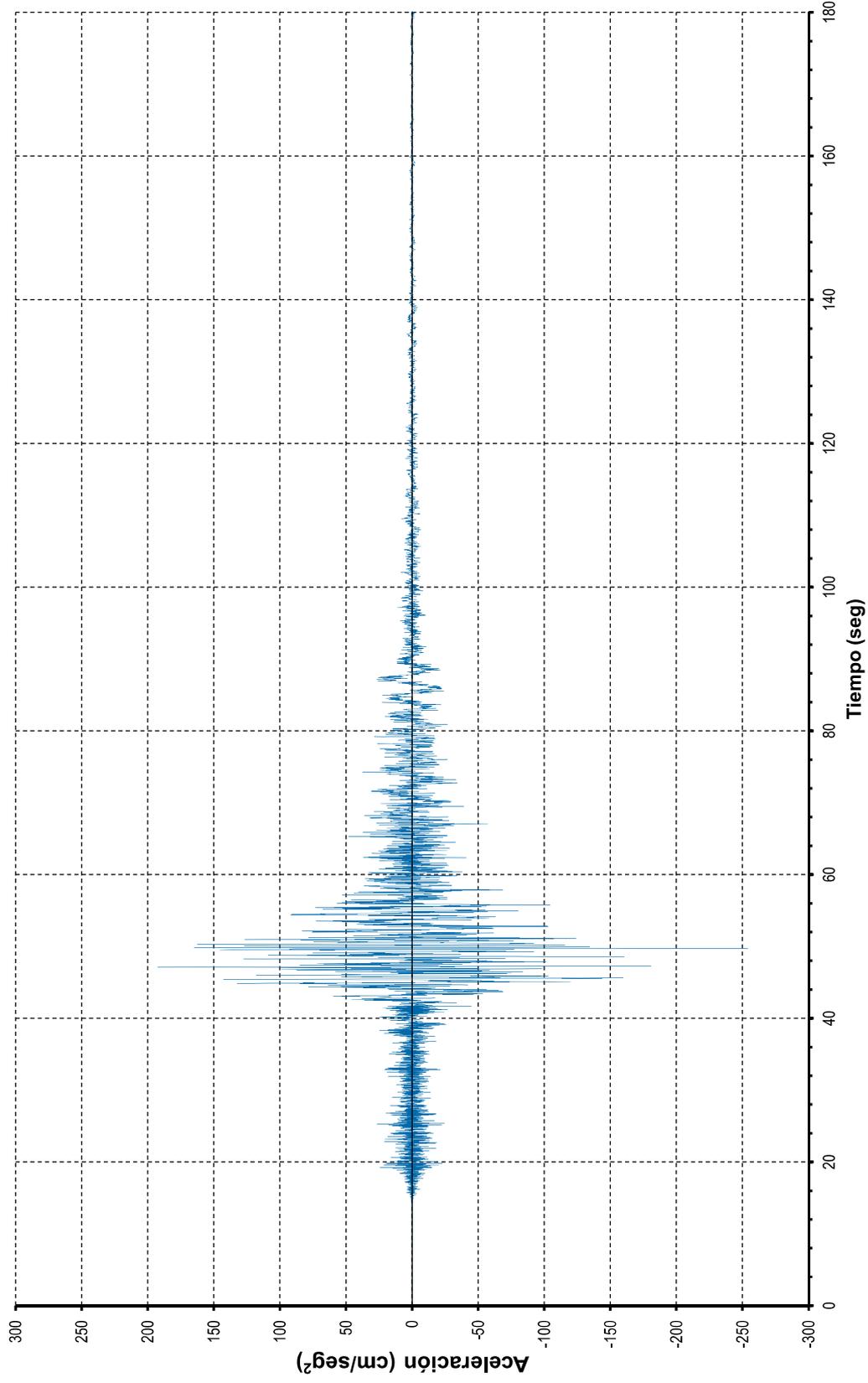
H.9



GRÁFICA N°

H.10

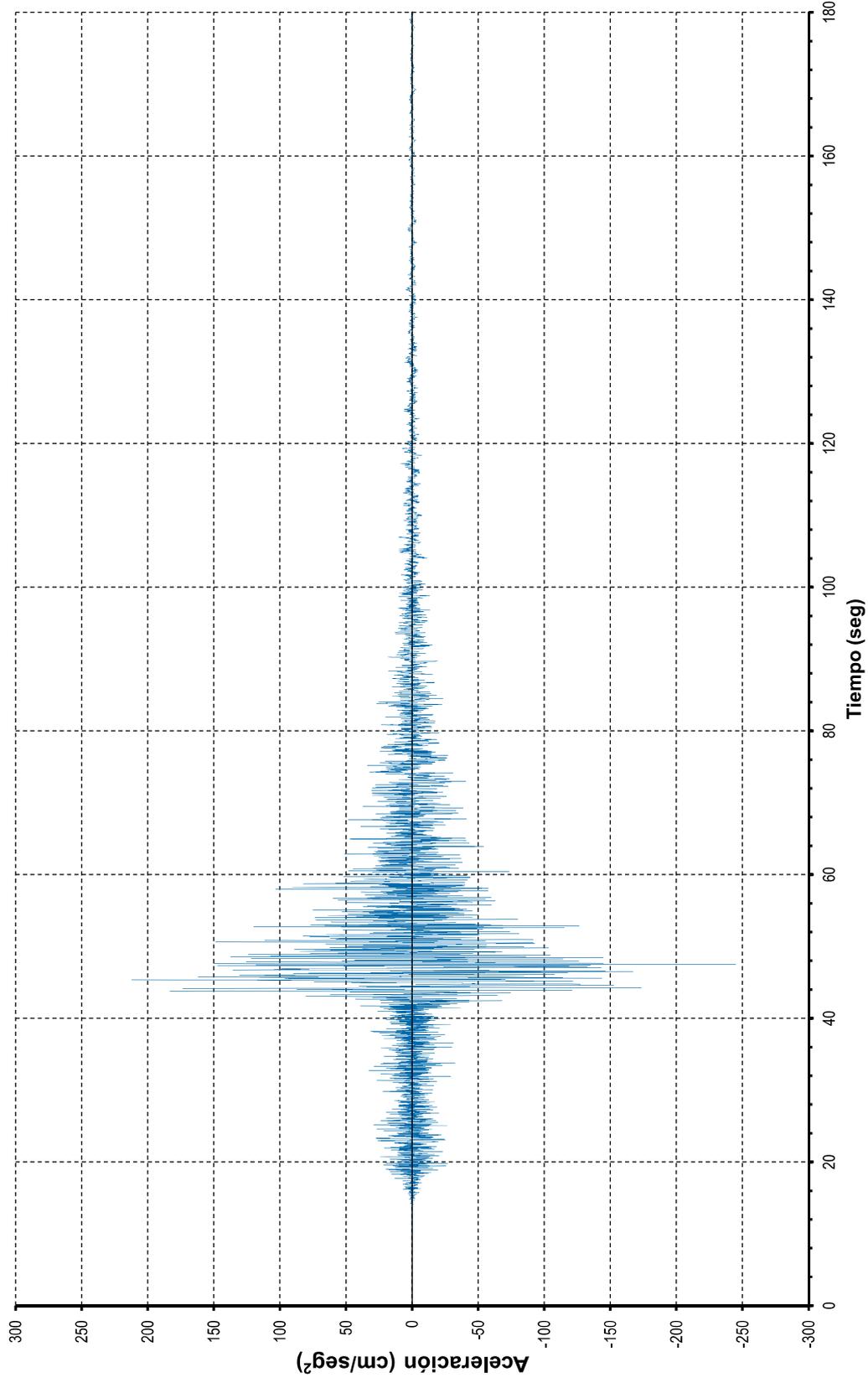
REGISTRO TIEMPO-HISTORIA DEL SISMO DE ATICO DE 2001 N-S AJUSTADO ESPECTRALMENTE AL ESPECTRO DE PELIGRO UNIFORME (SUELO TIPO B) PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 475 AÑOS



GRÁFICA Nº

H.11

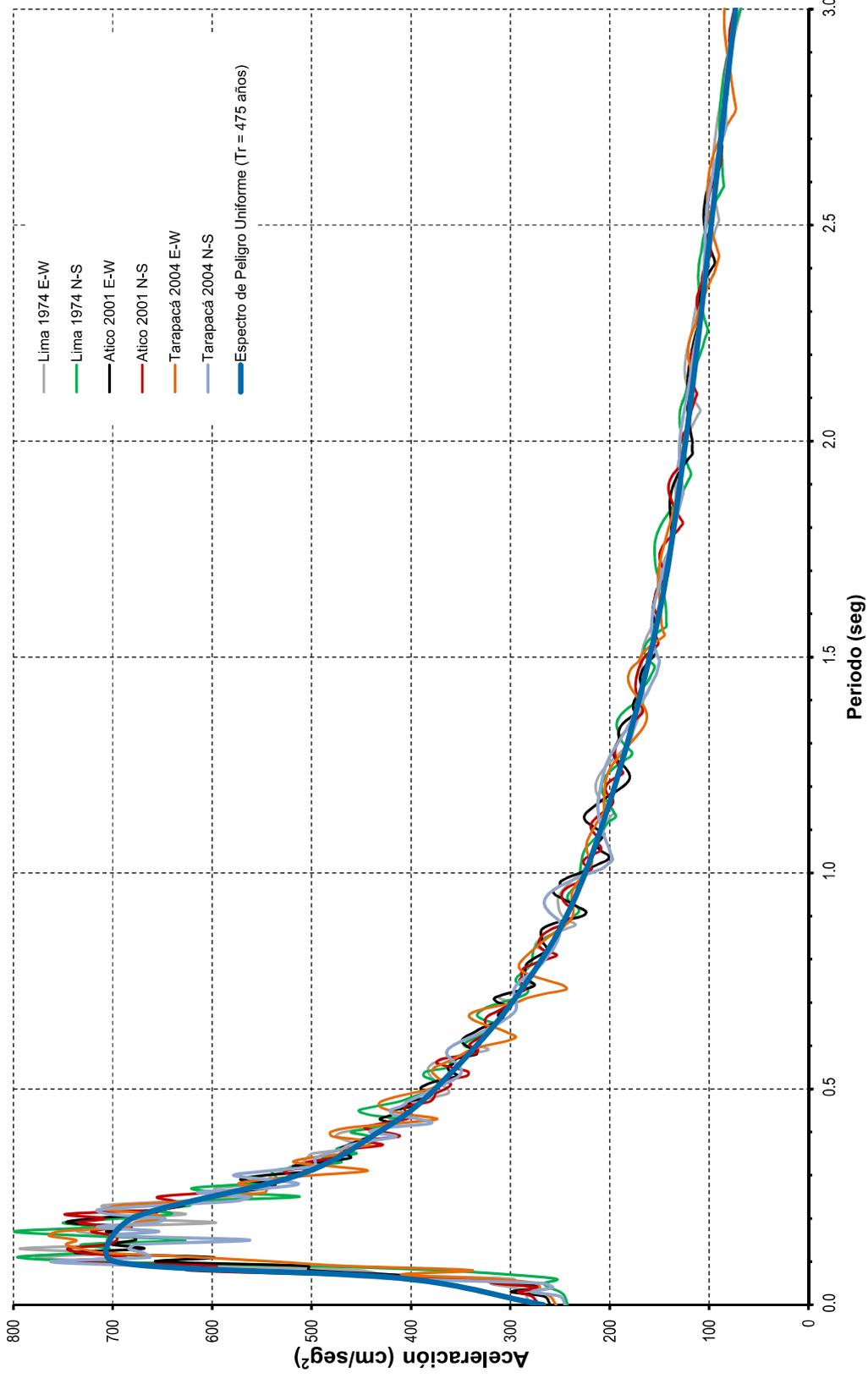
REGISTRO TIEMPO-HISTORIA DEL SISMO DE TARAPACÁ DE 2005 E-W AJUSTADO ESPECTRALMENTE AL ESPECTRO DE PELIGRO UNIFORME (SUELO TIPO B) PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 475 AÑOS



GRÁFICA Nº

H.12

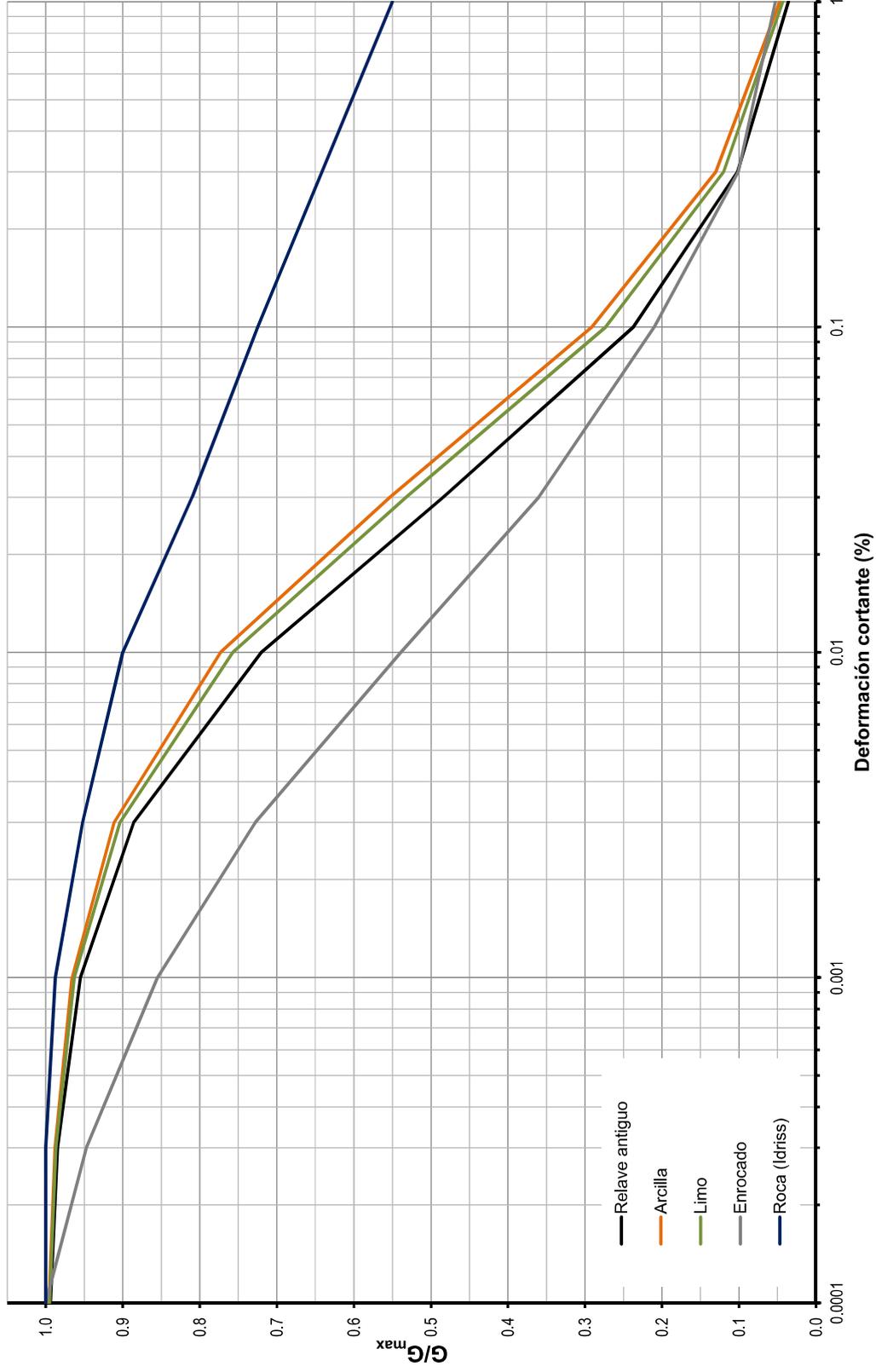
REGISTRO TIEMPO-HISTORIA DEL SISMO DE TARAPACÁ DE 2005 N-S AJUSTADO ESPECTRALMENTE AL ESPECTRO DE PELIGRO UNIFORME (SUELO TIPO B) PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 475 AÑOS

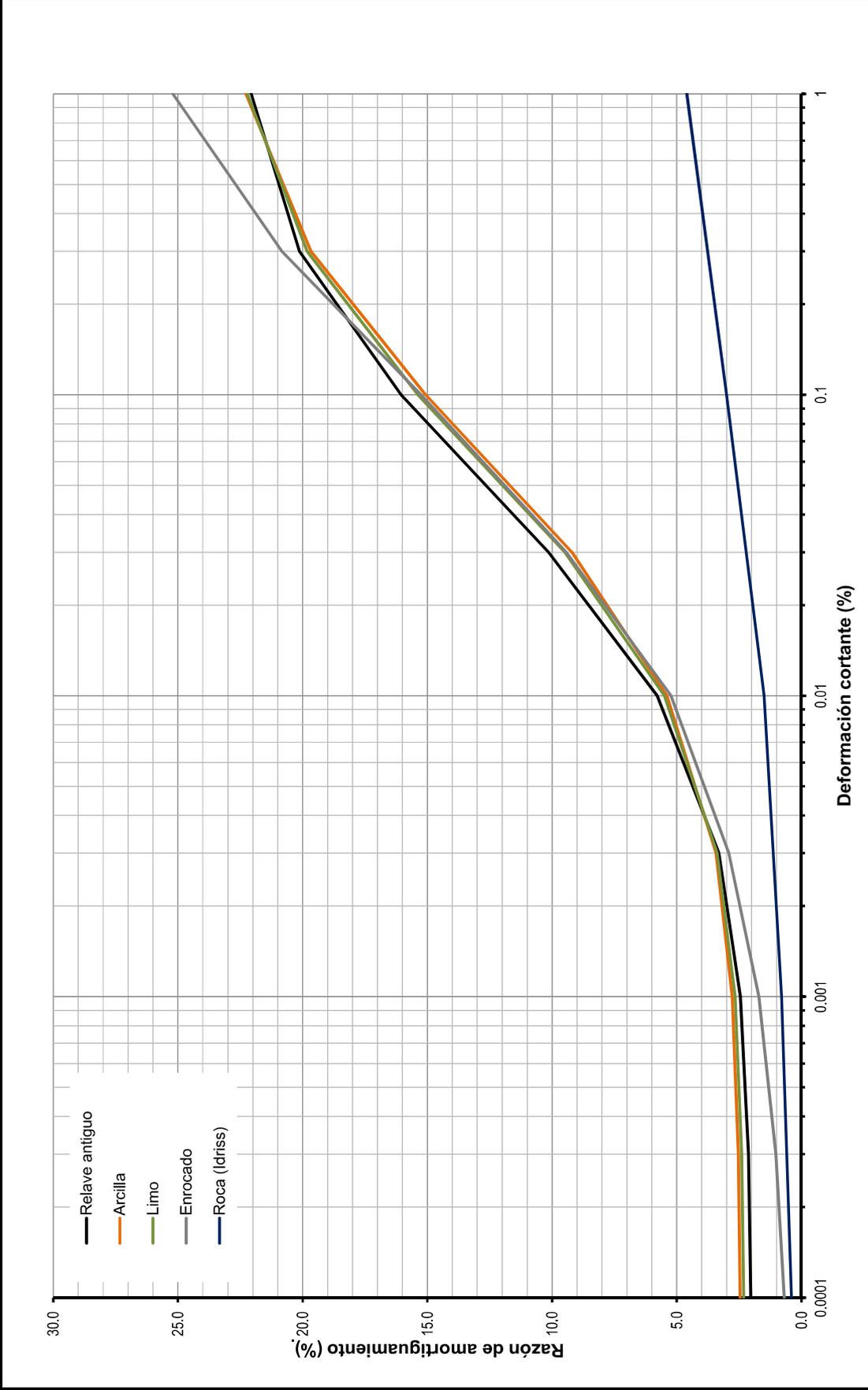


GRÁFICA Nº

H.13

ESPECTROS DE RESPUESTA DE LOS REGISTROS TIEMPO-HISTORIA AJUSTADOS ESPECTRALMENTE AL ESPECTRO DE PELIGRO UNIFORME (SUELO TIPO B) PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 475 AÑOS





GRÁFICA Nº **H.15**

CURVAS DE INCREMENTEO DE LA RAZÓN DE AMORTIGUAMIENTO PARA LOS ANÁLISIS DE RESPUESTA

## **ANEXO I: CÁLCULO DEL COEFICIENTE SÍSMICO**

## Cálculo del Coeficiente Pseudo-Estático Método de Bray y Travasarou (2009)

Parámetros de entrada:  $\sigma$  (Desv. est.): 0.66

g (cm/seg<sup>2</sup>): 981

*Coeficiente Pseudoestático en el área comprendida del proyecto*

Estructura en Análisis		Sección 1-1'	Sección 2-2'	Sección 3-3'
Parámetros				
Datos de entrada	Dperm (cm) :	100.0	100.0	100.0
	Vs (m/seg) :	350.0	400.0	350.0
	H (m) :	10.0	30.0	10.0
	Ts (seg) :	0.114	0.300	0.074
Espectro de respuesta (T=475 años)	Magnitud (Mw) :	8.0	8.0	8.0
	Sa <sub>2</sub> (Ts deg) (g) :	0.790	0.830	0.720
	k <sub>2</sub> (cm) :	0.082	0.108	0.069
<b>Coeficiente pseudo estático</b> :		<b>0.082</b>	<b>0.108</b>	<b>0.069</b>

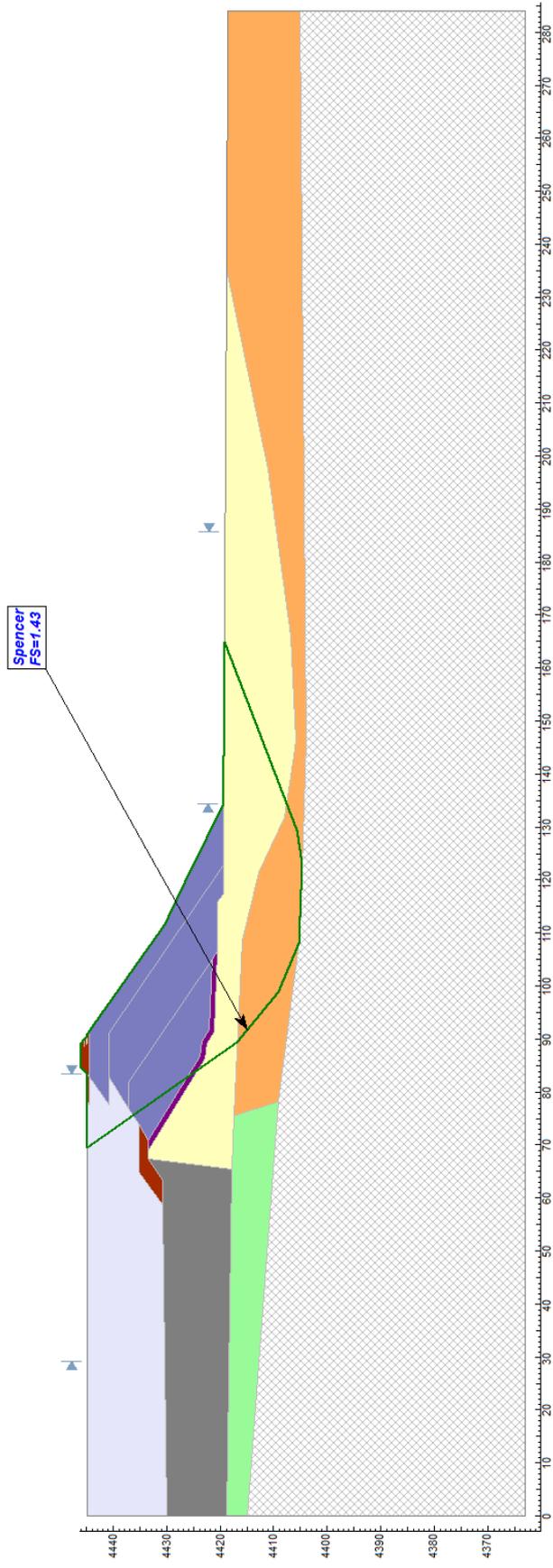
- Abreviaturas** :
- Dperm*: Deformación permisible
  - Vs*: Velocidad de onda de corte promedio del suelo
  - H*: Altura bloque deslizando
  - Ts*: Periodo de la estructura de suelo
  - Ts deg*: Periodo degradado de la estructura de suelo
  - Sa<sub>i</sub>*: Aceleración espectral para ley de atenuación "i"
  - K<sub>i</sub>*: Coeficiente pseudoestático obtenido por la ley de atenuación/espectro "i"
  - Tr*: Tiempo de retorno

## **ANEXO J: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD**

### Análisis de estabilidad

Sección geotécnica 1-1' - Análisis estático, condición actual - Falla compuesta, F.S. = 1,43

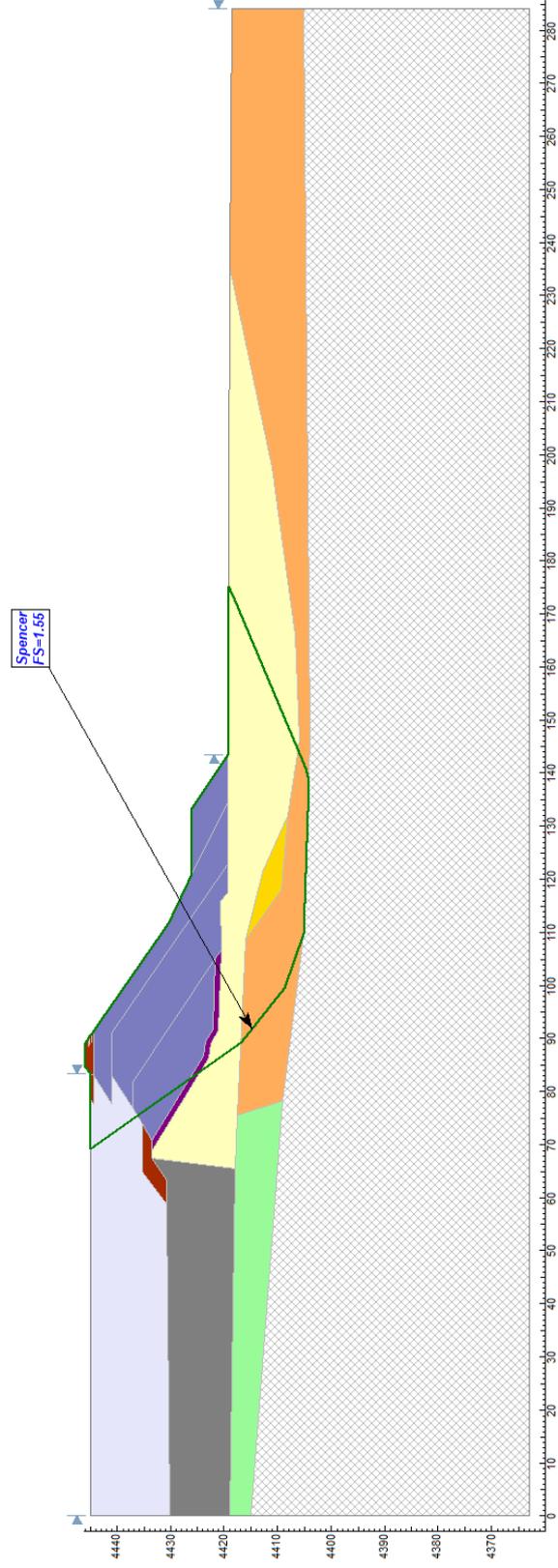
Materiales	$\gamma_{Tot}$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ )	$c'$ ( $kPa$ )	$\phi'$ ( $^{\circ}$ )	$c$ ( $kPa$ )	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	$S_u$ ( $kPa$ )	$S_u/\sigma_n$ (-)
Relave no consolidado	18,0	20,0	-	-	-	-	50	-
Relave consolidado	21,0	22,5	0	27	-	-	-	-
Enrocado	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Diques aguas arriba	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Base drenante	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Desmante de mina	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Arcilla consolidada	17,5	18,0	20	20	-	-	-	-
Limo	18,0	20,0	0	16	-	-	-	-
Basamento rocoso	22,0	24,0	150	30	-	-	-	-



### Análisis de estabilidad

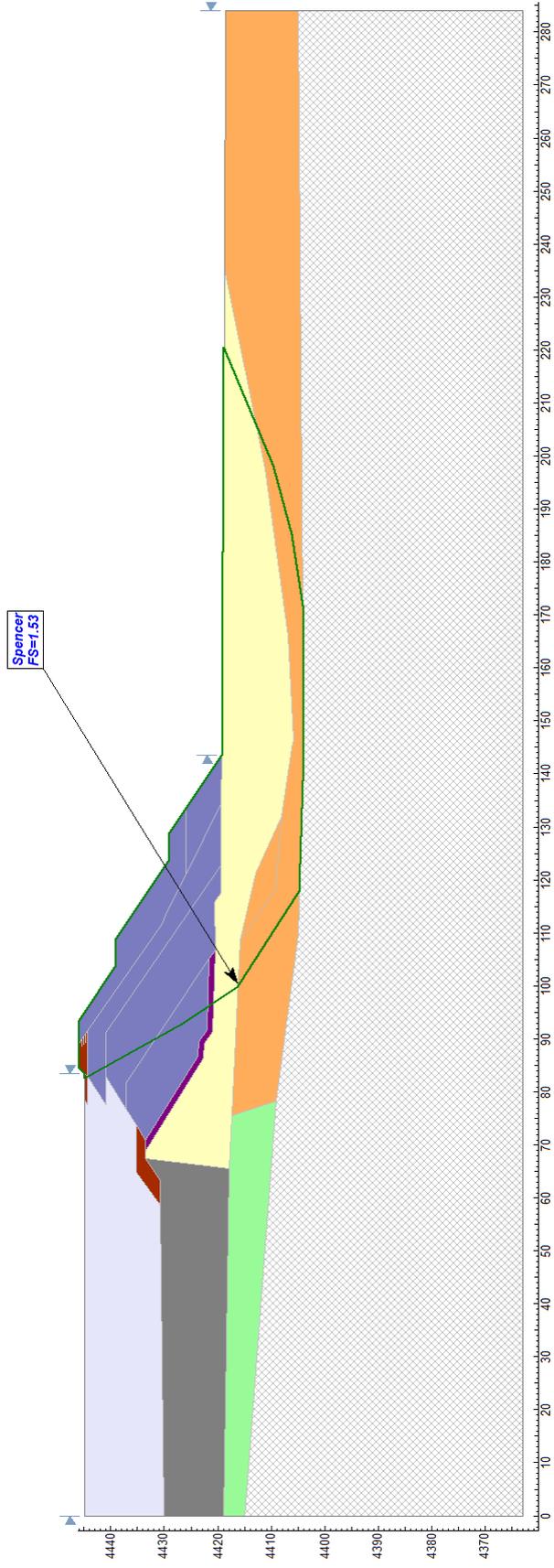
Sección geotécnica 1-1' - Análisis estático a corto plazo, condición fase 2 - Falla compuesta, F.S. = 1,55

Materiales	$\gamma_{Tot}$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ )	$c'$ ( $kPa$ )	$\phi'$ ( $^{\circ}$ )	$c$ ( $kPa$ )	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	$S_u$ ( $kPa$ )	$S_u/\sigma_n$ (-)
Relave no consolidado	18,0	20,0	-	-	-	-	50	-
Relave consolidado	21,0	22,5	0	27	-	-	-	-
Enrocado	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Diques aguas arriba	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Base drenante	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Desmante de mina	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Arcilla consolidada	17,5	18,0	20	20	-	-	-	-
Arcilla en consolidación	17,5	18,0	-	-	-	-	15-85	-
Limo	18,0	20,0	0	16	-	-	-	-
Basamento rocoso	22,0	24,0	150	30	-	-	-	-



**Análisis de estabilidad**  
Sección geotécnica 1-1' - Análisis estático a corto plazo, condición fase 3 - Falla compuesta, F.S. = 1,53

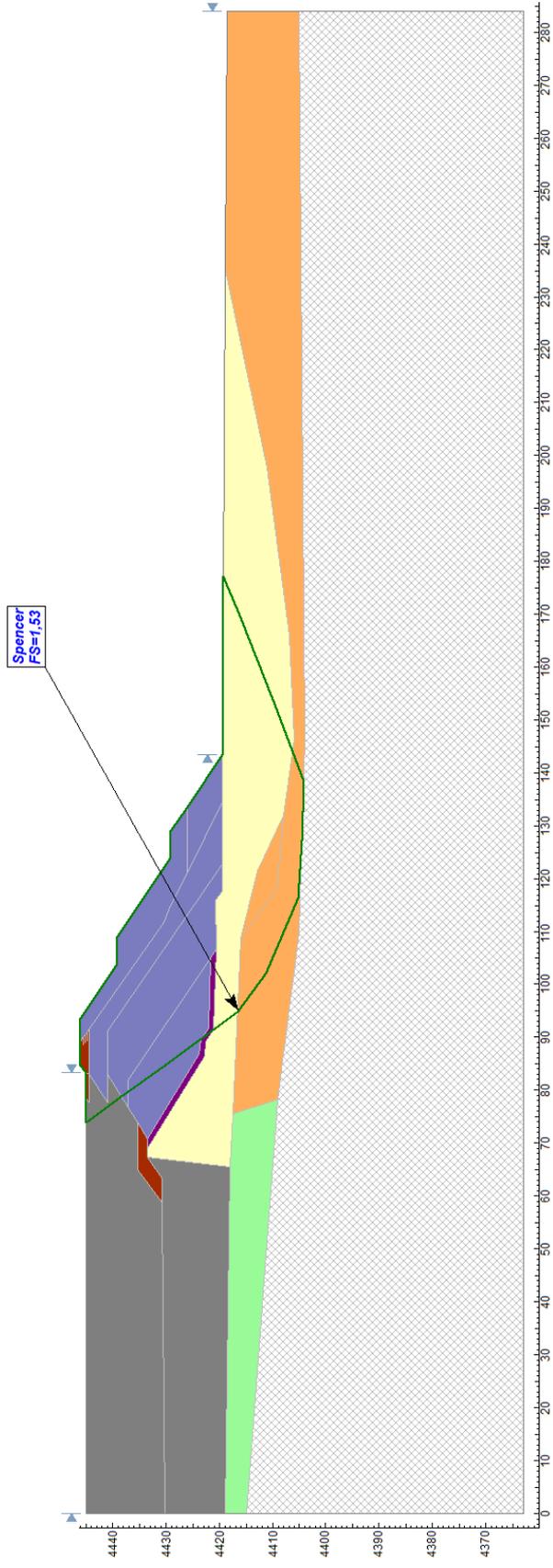
Materiales	$\gamma_{Tot}$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ )	$c'$ ( $kPa$ )	$\phi'$ ( $^{\circ}$ )	$c$ ( $kPa$ )	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	$S_u$ ( $kPa$ )	$S_u/\sigma_n$ (-)
Relave no consolidado	18,0	20,0	-	-	-	-	50	-
Relave consolidado	21,0	22,5	0	27	-	-	-	-
Enrocado	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Diques aguas arriba	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Base drenante	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Desmante de mina	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Arcilla consolidada	17,5	18,0	20	20	-	-	-	-
Limo	18,0	20,0	0	16	-	-	-	-
Basamento rocoso	22,0	24,0	150	30	-	-	-	-



### Análisis de estabilidad

Sección geotécnica 1-1' - Análisis estático a largo plazo - Falla compuesta, F.S. = 1,53

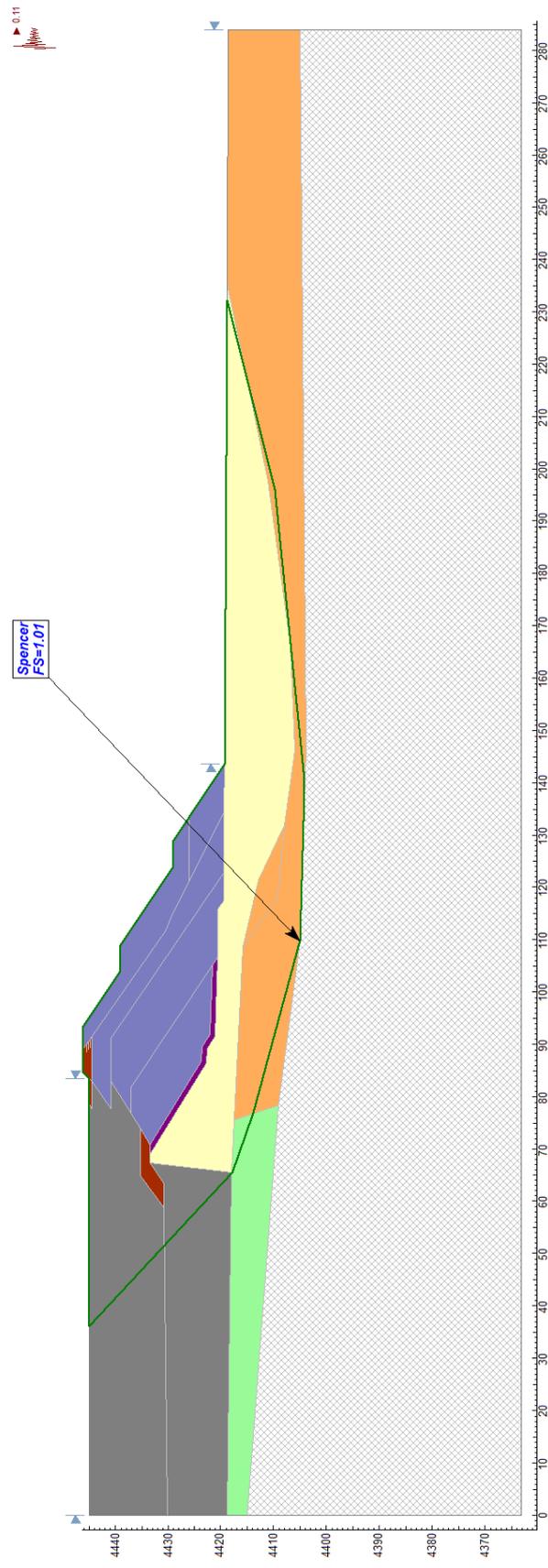
Materiales	$\gamma_{Tot}$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ )	$c'$ ( $kPa$ )	$\phi'$ ( $^{\circ}$ )	$c$ ( $kPa$ )	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	$S_u$ ( $kPa$ )	$S_u/\sigma_n$ (-)
Relave consolidado	21,0	22,5	0	27	-	-	-	-
Enrocado	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Diques aguas arriba	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Base drenante	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Desmante de mina	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Arcilla consolidada	17,5	18,0	20	20	-	-	-	-
Limo	18,0	20,0	0	16	-	-	-	-
Basamento rocoso	22,0	24,0	150	30	-	-	-	-



### Análisis de estabilidad

Sección geotécnica 1-1' - Análisis pseudoestático - Falla compuesta, F.S. = 1,01

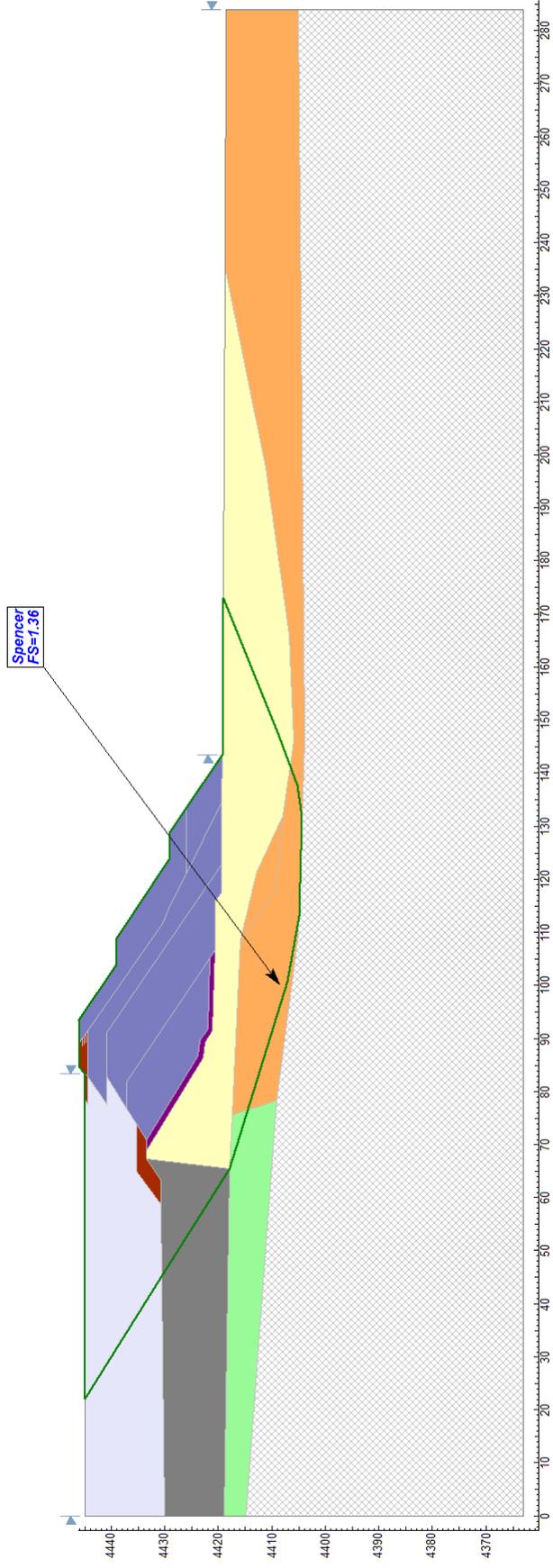
Materiales	$\gamma_{Tot}$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ )	$c'$ ( $kPa$ )	$\phi'$ ( $^{\circ}$ )	$c$ ( $kPa$ )	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	$S_u$ ( $kPa$ )	$S_u/\sigma_n$ (-)
Relave consolidado	21,0	22,5	-	-	5	20	-	-
Enrocado	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Diques aguas arriba	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Base drenante	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Desmante de mina	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Arcilla consolidada	17,5	18,0	-	-	20	12	-	-
Limo	18,0	20,0	0	16	-	-	-	-
Basamento rocoso	22,0	24,0	150	30	-	-	-	-



### Análisis de estabilidad

Sección geotécnica 1-1' - Análisis postismo - Falla compuesta, F.S. = 1,36

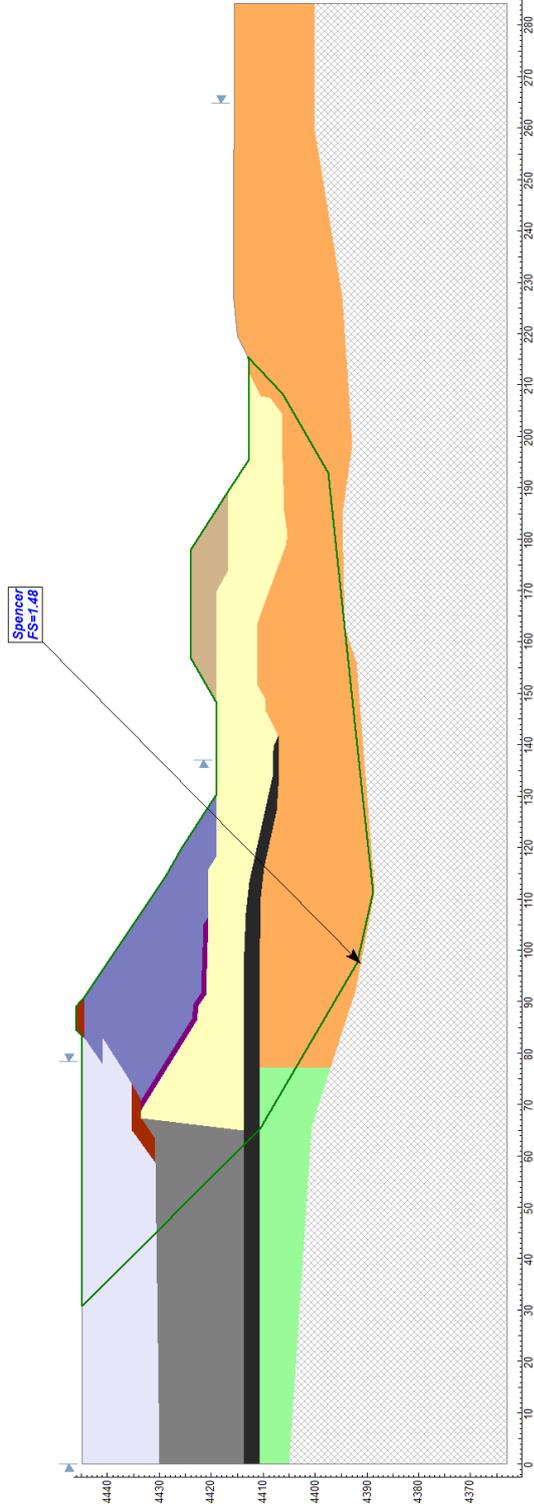
Materiales	$\gamma_{Tot}$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ )	$c'$ ( $kPa$ )	$\phi'$ ( $^{\circ}$ )	$c$ ( $kPa$ )	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	$S_u$ ( $kPa$ )	$S_u/\sigma_n$ (-)
Relave no consolidado	18,0	20,0	-	-	-	-	-	0,09
Relave consolidado	21,0	22,5	-	-	-	-	-	0,15
Enrocado	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Diques aguas arriba	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Base drenante	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Desmorte de mina	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Arcilla consolidada	17,5	18,0	-	-	20	12	-	-
Limo	18,0	20,0	0	16	-	-	-	-
Basamento rocoso	22,0	24,0	150	30	-	-	-	-



### Análisis de estabilidad

Sección geotécnica 2-2' - Análisis estático, condición actual - Falla compuesta, F.S. = 1,48

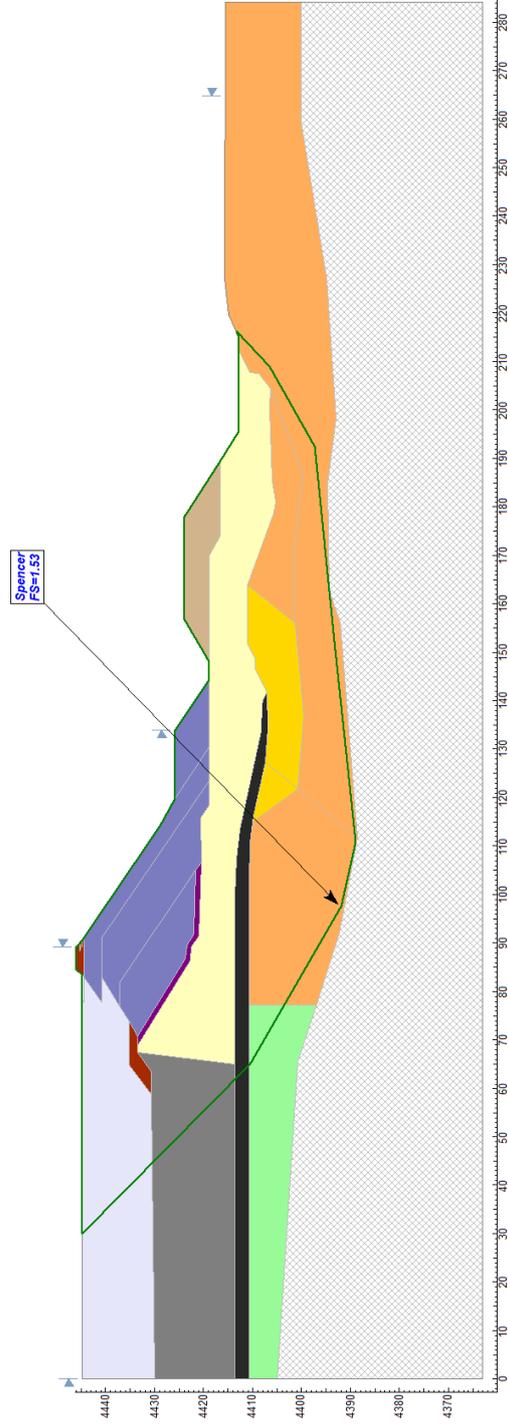
Materiales	$\gamma_{Tot}$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ )	$C'$ ( $kPa$ )	$\phi'$ ( $^{\circ}$ )	$C$ ( $kPa$ )	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	$S_u$ ( $kPa$ )	$S_u/\sigma_n$ (-)
Relave no consolidado	18,0	20,0	-	-	-	-	50	-
Relave consolidado	21,0	22,5	0	27	-	-	-	-
Relave antiguo	21,0	22,5	0	27	-	-	-	-
Enrocado	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Diques aguas arriba	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Base drenante	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Desmante de mina	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Berma de estabilización	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Arcilla consolidada	17,5	18,0	20	20	-	-	-	-
Limo	18,0	20,0	0	16	-	-	-	-
Basamento rocoso	22,0	24,0	150	30	-	-	-	-



### Análisis de estabilidad

Sección geotécnica 2-2' - Análisis estático a corto plazo, condición fase 2 - Falla compuesta, F.S. = 1,53

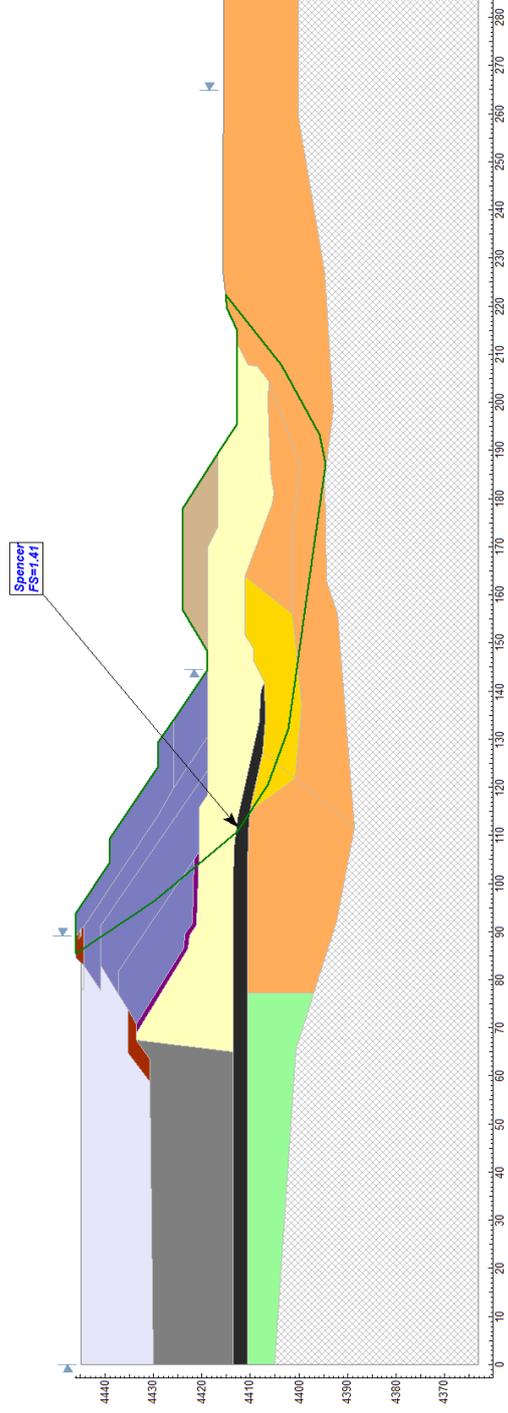
Materiales	$\gamma_{Tot}$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ )	$C'$ ( $kPa$ )	$\phi'$ ( $^{\circ}$ )	$C$ ( $kPa$ )	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	$S_u$ ( $kPa$ )	$S_u/\sigma_n$ (-)
Relave no consolidado	18,0	20,0	-	-	-	-	50	-
Relave consolidado	21,0	22,5	0	27	-	-	-	-
Relave antiguo	21,0	22,5	0	27	-	-	-	-
Enrocado	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Diques aguas arriba	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Base drenante	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Desmante de mina	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Berma de estabilización	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Arcilla consolidada	17,5	18,0	20	20	-	-	-	-
Arcilla en consolidación	17,5	18,0	-	-	-	-	15-85	-
Limo	18,0	20,0	0	16	-	-	-	-
Basamento rocoso	22,0	24,0	150	30	-	-	-	-



### Análisis de estabilidad

Sección geotécnica 2-2' - Análisis estático a corto plazo, condición fase 3 - Falla compuesta, F.S. = 1,41

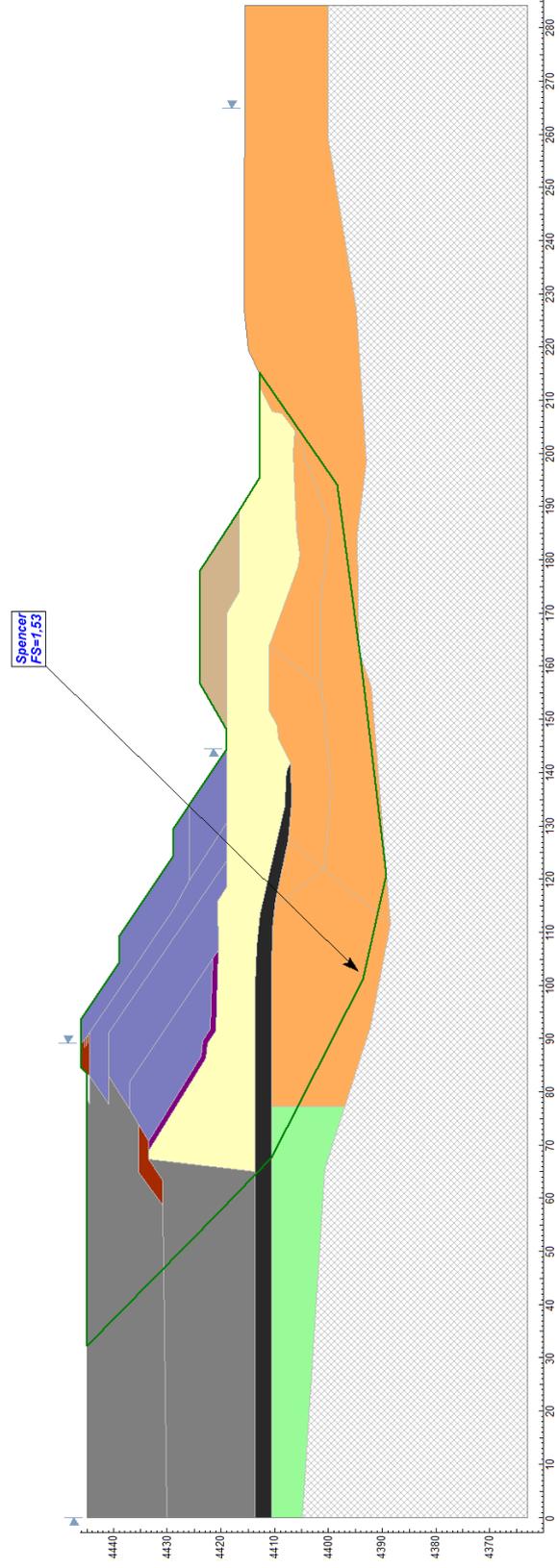
Materiales	$\gamma_{Tot}$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ )	$C'$ ( $kPa$ )	$\phi'$ ( $^{\circ}$ )	$C$ ( $kPa$ )	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	$S_u$ ( $kPa$ )	$S_u/\sigma_n$ (-)
Relave no consolidado	18,0	20,0	-	-	-	-	50	-
Relave consolidado	21,0	22,5	0	27	-	-	-	-
Relave antiguo	21,0	22,5	0	27	-	-	-	-
Enrocado	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Diques aguas arriba	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Base drenante	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Desmante de mina	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Berma de estabilización	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Arcilla consolidada	17,5	18,0	20	20	-	-	-	-
Arcilla en consolidación	17,5	18,0	-	-	-	-	15-85	-
Limo	18,0	20,0	0	16	-	-	-	-
Basamento rocoso	22,0	24,0	150	30	-	-	-	-



### Análisis de estabilidad

Sección geotécnica 2-2' - Análisis estático a largo plazo - Falla compuesta, F.S. = 1,53

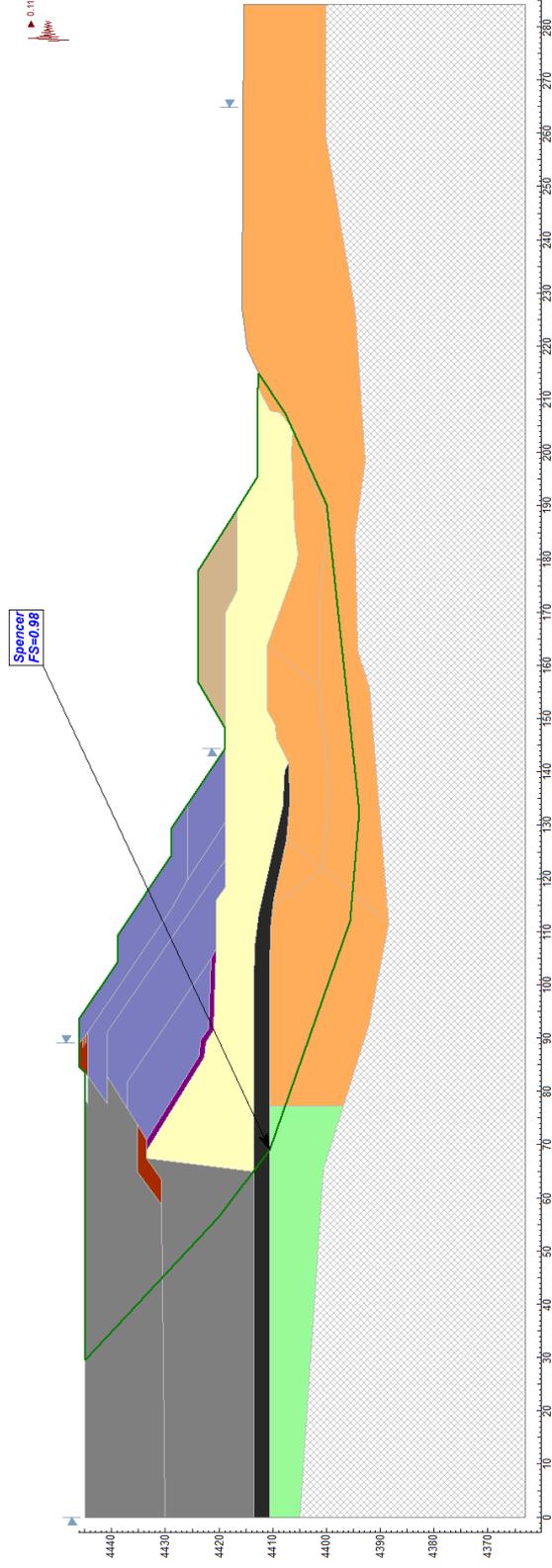
Materiales	$\gamma_{Tot}$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ )	$C'$ ( $kPa$ )	$\phi'$ ( $^{\circ}$ )	$C$ ( $kPa$ )	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	$S_u$ ( $kPa$ )	$S_u/\sigma_n$ (-)
Relave consolidado	21,0	22,5	0	27	-	-	-	-
Relave antiguo	21,0	22,5	0	27	-	-	-	-
Enrocado	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Diques aguas arriba	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Base drenante	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Desmante de mina	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Berma de estabilización	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Arcilla consolidada	17,5	18,0	20	20	-	-	-	-
Limo	18,0	20,0	0	16	-	-	-	-
Basamento rocoso	22,0	24,0	150	30	-	-	-	-



### Análisis de estabilidad

Sección geotécnica 2-2' - Análisis pseudoestático - Falla compuesta, F.S. = 0,98

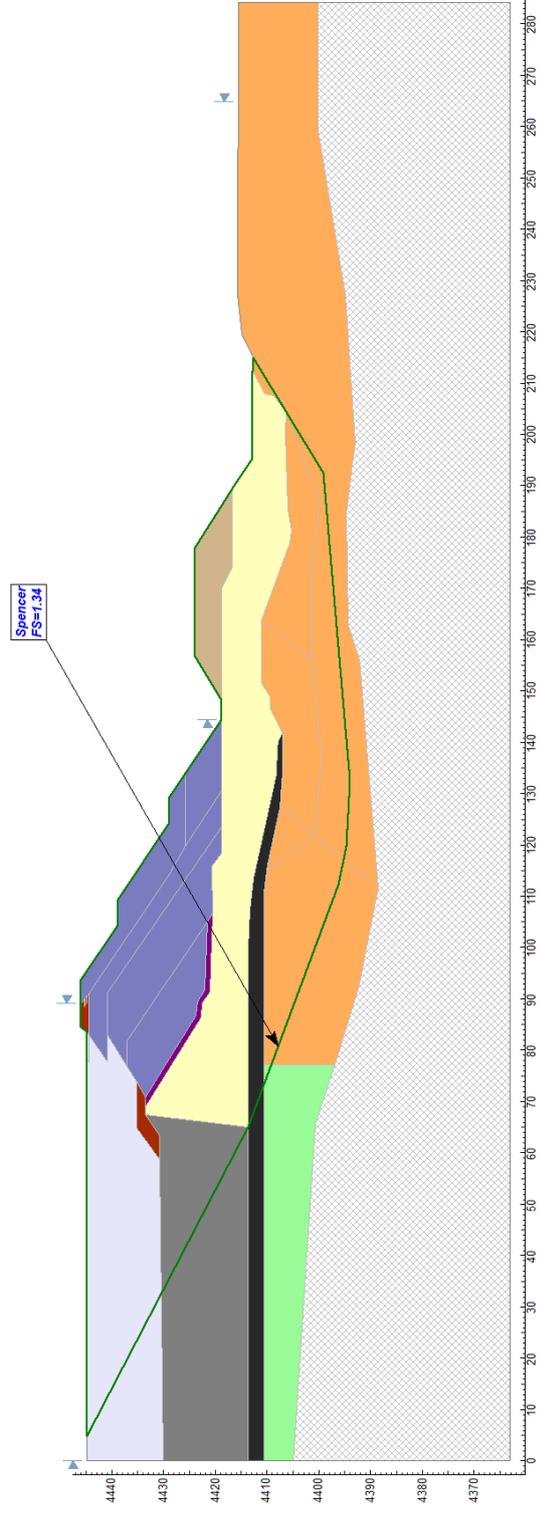
Materiales	$\gamma_{rot}$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ )	$C'$ ( $kPa$ )	$\phi'$ ( $^{\circ}$ )	$C$ ( $kPa$ )	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	$S_u$ ( $kPa$ )	$S_u/\sigma'_n$ (-)
Relave consolidado	21,0	22,5	-	-	5	20	-	-
Relave antiguo	21,0	22,5	0	27	-	-	-	-
Enrocado	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Diques aguas arriba	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Base drenante	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Desmonte de mina	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Berma de estabilización	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Arcilla consolidada	17,5	18,0	-	-	20	12	-	-
Limo	18,0	20,0	0	16	-	-	-	-
Basamento rocoso	22,0	24,0	150	30	-	-	-	-



### Análisis de estabilidad

Sección geotécnica 2-2' - Análisis postismo - Falla compuesta, F.S. = 1,34

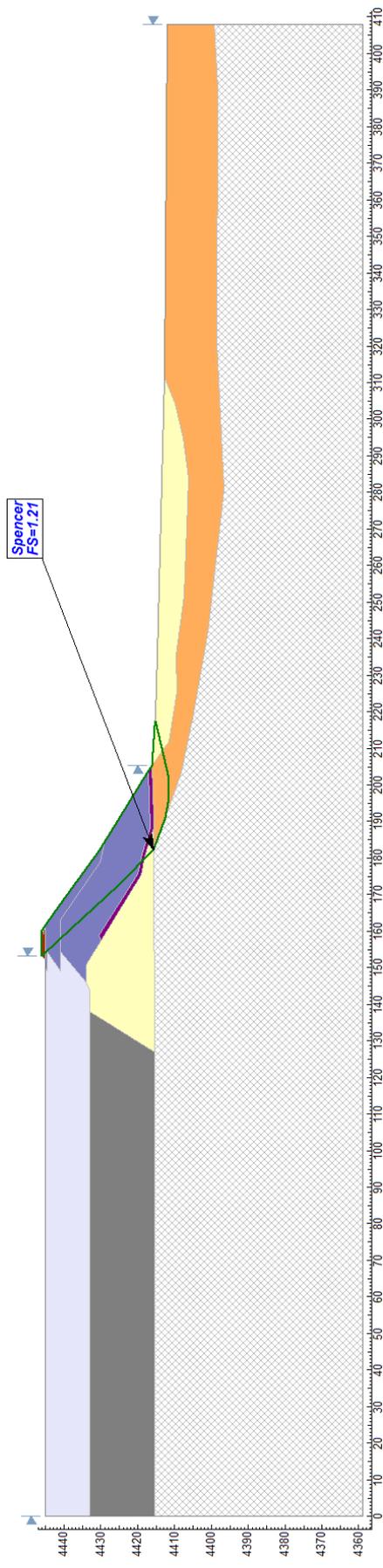
Materiales	$\gamma_{rot}$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ )	$C'$ ( $kPa$ )	$\phi'$ ( $^{\circ}$ )	$C$ ( $kPa$ )	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	$S_u$ ( $kPa$ )	$S_u/\sigma'_n$ (-)
Relave no consolidado	18,0	20	-	-	-	-	-	0,09
Relave consolidado	21,0	22,5	-	-	-	-	-	0,15
Relave antiguo	21,0	22,5	-	-	-	-	-	0,15
Enrocado	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Diques aguas arriba	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Base drenante	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Desmonte de mina	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Berma de estabilización	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Arcilla consolidada	17,5	18,0	-	-	20	12	-	-
Limo	18,0	20,0	0	16	-	-	-	-
Basamento rocoso	22,0	24,0	150	30	-	-	-	-



### Análisis de estabilidad

Sección geotécnica 3-3' - Análisis estático, condición actual - Falla compuesta, F.S. = 1,21

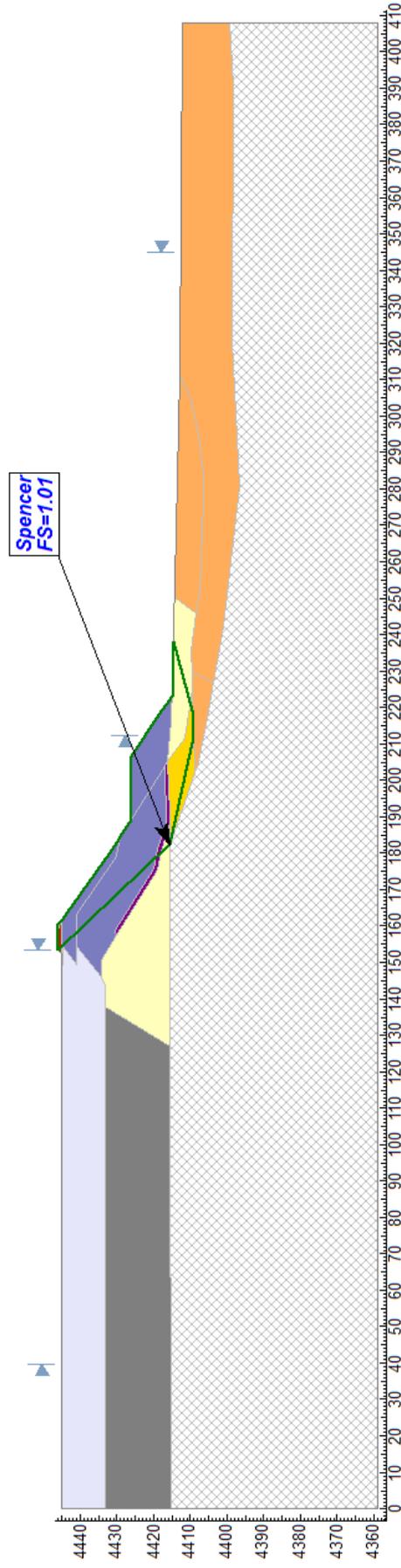
Materiales	$\gamma_{Tot}$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ )	$c'$ ( $kPa$ )	$\phi'$ ( $^{\circ}$ )	$c$ ( $kPa$ )	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	$S_u$ ( $kPa$ )	$S_u/\sigma_n$ (-)
Relave no consolidado	18,0	20,0	-	-	-	-	50	-
Relave consolidado	21,0	22,5	0	27	-	-	-	-
Enrocado	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Diques aguas arriba	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Base drenante	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Desmante de mina	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Arcilla consolidada	17,5	18,0	20	20	-	-	-	-
Basamento rocoso	22,0	24,0	150	30	-	-	-	-



### Análisis de estabilidad

Sección geotécnica 3-3' - Análisis estático a corto plazo, condición fase 2 (sin contrafuerte) - Falla compuesta, F.S. = 1,01

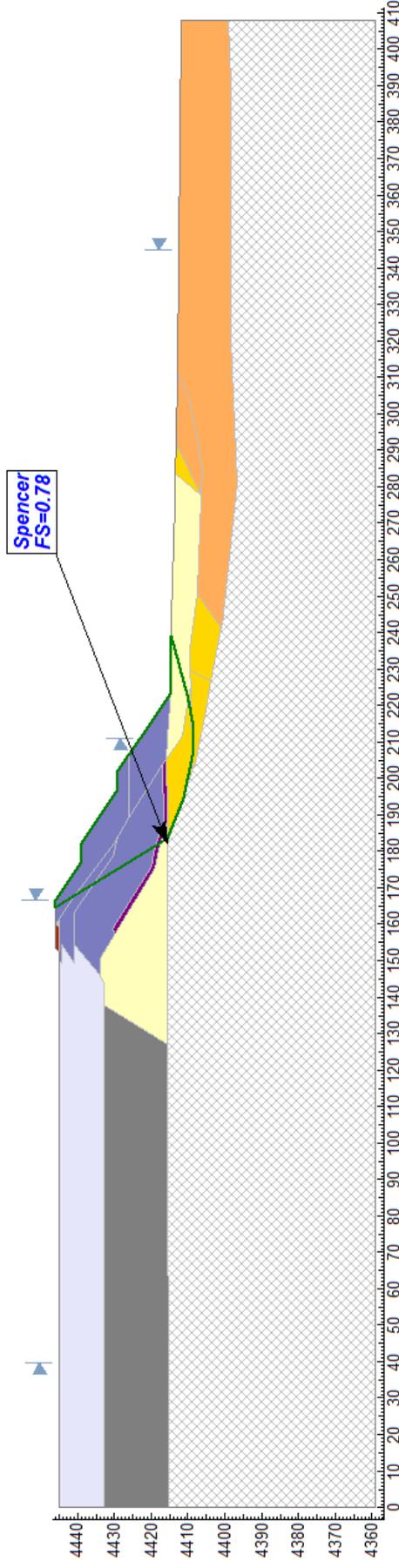
Materiales	$\gamma_{Tot}$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ )	$c'$ ( $kPa$ )	$\phi'$ ( $^{\circ}$ )	$c$ ( $kPa$ )	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	$S_u$ ( $kPa$ )	$S_u/\sigma_n$ (-)
Relave no consolidado	18,0	20,0	-	-	-	-	50	-
Relave consolidado	21,0	22,5	0	27	-	-	-	-
Enrocado	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Diques aguas arriba	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Base drenante	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Desmante de mina	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Arcilla consolidada	17,5	18,0	20	20	-	-	-	-
Arcilla en consolidación	17,5	18,0	-	-	-	-	15-85	-
Basamento rocoso	22,0	24,0	150	30	-	-	-	-



**Análisis de estabilidad**

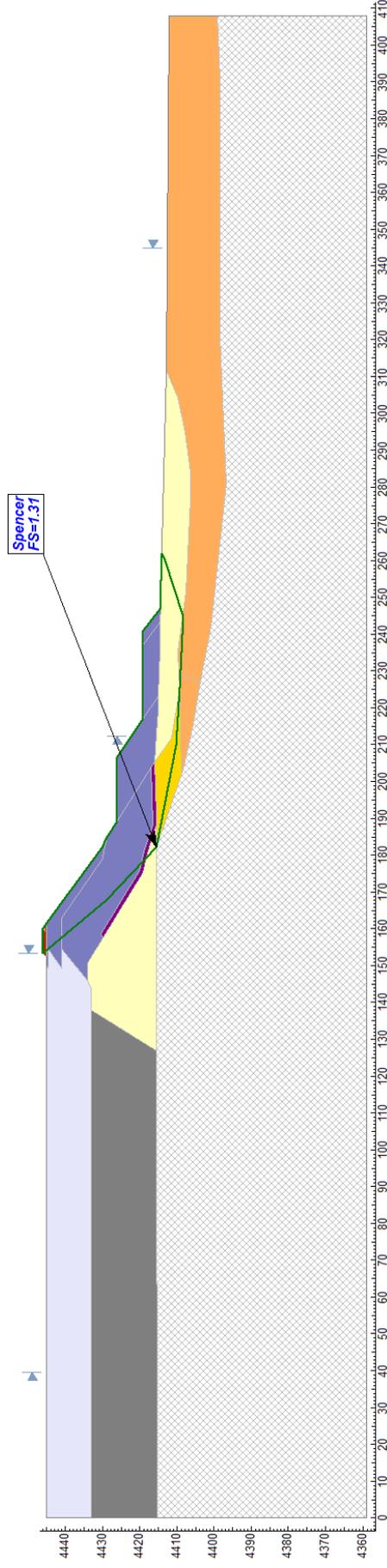
Sección geotécnica 3-3' - Análisis estático a corto plazo, condición fase 3 (sin contrafuerte) - Falla compuesta, F.S. = 0,78

Materiales	$\gamma_{Tot}$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ )	$c'$ ( $kPa$ )	$\phi'$ ( $^{\circ}$ )	$c$ ( $kPa$ )	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	$S_u$ ( $kPa$ )	$S_u/\sigma_n$ (-)
Relave no consolidado	18,0	20,0	-	-	-	-	50	-
Relave consolidado	21,0	22,5	0	27	-	-	-	-
Enrocado	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Diques aguas arriba	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Base drenante	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Desmante de mina	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Arcilla consolidada	17,5	18,0	20	20	-	-	-	-
Arcilla en consolidación	17,5	18,0	-	-	-	-	15-85	-
Basamento rocoso	22,0	24,0	150	30	-	-	-	-



**Análisis de estabilidad**  
Sección geotécnica 3-3' - Análisis estático a corto plazo, condición fase 2 (contrafuerte) - Falla compuesta, F.S. = 1,31

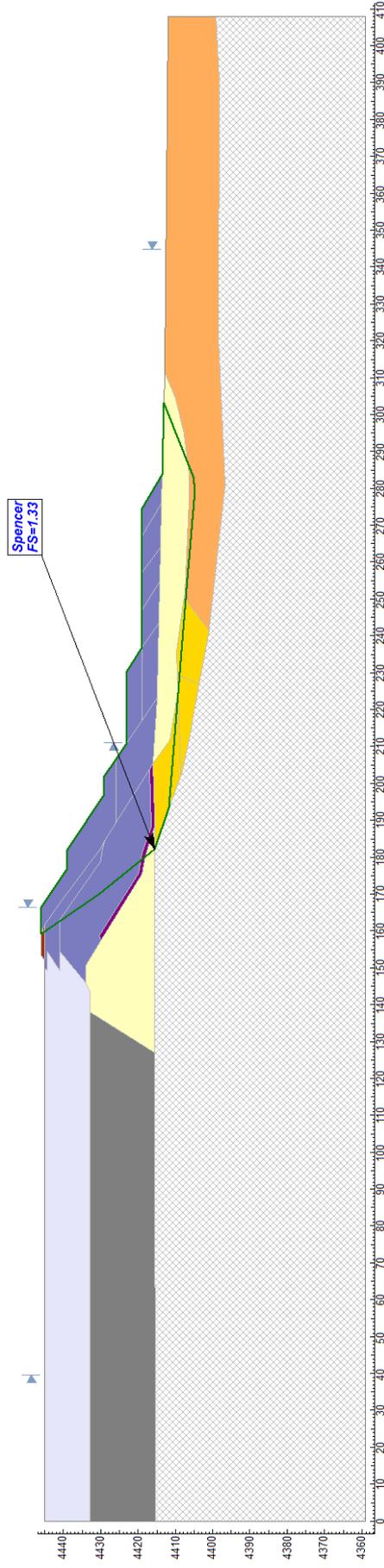
Materiales	$\gamma_{Tot}$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ )	$c'$ ( $kPa$ )	$\phi'$ ( $^{\circ}$ )	$c$ ( $kPa$ )	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	$S_u$ ( $kPa$ )	$S_u/\sigma_n$ (-)
Relave no consolidado	18,0	20,0	-	-	-	-	50	-
Relave consolidado	21,0	22,5	0	27	-	-	-	-
Enrocado	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Diques aguas arriba	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Base drenante	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Desmante de mina	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Arcilla consolidada	17,5	18,0	20	20	-	-	-	-
Arcilla en consolidación	17,5	18,0	-	-	-	-	15-85	-
Basamento rocoso	22,0	24,0	150	30	-	-	-	-



### Análisis de estabilidad

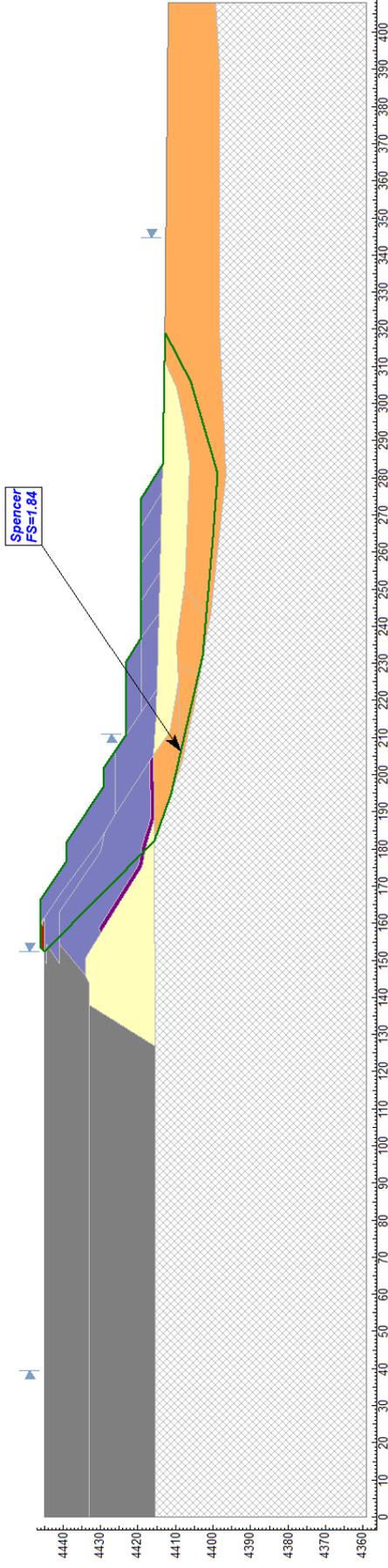
Sección geotécnica 3-3' - Análisis estático a corto plazo, condición fase 3 (contrafuerte) - Falla compuesta, F.S. = 1,33

Materiales	$\gamma_{Tot}$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ )	$c'$ ( $kPa$ )	$\phi'$ ( $^{\circ}$ )	$c$ ( $kPa$ )	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	$S_u$ ( $kPa$ )	$S_u/\sigma_n$ (-)
Relave no consolidado	18,0	20,0	-	-	-	-	50	-
Relave consolidado	21,0	22,5	0	27	-	-	-	-
Enrocado	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Diques aguas arriba	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Base drenante	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Desmante de mina	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Arcilla consolidada	17,5	18,0	20	20	-	-	-	-
Arcilla en consolidación	17,5	18,0	-	-	-	-	15-85	-
Basamento rocoso	22,0	24,0	150	30	-	-	-	-



**Análisis de estabilidad**  
Sección geotécnica 3-3' - Análisis estático a largo plazo (contrafuerte) - Falla compuesta, F.S. = 1,84

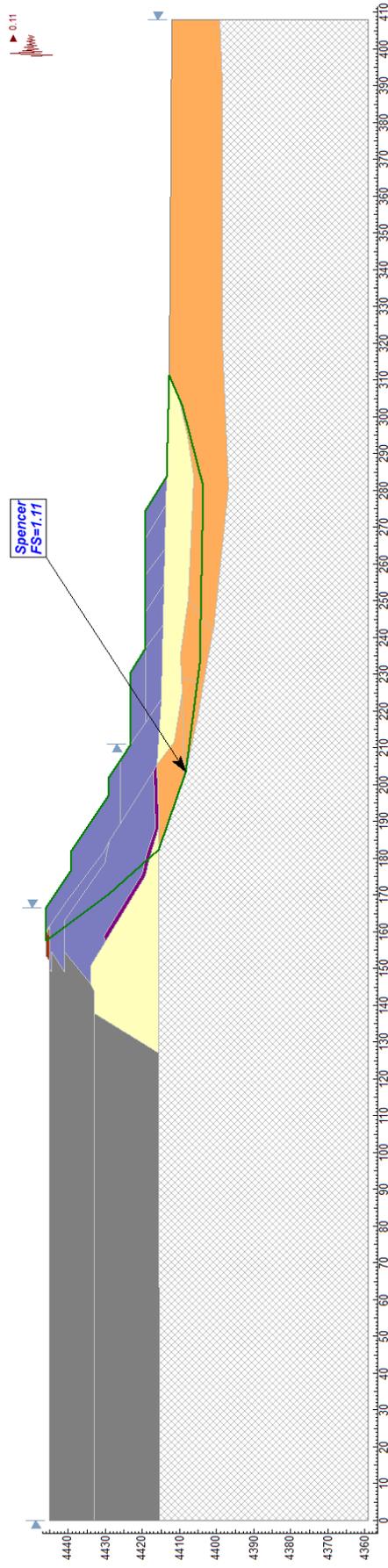
Materiales	$\gamma_{Tot}$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ )	$c'$ ( $kPa$ )	$\phi'$ ( $^{\circ}$ )	$c$ ( $kPa$ )	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	$S_u$ ( $kPa$ )	$S_u/\sigma_n$ (-)
Relave consolidado	21,0	22,5	0	27	-	-	-	-
Enrocado	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Diques aguas arriba	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Base drenante	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Desmante de mina	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Arcilla consolidada	17,5	18,0	20	20	-	-	-	-
Basamento rocoso	22,0	24,0	150	30	-	-	-	-



### Análisis de estabilidad

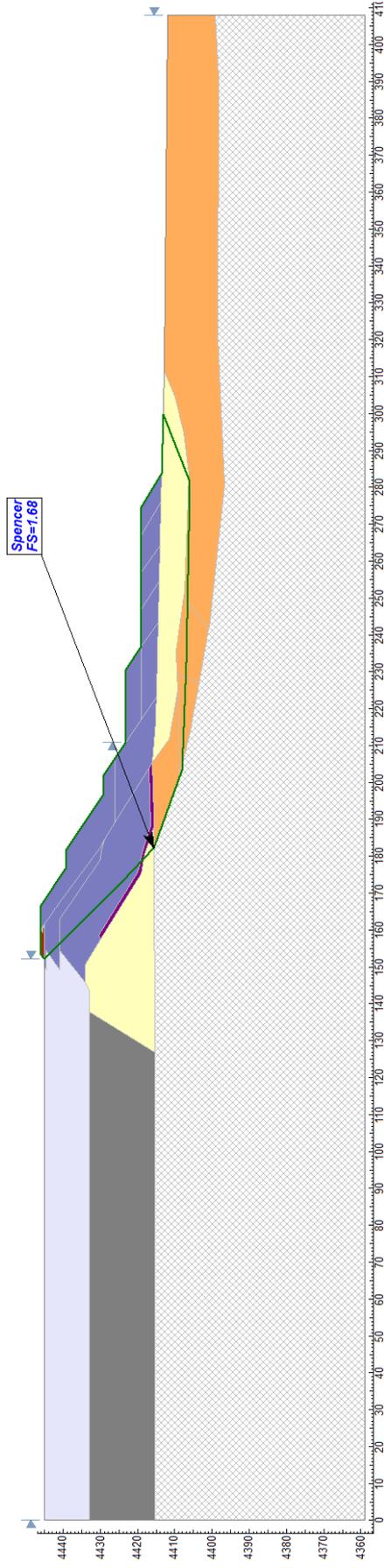
Sección geotécnica 3-3' - Análisis pseudoestático (contrafuerte) - Falla compuesta, F.S. = 1,11

Materiales	$\gamma_{Tot}$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ )	$c'$ ( $kPa$ )	$\phi'$ ( $^{\circ}$ )	$c$ ( $kPa$ )	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	$S_u$ ( $kPa$ )	$S_u/\sigma_n$ (-)
Relave consolidado	21,0	22,5	-	-	5	20	-	-
Enrocado	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Diques aguas arriba	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Base drenante	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Desmonte de mina	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Arcilla consolidada	17,5	18,0	-	-	20	12	-	-
Basamento rocoso	22,0	24,0	150	30	-	-	-	-



**Análisis de estabilidad**  
Sección geotécnica 3-3' - Análisis postismo (contrafuerte) - Falla compuesta, F.S. = 1,68

Materiales	$\gamma_{Tot}$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ )	$c'$ ( $kPa$ )	$\phi'$ ( $^{\circ}$ )	$c$ ( $kPa$ )	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	$S_u$ ( $kPa$ )	$S_u/\sigma_n$ (-)
Relave no consolidado	18,0	20,0	-	-	-	-	-	0,09
Relave consolidado	21,0	22,5	-	-	-	-	-	0,15
Enrocado	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Diques aguas arriba	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Base drenante	20,0	21,0	0	36	-	-	-	-
Desmante de mina	20,0	21,0	0	37	-	-	-	-
Arcilla	17,5	18,0	-	-	20	12	-	-
Basamento rocoso	22,0	24,0	150	30	-	-	-	-



## **ANEXO K: ANÁLISIS DE DESPLAZAMIENTOS PERMANENTES**

## Desplazamientos Permanentes Método de Bray y Travasarou (2007)

Parámetros de entrada:  $\sigma$  (Desv. estándar) : 0  
g (cm/seg<sup>2</sup>) : 981

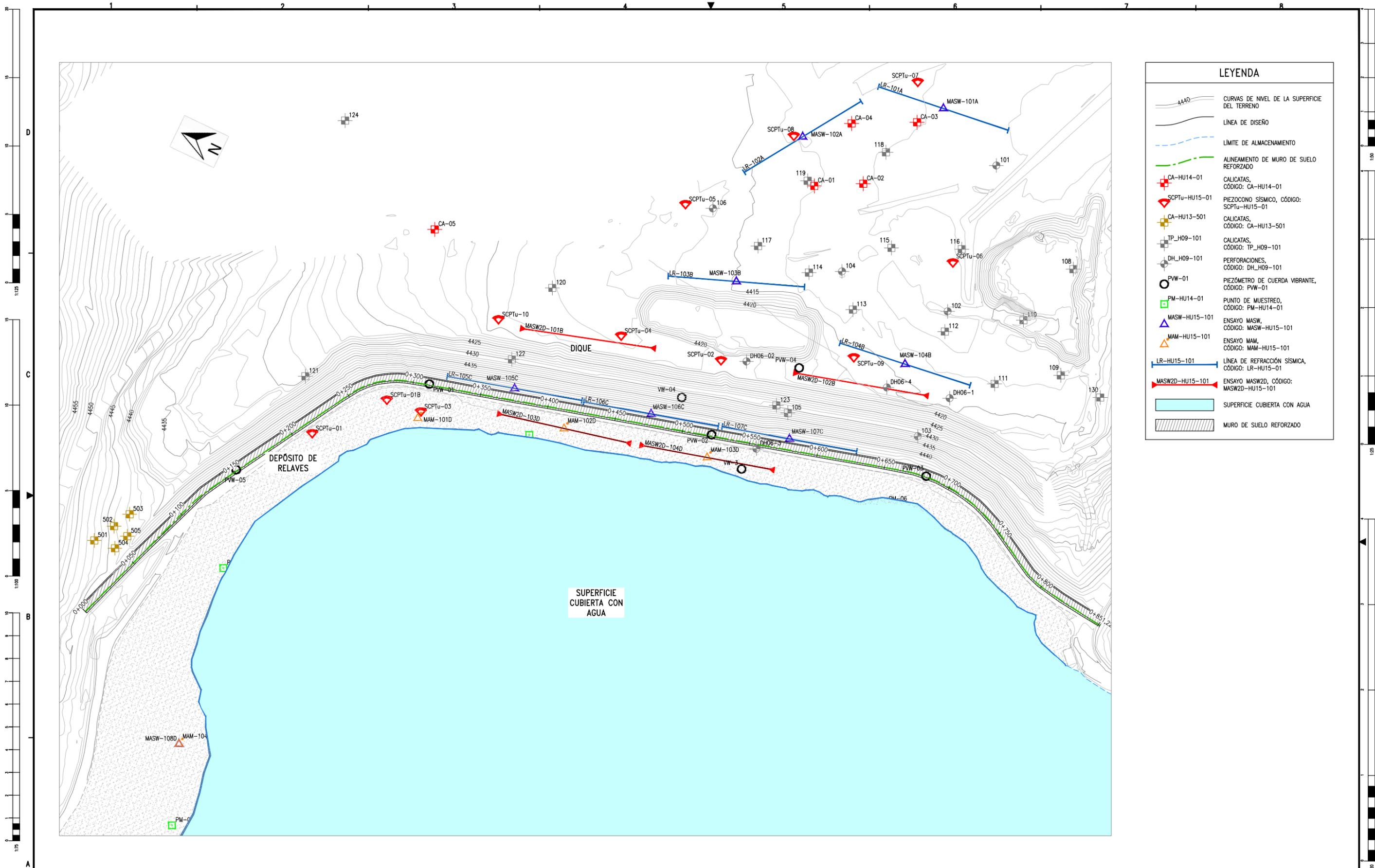
*Bloque deslizante de más bajo ky*

Sección de Análisis		Sección 1-1'	Sección 2-2'	Sección 3-3'	-	-	-	-	-	-	-
Parámetros											
Datos de entrada	ky (g) :	0.113	0.101	0.142	-	-	-	-	-	-	-
	Vs (m/seg) :	450.0	575.0	450.0	-	-	-	-	-	-	-
	H (m) :	25.0	30.0	15.0	-	-	-	-	-	-	-
	Ts (seg) :	0.144	0.136	0.133	-	-	-	-	-	-	-
Espectro de respuesta (T <sub>r</sub> =475 años)	Magnitud (Mw) :	8.0	8.0	8.0	-	-	-	-	-	-	-
	Sa <sub>2</sub> (Ts deg) (g) :	0.470	0.450	0.448	-	-	-	-	-	-	-
	D <sub>2</sub> (cm) :	11.9	13.1	6.8	-	-	-	-	-	-	-
Tr = 475 años	Probabilidad Desp. Nulo :	0%	0%	3%	-	-	-	-	-	-	-
	Desplazamiento promedio (cm) :	11.9	13.1	6.8	-	-	-	-	-	-	-
	Rango de desplazamientos (cm) :	5.95 - 23.8	6.55 - 26.2	3.4 - 13.6	-	-	-	-	-	-	-

**Abreviaturas** :

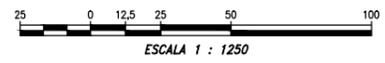
- ky: Aceleración de fluencia
- D<sub>i</sub>: Deformación permanente según la ley/espectro "i"
- Vs: Velocidad de onda de corte promedio del suelo
- H: Altura bloque deslizante
- Ts: Periodo de la estructura de suelo
- Ts deg: Periodo degradado de la estructura de suelo
- Sa<sub>i</sub>: Aceleración espectral para ley de atenuación "i"
- Prob. Desp.: Probabilidad de desplazamiento

## **ANEXO L: MAPAS**



LEYENDA	
	CURVAS DE NIVEL DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO
	LINEA DE DISEÑO
	LÍMITE DE ALMACENAMIENTO
	ALINEAMIENTO DE MURO DE SUELO REFORZADO
	CALICATAS, CÓDIGO: CA-HU14-01
	PIEZOCONO SISMICO, CÓDIGO: SCPTu-HU15-01
	CALICATAS, CÓDIGO: CA-HU13-501
	CALICATAS, CÓDIGO: TP_H09-101
	PERFORACIONES, CÓDIGO: DH_H09-101
	PIEZÓMETRO DE CUERDA VIBRANTE, CÓDIGO: PW-01
	PUNTO DE MUESTREO, CÓDIGO: PM-HU14-01
	ENSAYO MASW, CÓDIGO: MASW-HU15-101
	ENSAYO MAM, CÓDIGO: MAM-HU15-101
	LINEA DE REFRACCIÓN SISMICA, CÓDIGO: LR-HU15-01
	ENSAYO MASW2D, CÓDIGO: MASW2D-HU15-101
	SUPERFICIE CUBIERTA CON AGUA
	MURO DE SUELO REFORZADO

PLANTA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL		
TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL: ESTUDIO INTEGRAL DE UNA PRESA DE RELAVES CIMENTADA SOBRE ARCILLA BLANDA		
NOMBRE: UBICACIÓN DE INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA		
BACHILLER: RAQUEL NATALIA BORJA CASTILLO	ESCALA: 1/1250	MAPA: M-1