

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE UNA PRESA DE
ENROCADO DE GRAN ALTURA CON PANTALLA DE
CONCRETO “**

ELABORADO POR

EDWIN SUMI TINTAYA

ASESOR

M.Sc. CESAR A. ATALA ABAD

LIMA-PERÚ

2018

©2018, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

**“El autor autoriza a la UNI a reproducir la Tesis en su totalidad o en parte,
con fines estrictamente académicos.”**

Sumi Tintaya, Edwin
Edwin.sumi.t@uni.pe
962734784

AGRADECIMIENTOS

Recordar y mencionar a todas las personas que me ayudaron a llegar a esta etapa de mi vida sería una lista interminable, solamente me queda agradecer a cada uno de ellos por haber contribuido de alguna u otra manera en mi desarrollo profesional y humano.

Agradezco de manera especial a mis padres Liborio y Apolinaria y hermanas Sonia y Carmen Rosa por su apoyo desmedido y constante motivación para la culminación de este trabajo.

Agradezco también a la Universidad Nacional de Ingeniería, por haberme brindado la oportunidad de estudiar en sus aulas, y a los profesores Cesar Atala, Zenon Aguilar, Luisa Shuan, Jorge A. Hurtado, Wilfredo Gutierrez y Denys Parra por su motivación para seguir investigando.

A mis compañeros de estudio Lalo, Lee, Manuel, Alexander, Jhonatan, Fernando por haber compartido momentos inolvidables en nuestra etapa universitaria.

A mis amigos y compañeros de trabajo Cesar Luna, Frank Perez, Jessica Rodriguez, y Milton Araujo por compartir sus conocimientos y brindarme sabios consejos.

*Dedicado a mis padres Liborio y Apolinaria,
Hermanas Carmen Rosa y Sonia
A Sayua Yuri y Rosselyn.
Gracias por todo, los llevo en mi corazón.*

ÍNDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
LISTA DE TABLAS	5
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE SÍMBOLOS	9
1.0 CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	10
1.1 MOTIVACIÓN DEL ESTUDIO Y ANTECEDENTES.....	10
1.2 JUSTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE ESTUDIO ..	11
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	12
1.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	12
2.0 CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	13
2.1 EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE TALUDES	13
2.1.1 Análisis Estático de Estabilidad de Taludes.....	14
2.1.2 Análisis Sísmico de Estabilidad de Taludes.....	17
2.2 RESISTENCIA AL CORTE DEL ENROCADO	20
2.2.1 Leps T.M., 1970.....	22
2.2.2 Charles y Watts (1980).....	23
2.2.3 Barton y Kjaernsli (1981).....	25
2.2.4 ICOLD, 2004.....	26
3.0 CAPÍTULO III. ESTADO DEL ARTE EN PRESAS DE ENROCADO CON CARA DE CONCRETO (CFRD)	28
3.1 DESARROLLO HISTÓRICO DE LAS PRESAS DE ENROCADO	28
3.2 CONSIDERACIONES ACTUALES EN EL DISEÑO DE PRESAS DE ENROCADO	30
3.3 VENTAJAS DE LAS PRESAS DE ENROCADO.....	33
3.4 PROBLEMAS RECIENTES EN PRESAS DE ENROCADO CFRD DE GRAN ALTURA.....	34
3.5 ANÁLISIS DE PROBLEMAS EN PRESAS DE ENROCADO DE GRAN ALTURA	37
3.5.1 Etapa de Construcción.....	37
3.5.2 Etapa del Embalse.....	38
3.5.3 Etapa de Post-Embalse	39
4.0 CAPÍTULO IV. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA PRESA DE ENROCADO TOROMOCHO	42
4.1 UBICACIÓN Y CLIMA	42
4.2 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS	43

4.2.1 Geología del Macizo Rocoso.....	43
4.2.2 Geología Superficial	44
4.2.3 Falla Inversa Toromocho	45
4.3 SISMICIDAD	46
4.3.1 Peligro Sísmico de Sitio	46
4.4 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES DE LA PRESA	47
4.4.1 Basamento Rocoso (Fundación).....	47
4.4.2 Material de Enrocado (Material Tipo 3)	49
4.4.3 Material de Filtro (Material Tipo 1)	58
4.4.4 Material de Transición (Material Tipo 2)	60
4.4.5 Material de Relave	62
4.5 RESUMEN DE PROPIEDADES Y PARÁMETROS GEOTÉCNICOS....	64
5.0 CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE FILTRACIONES Y ESTABILIDAD FÍSICA DE LA PRESA TOROMOCHO	66
5.1 SECCIÓN DE ANÁLISIS	66
5.2 CONDICIONES DE ANÁLISIS	68
5.3 ANÁLISIS DE FILTRACIONES.....	69
5.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD ESTÁTICO Y PSEUDO-ESTÁTICO.....	71
5.4.1 Coeficiente Sísmico	72
5.4.2 Resultados	72
CONCLUSIONES	74
RECOMENDACIONES	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
ANEXOS Y PLANOS	80

RESUMEN

Las presas de enrocado se definen como las presas conformadas por un terraplenado, donde el material predominante es la roca. Estas estructuras de enrocado deben contener una zona impermeable, que usualmente es obtenida mediante la aplicación de una membrana impermeable o una cobertura de concreto en el talud aguas arriba o mediante un núcleo impermeable de arcilla.

En estas últimas décadas las presas de enrocado tipo CFRD se vienen construyendo con mucha frecuencia, los factores principales que determinan su elección vienen a ser la estabilidad inherente propia de su tipo, optimización en el tiempo de ejecución de la presa y facilidad en un posible recrecimiento de la presa.

En el presente trabajo de investigación se establece un entendimiento inicial acerca del comportamiento del material de enrocado sometido a elevados esfuerzos de confinamiento, para luego realizar el análisis de estabilidad estático y pseudo-estático de la presa de enrocado Toromocho, aplicando el método de equilibrio límite.

Los factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad de la presa Toromocho están por encima de los valores mínimos permisibles recomendados por la Asociación Canadiense de Presas (CDA). Esto nos da a entender que la configuración geométrica de la presa, así como los parámetros geotécnicos y geomecánicos de los materiales que componen la presa y el basamento rocoso, cumplen los requerimientos de estabilidad física.

La presente investigación también hace una revisión de los criterios más actuales de diseño y construcción de presas de enrocado con pantalla impermeable de concreto.

Palabras clave: CFRD, envolvente de falla, triaxial a gran escala, curva homotética, comportamiento no lineal, equilibrio límite.

ABSTRACT

The rockfill dams are defined as the dams formed by an embankments, where the predominant material is rock. These rockfill structures must contain an impermeable area, which can now be used by applying an impermeable membrane or a concrete cover on the slope of the upstream or by a waterproof clay core.

Currently, Concrete Face Rockfill Dams (CFRD) have been built very frequently, the main factors that determine their choice come to be the inherent stability of their type, optimization over time execution of the dam and facility in a possible regrowth of the dam.

In the present research work an initial approach is established on the behaviour of rockfill material subjected to high confining efforts, then perform the static and pseudo-static analysis of stability on the Toromocho rockfill dam, applying the limit equilibrium method.

The safety factors obtained in the stability analysis of the Toromocho dam are above the minimum permissible values recommended by the Canadian Dam Association (CDA). This gives us understanding that the geometric configuration of the dam, as well as the geotechnical and geomechanical parameters of the materials that make up the dam and the bedrock, satisfy the requirements of physical stability.

The present research also makes a review of the most current criteria of design and construction of rockfill dams with concrete waterproof face.

Keywords: CFRD, failure envelope, high scale triaxial, homothetic curve, non-linear behaviour, limit equilibrium.

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1:	Características de los métodos de equilibrio límite para análisis de estabilidad de taludes (Duncan & Wright, 1980)	15
Tabla 2.2:	Valores de coeficiente sísmico para el análisis pseudo-estático (Gamarra, 2009).....	20
Tabla 2.3:	Valores de las constantes a y b ajustadas para diferentes tipos de roca (Charles & Watts, 1980).....	24
Tabla 3.1:	Resumen histórico de la tendencia en el diseño y compactación del enrocado en presas tipo CFRD y presas de tierra con enrocado (Fell, et al, 2015).....	29
Tabla 4.1:	Estudio de Peligro Sísmico Probabilístico - Valores de PGA.....	47
Tabla 4.2:	Parámetros de resistencia del basamento rocoso en función al esfuerzo de confinamiento	49
Tabla 4.3:	Resumen de Pesos Unitarios – Material de Enrocado	51
Tabla 4.4:	Muestras triaxiales a gran escala – Material de Enrocado.....	52
Tabla 4.5:	Resumen de ángulos de fricción interna y esfuerzos principales ..	54
Tabla 4.6:	Resumen de parámetros del modelo potencial que determinan la envolvente de falla del enrocado	55
Tabla 4.7:	Resumen de Pesos Unitarios – Material Tipo 1	59
Tabla 4.8:	Ensayos de Conductividad Hidráulica en Pared Rígida – Material Tipo 1.....	59
Tabla 4.9:	Resumen de Pesos Unitarios – Material de Transición.....	61
Tabla 4.10:	Ensayos de Conductividad Hidráulica en Pared Rígida – Material Tipo 2.....	62
Tabla 4.11:	Resumen de Pesos Unitarios del Material de Relave.....	63
Tabla 4.12:	Ensayos de Conductividad Hidráulica en Pared Flexible – Relave	64
Tabla 4.13:	Resumen de propiedades y parámetros geotécnicos de los materiales.....	65
Tabla 5.1:	Geometría de la presa de enrocado Toromocho.....	69
Tabla 5.2:	Lecturas de piezómetros instalados en la presa (Etapa 2)	69

Tabla 5.3:	Factores de Seguridad Mínimo Requerido	72
Tabla 5.4:	Factores de Seguridad obtenidos del Análisis de Estabilidad.....	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Geometría de superficies de falla: (a) Planar, (b) Multiplanar, (c) Circular (d) No circular (Kramer, 1996)	15
Figura 2.2	Fuerzas actuantes en una cuña triangular de suelo encima de una superficie de falla plana en un análisis de talud pseudo-estático (Kramer, 1996).....	18
Figura 2.3	Resistencia al corte del material de enrocado obtenido a partir de ensayos triaxiales a gran escala (Leps, 1970)	23
Figura 2.4	Envolvente de falla Mohr para enrocados (Charles & Watts, 1980)	25
Figura 3.1	Características de diseño de las primeras presas de enrocado con cara de concreto (CFRD). (1) Trinchera de corte, (2) Losa de Concreto, (3) Roca grande colocada con grúa, (4) Enrocado descargado, (5) Talud. (Modificado de Fell et. al, 2015)	30
Figura 3.2	Zonificación moderna adoptada para una presa de enrocado tipo CFRD (ICOLD, 2004).....	31
Figura 3.3	Curb de concreto extruido típico para presas tipo CFRD.....	32
Figura 3.4	Fisuras en la losa de concreto (aguas arriba) en la presa de enrocado Lesotho (Johannesson et. al, 2007)	35
Figura 3.5	Roturas en la junta de compresión de la presa de enrocado Barra Grande (Pritchard, 2008)	36
Figura 3.6	Roturas en la losa de concreto en la presa de enrocado Campos Novos (Pritchard, 2008).....	37
Figura 3.7	Esquema de deformación 2D de una presa de enrocado con pantalla de concreto bajo la acción de la carga de agua (Giudici et al., 2000)	39
Figura 3.8	Esquema de deformación 3D de una presa de enrocado con pantalla de concreto debido al llenado del embalse (Harita et al., 2000)	39
Figura 3.9	Registro de asentamientos de cresta en diferentes tipos de presa de enrocado (Oldecop & Alonso, 2007)	40
Figura 4.1	Ubicación de la zona del proyecto.....	42
Figura 4.2	Envolvente de Resistencia del Macizo Rocoso.....	49
Figura 4.3	Probetas para ensayo triaxial a gran escala del enrocado.....	50

Figura 4.4	Curva granulométrica general obtenida in-situ y curvas homotéticas del material de enrocado	51
Figura 4.5	Diagrama de trayectorias p-q – Muestra 1	52
Figura 4.6	Diagrama de trayectorias p-q – Muestra 2.....	53
Figura 4.7	Angulo de fricción movilizado / deformación - Muestra 1	53
Figura 4.8	Angulo de fricción movilizado / deformación - Muestra 2	54
Figura 4.9	Envolvente de falla y ángulo de fricción interna - Muestra 1	55
Figura 4.10	Envolvente de falla y ángulo de fricción interna - Muestra 2.....	56
Figura 4.11	Envolvente de falla y ángulo de fricción interna del enrocado (modificado de Leps, 1970).....	56
Figura 4.12	Envolvente de resistencia al corte del enrocado.....	57
Figura 4.13	Curva Granulométrica Original y Homotética del Material de Filtro	58
Figura 4.14	Curva Granulométrica Original y Homotética del Material de Transición.....	61
Figura 4.15	Curva granulométrica del material de relave	63
Figura 4.16	Distribución de materiales en la presa de enrocado Toromocho...	65
Figura 5.1	Vista en planta de la disposición de relaves de la presa Toromocho	67
Figura 5.2	Sección transversal típica de la presa de enrocado Toromocho ...	68
Figura 5.3	Resultado del análisis de filtraciones - Presa de Arranque	70
Figura 5.4	Resultado del análisis de filtraciones de la presa – Etapa 2	71
Figura 5.5	Resultado del análisis de filtraciones de la presa – Etapa Final....	71

LISTA DE SÍMBOLOS

a	: Constante de ecuación parabólica para envolvente de falla
a_v	: Aceleración pseudo-estático vertical
a_h	: Aceleración pseudo-estático horizontal
a_{max}	: Aceleración máxima
b	: Exponente de ecuación parabólica para envolvente de falla
c	: Cohesión
e	: Relación de vacíos
FS	: Factor de seguridad
F_v	: Fuerza inercial vertical
F_h	: Fuerza inercial horizontal
ϕ(°)	: Angulo de fricción interna
ϕ_m(°)	: Angulo de fricción interna
ϕ_{max}(°)	: Angulo de fricción interna máximo
g	: Aceleración de la gravedad
G_s	: Gravedad específica
k	: Coeficiente de conductividad hidráulica
k_v	: Coeficiente pseudo-estático vertical
k_h	: Coeficiente pseudo-estático horizontal
M_w	: Magnitud momento
γ_d	: Peso unitario seco
γ_h	: Peso unitario húmedo
σ_n	: Esfuerzo normal
σ₁	: Esfuerzo principal mayor
σ₃	: Esfuerzo principal menor
τ	: Esfuerzo de corte

1.0 CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN DEL ESTUDIO Y ANTECEDENTES

La localización del Perú en un territorio de difícil geografía y topografía plantea grandes desafíos en relación al desarrollo de la ingeniería geotécnica; así por ejemplo, en el área de la minería y energía se han venido construyendo presas de dimensiones cada vez mayores que utilizan el enrocado como material de relleno, estas presas tienen la finalidad de almacenar agua en proyectos de irrigación, generación de energía eléctrica y disposición de material proveniente de los desechos mineros (relaves).

En el año 2001 se empezó la construcción de la presa de enrocado en la mina Antamina ubicada en la región Ancash, la cual tiene proyectada alcanzar una altura aproximada de 240 m; la finalidad de esta presa es almacenar material de relave proveniente de la explotación minera. Otra presa de material de enrocado de gran importancia para nuestro país es la presa Limón ubicada en la región Cajamarca con fines de almacenamiento de agua para irrigación y generación de energía eléctrica, esta presa fue construida en el año 2006 y alcanza una altura aproximada de 43 m. Siguiendo este desarrollo en el año 2014 se inició la construcción de la presa de enrocado Toromocho ubicada en la región Junín, la cual tiene por objetivo almacenar material de desecho minero (relave). En la actualidad la presa Toromocho tiene una altura aproximada de 130 m y está diseñada para alcanzar una altura de 250 m.

Estudios referentes al análisis de resistencia al corte en enrocados fue llevado a cabo por Leps T.M. (1970), quien hizo una vasta recopilación de información técnica respecto a este tema, el cual fue publicado con el título "*Review of Shearing Strength of Rockfill*". Posteriormente Charles & Watts (1980) propusieron una envolvente de falla para describir la resistencia al corte en este tipo de materiales, para lo cual realizaron ensayos de compresión triaxial a gran escala en diferentes tipos de enrocado sometidos a un rango de presiones de confinamiento, dicha investigación fue publicada con el título "*the influence of confining pressure on the shear strength of compacted rockfill*". Por otro lado Barton y Kjaernsli (1981) realizaron una revisión de la relación existente entre la resistencia al corte del enrocado y el esfuerzo de confinamiento al cual se

encuentra sometido, dicha investigación fue publicada con el título “*Shear Strength of Rockfill*”. Estas investigaciones son de amplia aceptación en los análisis de resistencia al corte en materiales de enrocado utilizados como material de relleno. La Comisión Internacional de Grandes Presas (*ICOLD, International Commission on Large Dams*), en el Boletín 93, hizo una revisión extensa de las formulaciones planteadas en un inicio por Leps e investigaciones posteriores realizadas por otros autores, sugiriendo luego la aplicabilidad de tales formulaciones.

Investigaciones en relación al análisis de estabilidad de presas de enrocado fueron llevados a cabo por Alva Hurtado J.E e Infantes Quijano M. (1999), y fueron publicados con el título “Diseño Sísmico de Presas de Tierra y Enrocado”, en el cual se analizó la estabilidad de la presa de enrocado Palo Redondo del Proyecto Chavimochic.

La tesis titulada “Análisis de Esfuerzo – Deformación en Presas de Tierra y Enrocado” realizada por Tello Barbaran, Roberto (2001), analiza los posibles mecanismos de falla en presas de tierra y enrocado, y tiene como caso de estudio la estabilidad de la presa Tinajones. También se encuentra disponible la tesis titulada “Diseño Geotécnico de la Presa ITE de Grava con Pantalla (CFGD) para la Irrigación del Valle de ITE-Tacna” realizado por Cabrera Huamán, Jainor (2015), donde se hace el análisis de estabilidad de la presa ITE.

La aplicabilidad e importancia de las presas de enrocado fomentó una gran cantidad de estudios de investigación para conocer la resistencia al corte en este tipo de materiales. Sin embargo, en nuestro país aún es muy escasa la documentación técnica referente al diseño de tales estructuras geotécnicas, a pesar de la existencia de importantes proyectos mencionados en el párrafo anterior.

1.2 JUSTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE ESTUDIO

El incremento progresivo de carga debido al peso propio en una presa de enrocado de gran altura y niveles excesivos de presión de poros en el cuerpo de la presa, podrían generar inestabilidad, y como consecuencia extrema la rotura o falla total de la presa, lo cual representa un peligro para la población adyacente a

la zona del proyecto; así también, podría generarse un impacto negativo en el medio ambiente junto a grandes pérdidas económicas.

Por tal motivo, el diseño de este tipo estructuras requiere llevar a cabo la evaluación del análisis de estabilidad estático y pseudo-estático como una etapa preliminar del análisis integral de la presa, lo cual permitirá asegurar el desempeño eficiente de la presa durante su vida útil.

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General:

- Evaluar la estabilidad de una presa de enrocado de gran altura con pantalla de concreto por el método de equilibrio límite.

Objetivos Específicos:

- Estudiar el comportamiento de materiales granulares sometidos a diferentes niveles de esfuerzo.
- Realizar el análisis de infiltración de carga hidráulica constante de una presa de enrocado.
- Analizar la estabilidad de una presa de enrocado por equilibrio límite, mediante factores de seguridad según recomendaciones de la Asociación Canadiense de Presas (CDA, Canadian Dam Association).

1.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

La estabilidad física de los taludes de una presa de enrocado de gran altura evaluada por el método de equilibrio límite, está influenciada por la resistencia no lineal que presenta el material de enrocado cuando es sometida a grandes tensiones de confinamiento.

2.0 CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Para realizar el análisis de estabilidad de un talud se debe considerar aspectos geológicos, hidrológicos, topográficos, geométricos y las características físico-mecánicas de los materiales que conforman el talud. Esta información será de gran utilidad para realizar el análisis de estabilidad estática y sísmica del talud. El reconocimiento de zonas potenciales de inestabilidad se puede realizar a través de una visita de campo, en la cual se debe identificar características como: escarpas, grietas de tensión, fundaciones agrietadas, arboles inclinados, etc., todos ellos son una clara evidencia de inestabilidad del talud. La inestabilidad de un talud también podría causar flujo de agua subterránea, lo cual se manifiesta mediante la presencia de arroyos, filtraciones, estanques y áreas húmedas.

Realizar el monitoreo de taludes es de gran importancia, ya que nos permite conocer la dirección de movimiento así como la variación de presión de poros dentro del talud, esta información se puede obtener mediante la instalación de hitos topográficos, medidores de grietas, extensómetros y piezómetros. También es importante realizar investigaciones de campo, los cuales pueden incluir excavaciones, ensayos in situ y ensayos geofísicos; estas investigaciones nos permitirán conocer diferentes características como: profundidad, espesor, densidad, deformación y ubicación de la superficie de falla existente.

Se deben programar ensayos de laboratorio con el fin de cuantificar las características físicas de los materiales que conforman el talud, los cuales serán los parámetros de entrada en un análisis de estabilidad numérico. Estas características vienen a ser la densidad del suelo, resistencia, distribución granulométrica, plasticidad, permeabilidad, y compresibilidad.

Toda esta información es de gran importancia, ya que nos permitirá realizar una evaluación completa de la estabilidad del talud, por lo tanto, dependerá de la exactitud de esta información previamente obtenida para optimizar el tiempo de análisis de estabilidad del talud.

2.1.1 Análisis Estático de Estabilidad de Taludes

Los procedimientos para el análisis de estabilidad bajo cargas estáticas han sido ya bastante estudiadas y son de práctica común en la ingeniería geotécnica. Una revisión exhaustiva y concisa del estado del arte para el análisis estático de taludes fue presentada por Duncan (1996). Actualmente, los métodos más usados para el análisis estático de estabilidad de taludes son el análisis por equilibrio límite y el análisis esfuerzo-deformación.

Análisis por Equilibrio Límite

El análisis de equilibrio límite considera el equilibrio de fuerza y/o momento de la masa de suelo ubicada por encima de la superficie potencial de falla, esta masa de suelo es asumida rígida, lo cual quiere decir que el corte solo puede ocurrir en la superficie potencial de falla.

La estabilidad del talud usualmente se expresa en términos de un índice llamado factor de seguridad, el cual se expresa como la relación entre la resistencia al corte del suelo y el esfuerzo de corte requerido en la superficie potencial de falla.

$$FS = \frac{\text{resistencia al corte disponible}}{\text{esfuerzo de corte requerido para mantener equilibrio}}$$

Se han desarrollado una variedad de procedimientos de equilibrio límite para analizar la estabilidad estática de taludes. Los taludes que fallan por traslación en una superficie de falla plana, junta de roca, o grieta de un material débil (Figura 2.1a) pueden ser analizados por el método de Culmann. Los taludes donde probablemente la falla ocurre en dos o tres planos (Figura 2.1b) pueden ser analizados por el método de cuña. En taludes homogéneos, la superficie de falla crítica generalmente tiene forma circular (Figura 2.1c). Ya que los factores de seguridad mínimos para una superficie circular son muy cercanos, los taludes homogéneos usualmente son analizados por el método ordinario de dovelas de Fellenius o el método modificado de Bishop, los cuales asumen superficies de falla circular. Cuando los estratos internos no son homogéneos (por ejemplo, estratos con diferente resistencia, o discontinuidades existentes), las superficies de falla probablemente no son circulares (Figura 2.1d). En esos casos, los métodos de Morgenstern & Price, Spencer, y Jambu pueden ser usados (Kramer, 1996).

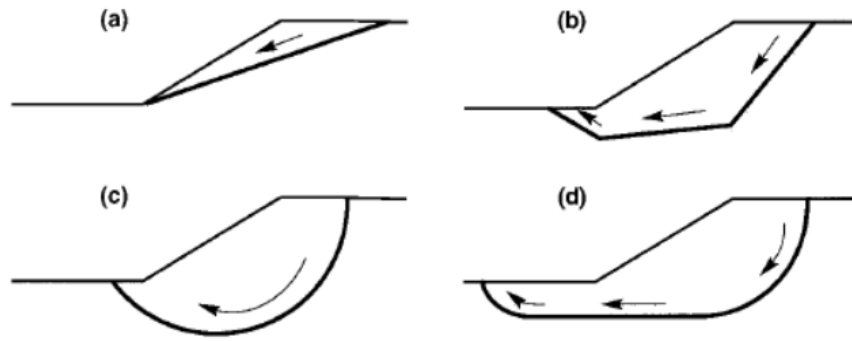


Figura 2.1 Geometría de superficies de falla: (a) Planar, (b) Multiplanar, (c) Circular (d) No circular (Kramer, 1996)

Teóricamente los taludes son considerados estables si tienen un factor de seguridad mayor que 1, pero en la práctica el nivel de estabilidad se considera aceptable cuando el factor seguridad es mucho mayor que 1. Los factores de seguridad mínimos usados en el diseño de taludes tiene el valor de 1.5 para condiciones de carga a largo plazo y 1.3 para taludes temporales.

Es importante mencionar que el análisis de estabilidad de taludes por equilibrio límite debe ser llevado a cabo tomando en cuenta todas las consideraciones, ya que, la resistencia cortante del suelo depende de las condiciones de drenaje y la variación de presión de poros del suelo. Duncan (1996) recomendó lineamientos para la selección de parámetros de entrada en el análisis de estabilidad de taludes por equilibrio límite.

Los métodos de equilibrio límite mayormente usados en la solución de problemas prácticos se presentan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1: Características de los métodos de equilibrio límite para análisis de estabilidad de taludes (Duncan & Wright, 1980)

Método	Características
Cartas de Estabilidad de Talud (Janbu 1968; Duncan et al. 1987)	Precisión suficiente para muchos propósitos. Más rápido que los análisis de cómputo detallados.
Método Ordinario de Dovelas (Fellenius 1927)	Solo para superficies de deslizamiento circular. Satisface equilibrio de momento. No satisface equilibrio de fuerza horizontal o vertical.
Método Modificado de Bishop (Bishop 1955)	Solo para superficies de deslizamiento circular. Satisface equilibrio de momento. Satisface equilibrio de fuerza vertical. No satisface equilibrio de fuerza horizontal.

Método	Características
Métodos de Equilibrio de Fuerza (Lowe y Karafiath 1960; U.S. Army Corps of Engineers 1970)	Cualquier forma de superficie de deslizamiento. No satisface equilibrio de momento. Satisface equilibrio de fuerza horizontal y vertical.
Procedimiento Generalizado de Jambu (Jambu 1968)	Cualquier forma de superficie de deslizamiento. Satisface todas las condiciones de equilibrio. Permite variación de ubicación de fuerzas laterales. Presenta problemas numéricos más frecuentes que otros métodos.
Método de Morgenstern y Price (Morgenstern and Price 1965)	Cualquier forma de superficie de deslizamiento. Satisface todas las condiciones de equilibrio. Permite variación de orientación de fuerzas laterales.
Método de Spencer (Spencer 1967)	Cualquier forma de superficie de deslizamiento. Satisface todas las condiciones de equilibrio. Las fuerzas laterales son asumidas paralelas.

Análisis Esfuerzo - Deformación

El análisis esfuerzo-deformación de taludes generalmente se realiza empleando el método de elementos finitos o diferencias finitas, estos métodos permiten conocer la variación de esfuerzos y deformaciones. También nos permite predecir la variación del nivel de presiones de poro en el talud.

Una ventaja del análisis estático esfuerzo-deformación de taludes es que nos permite identificar el modo más probable de falla prediciendo las deformaciones del talud hasta el punto de falla, localizando las zonas tensionadas más críticas dentro del talud y prediciendo los efectos de una probable falla del talud.

El grado de exactitud de los análisis esfuerzo-deformación depende del modelo esfuerzo-deformación que se emplee para representar el comportamiento del material que conforma el talud. Diferentes modelos esfuerzo-deformación han sido usados para el análisis de taludes; cada uno tiene sus ventajas y limitaciones. Los modelos que pueden ser aplicados para condiciones de esfuerzo y deformación más generales son a menudo bastante complejos y pueden requerir más parámetros de entrada y a veces sus valores son difíciles de determinar. Para muchos problemas, el modelo de Duncan y Chang (1970) ofrece una apropiada interrelación entre simplicidad y exactitud.

2.1.2 Análisis Sísmico de Estabilidad de Taludes

El análisis sísmico de estabilidad de taludes a diferencia del análisis estático tiene cierto grado de complejidad, ya que debe considerar los efectos de (1) los esfuerzos inducidos por el movimiento sísmico, y (2) los efectos de esos esfuerzos en la resistencia y el comportamiento esfuerzo-deformación del material que conforma el talud.

Los movimientos sísmicos pueden inducir esfuerzos dinámicos horizontales y verticales en el talud, estos esfuerzos producen esfuerzos dinámicos de corte y normal a lo largo de la superficie potencial de falla dentro del talud. Cuando estos esfuerzos dinámicos se superponen con los esfuerzos de corte estáticos previamente existentes, los esfuerzos dinámicos de corte pueden exceder la resistencia al corte disponible del suelo y generar inestabilidad inercial del talud.

Análisis Pseudo-estático

Desde inicios de 1920, la estabilidad sísmica de estructuras de tierra ha sido analizada en base a un enfoque pseudo-estático, en el cual los efectos de un terremoto son representados por aceleraciones horizontales y verticales. La primera aplicación explícita de un enfoque pseudo-estático para un análisis sísmico de estabilidad de talud ha sido atribuida a Terzaghi (1950).

En general, el análisis pseudo-estático representa los efectos del movimiento sísmico por medio de aceleraciones pseudo-estáticas que generan fuerzas inerciales, F_h y F_v , las cuales actúan en el centro de masa del bloque deslizante (Figura 2.2). La magnitud de las fuerzas pseudo-estáticas se expresan como:

$$F_h = \frac{a_h W}{g} = k_h W \quad (\text{Ec. 2.1})$$

$$F_v = \frac{a_v W}{g} = k_v W \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Donde:

a_h y a_v : Aceleración pseudo-estática horizontal y vertical,

k_h y k_v : Coeficiente pseudo-estático adimensional horizontal y vertical, y

W : Peso de la masa deslizante.

Las magnitudes de las aceleraciones pseudo-estáticas están relacionadas a la intensidad del movimiento del suelo y su estimación no es tan simple, tal como se explicará más adelante. Resolviendo las fuerzas en la masa potencial deslizante en una dirección paralela a la superficie de falla, se obtiene la siguiente expresión:

$$FS = \frac{\text{Fuerza_resistente}}{\text{Fuerza_impulsora}} = \frac{cl_{ab} + [(W - F_v)\cos\beta - F_h \sin\beta]\tan\phi}{(W - F_v)\sin\beta - F_h \cos\beta} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Donde c y ϕ son los parámetros de resistencia de Morh-Coulomb que describen la resistencia al corte en el plano de falla y l_{ab} es la longitud del plano de falla.

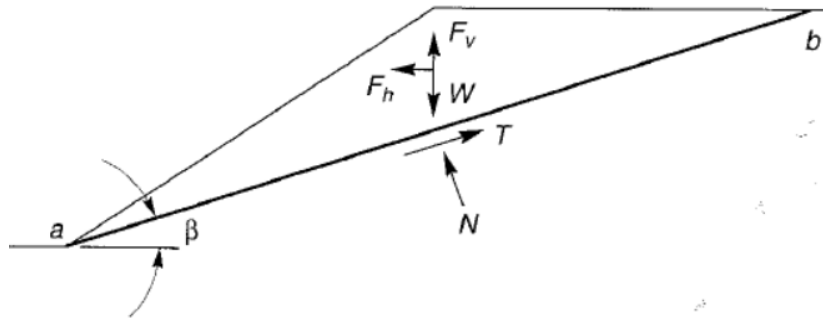


Figura 2.2 Fuerzas actuantes en una cuña triangular de suelo encima de una superficie de falla plana en un análisis de talud pseudo-estático (Kramer, 1996)

Como se observa en la Ecuación 2.3, la fuerza horizontal pseudo-estática disminuye el valor del factor de seguridad, (esto reduce la fuerza resistente (para $\phi > 0$) e incrementa la fuerza deslizante. La fuerza pseudo-estática vertical tiene menor influencia en el factor de seguridad ya que reduce (o incrementa, dependiendo de su dirección) la fuerza deslizante y la fuerza resistente), como resultado, los efectos de la aceleración vertical son frecuentemente omitidos en los análisis pseudo-estáticos. El enfoque pseudo-estático puede ser usado para evaluar factores de seguridad en superficies de falla plana, circular, y no circular.

Selección del Coeficiente Pseudo-estático

Los resultados de los análisis pseudo-estáticos son dependientes del valor del coeficiente sísmico, k_h , la selección de este coeficiente es el aspecto más

importante en el análisis de estabilidad pseudo-estático. El coeficiente sísmico controla la fuerza pseudo-estática en la masa potencial de falla, por lo tanto, su valor debería estar relacionado con la amplitud de la fuerza inercial inducida en la masa potencialmente inestable. Como la aceleración pico solo existe en un periodo de tiempo muy corto, los coeficientes pseudo-estáticos que se usan en los análisis generalmente corresponden a valores de la aceleración máxima $a_{m\acute{a}x}$. Terzaghi (1950) inicialmente sugirió el uso de $k_h=0.1$ para terremotos “severos”, $k_h=0.2$ para terremotos “violentos y destructivos” y $k_h=0.5$ para terremotos “catastróficos”. Seed (1979) hizo una lista de criterios de diseño para 14 presas en 10 países sísmicamente activos; 12 factores de seguridad mínimos requeridos de 1.0 a 1.5 con coeficientes pseudo-estáticos de 0.10 a 0.12. Marcuson (1981) sugirió que los coeficientes pseudo-estáticos apropiados para las presas deberían estar entre 1/3 y 1/2 de la aceleración máxima, incluyendo los efectos de amplificación y deamplificación, a los cuales están sujetas las presas.

Seed (1979) también indicó que las deformaciones de las presas de tierra construidas con suelos dúctiles (definidos como aquellos que no generan elevadas presiones de poros o muestran más de 15% de pérdida de resistencia sobre la carga cíclica) con aceleraciones de cresta menores que 0.75g deberían ser menores para factores de seguridad pseudo-estáticos de por lo menos 1.15 con $k_h=0.10$ (M=6.5) a $k_h=0.15$ (M=8.25). Este criterio permitiría el uso de aceleraciones pseudo-estáticas tan pequeños como 13 a 20% de la aceleración pico de la cresta. Hynes-Griffin y Franklin (1984) aplicaron el análisis de bloque deslizante de Newmark para más de 350 acelerogramas y concluyeron que las presas de tierra con factores de seguridad pseudo-estáticos mayores que 1.0 usando $k_h=0.5 a_{m\acute{a}x}/g$ no desarrollarían grandes deformaciones.

El coeficiente pseudo-estático debería estar basado en el nivel anticipado de la aceleración en la masa deslizante (incluyendo los efectos de amplificación y deamplificación) y esto debería corresponder a alguna fracción de aceleración pico anticipada. Aunque el criterio ingeniero es requerido para todos los casos, el criterio de Hynes-Griffin y Franklin (1984) debería ser apropiado para la mayoría de los taludes.

En muchas investigaciones llevadas a cabo anteriormente, se propusieron valores típicos de coeficiente horizontal sísmico, los cuales se resumen en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2: Valores de coeficiente sísmico para el análisis pseudo-estático (Gamarra, 2009)

Autor	K_h	Observaciones
Terzaghi (1950)	$k_h = 0.10$; $k_h = 0.20$ y $k_h = 0.50$;	Para sismos severos, violentos y destructivos, y sismos catastróficos respectivamente.
Noda & Uwave (1976)	$k_h = a_{max}/g$	Si $a_{max} \leq 2 \text{ m/s}^2$
	$k_h = 0.33(a_{max}/g)^{0.33}$	Si $a_{max} > 2 \text{ m/s}^2$
Seed (1979)	$k_h = 0.10$; FS sísmico ≥ 1.15	Grandes deslizamientos y sitios cercanos a la fuente sísmica, capaz de generar un sismo de Magnitud 6.5.
	$k_h = 0.15$; FS sísmico ≥ 1.15	Grandes deslizamientos y sitios cercanos a la fuente sísmica, capaz de generar un sismo de Magnitud 8.5.
Seed (1980)	$k_h = 0.15$; FS sísmico ≥ 1.15	Siempre que no exista una pérdida significativa de resistencia de los materiales durante un sismo (suelo arcilloso, arenas drenadas y suelos no cohesivos densos). Además sugiere verificar deformaciones con método de Newmark (1965).
Marcuson (1981)	$k_h = 0.33(a_{max}/g)$ a $k_h = 0.50(a_{max}/g)$	Considera posible amplificación o amortiguamiento.
Krinitzky et. al. (1993). Taniguchi & Sasaki (1986)	$k_h = 0.65(a_{max}/g)$	Recomendada para deslizamientos de magnitud intermedia.
Seed & Martin (1996), Dakuolas & Gazetas (1986)	$k_h = a_{max}/g$	Para un talud pequeño
	$k_h = 0.65(a_{max}/g)$	Deslizamiento de magnitud intermedia
	Idem Seed (1979)	Grandes deslizamientos
Hynes-Griffin & Franklin (1984)	$k_h = 0.50(a_{max}/g)$	Para presas y con FS = 1, concluyó que la presa no estará sujeta a deformaciones importantes.
Saragoni (1993)	$k_h = 0.30(a_{max}/g)$	Si $a_{max} \leq 6.6 \text{ m/s}^2$
	$k_h = 0.22(a_{max}/g)^{0.33}$	Si $a_{max} > 6.6 \text{ m/s}^2$
Kramer (1996)	$k_h = 0.50(a_{max}/g)$	Apropiado para muchos taludes, pero menciona que no es una regla general.

2.2 RESISTENCIA AL CORTE DEL ENROCADO

Caracterizar los materiales granulares mediante un criterio de falla clásico como es el modelo de Mohr-Coulomb (Ec. 2.4), donde se asume que la falla se

produce a lo largo de un plano sin dilatación tal como es el caso del comportamiento friccional puro; indicaría que la resistencia al corte del material aumenta linealmente con la tensión normal, dando como resultado un ángulo de fricción y cohesión únicos para el material. Sin embargo, la linealidad de la envolvente de falla pierde validez debido principalmente a que el comportamiento del material granular depende del nivel de presión confinante. Por ejemplo, un material granular sometido a altas presiones se ve afectado por variables tales como: tamaño máximo, forma, rugosidad, resistencia individual y mineralogía de las partículas, lo cual se relaciona directamente con el nivel de rotura de granos y su incremento a medida que el estado tensional aumenta, modificando totalmente la granulometría inicial (Luis R. Contreras, 2011).

$$\tau_f = c + \sigma_n \tan(\phi) \quad (\text{Ec. 2.4})$$

El fenómeno de disminución del ángulo de fricción debido al incremento de la presión de confinamiento ha sido reportado primero por Marsal (1967), luego por Leps (1970). En base a estos trabajos, se empezaron a plantear diversos modelos para intentar predecir el comportamiento de los suelos granulares gruesos. Por ejemplo Charles & Watts (1980) en base a estudios empíricos plantean un modelo de función potencial (Ec. 2.5), donde a y b son las constantes de ajuste y dependen del tipo de roca y rango de esfuerzos (Luis R. Contreras, 2011).

$$\tau_f = a \cdot \sigma_n^b \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Por otro lado, Barton & Kjaernsli (1981) toman en cuenta parámetros como la rugosidad, la resistencia a la compresión de la roca madre, nivel de esfuerzos y el tamaño de muestra con el fin de obtener una relación entre la resistencia del enrocado y las tensiones de confinamiento (Luis R. Contreras, 2011).

Con la finalidad de conocer la relación que existe entre el ángulo de fricción efectivo ϕ' y el nivel de tensión de confinamiento al que es sometido el material de enrocado, a continuación se revisan los trabajos de investigación con mayor aceptación en la práctica de la ingeniería geotécnica relacionados a este tema.

2.2.1 Leps T.M., 1970

Leps (1970) hizo una amplia revisión de ensayos con relación a la resistencia al corte de enrocados compactados y rellenos de grava a partir de ensayos triaxiales a gran escala, esta recopilación de ensayos fue publicada con el título "Revisión de la resistencia al corte para enrocados". El gráfico que resume las relaciones de tales ensayos se presenta en la Figura 2.3, en donde se grafica la resistencia al corte medida por el ángulo de fricción interna, y el esfuerzo normal en el plano de falla. La información ploteada claramente indica la variación de la resistencia al corte en función de la presión normal (ICOLD, 2004).

Las relaciones obtenidas por Leps se formularon a partir de un conjunto de materiales de enrocado representativos, para lo cual se empleó un rango de tamaño de partícula que varía desde una grava hasta un material de enrocado de 8" (20,3 cm) de diámetro, de 15 fuentes de material de enrocado diferentes. La Figura 2.3 muestra la relación entre el ángulo de fricción y la presión normal en el material de enrocado, en un gráfico log-normal. En general Leps llegó a las siguientes conclusiones:

- Para un esfuerzo normal por debajo de 70 kPa, el ángulo de fricción interna varía desde 45° para partículas débiles pobremente gradadas de baja densidad, a valores tan altos como 60° para partículas fuertes bien gradadas de alta densidad.
- La rotura de partículas está en función de la intensidad media de las fuerzas de contacto de las partículas y la resistencia a la compresión no confinada (UCS) de las partículas de roca. Leps definió partículas débiles como roca de 3.4 a 17.2 MPa de UCS y partículas fuertes como roca de 69 a 207 MPa de UCS.
- Para cierto valor de presión de confinamiento, el incremento de la densidad relativa resulta en un incremento del ángulo de fricción. El efecto máximo puede estar en el orden de 3° a 4° para 70 kPa de presión de confinamiento, disminuyendo a 1.5° para 2 500 kPa de presión de confinamiento.
- Los materiales de enrocado bien gradados y de elevada densidad expresan una elevada resistencia al corte en comparación a los materiales pobremente gradados y de baja densidad.

- Los materiales de enrocado angulares exhiben mayor resistencia al corte que los materiales de enrocado redondeados.

El gráfico de Leps, toma como información aproximadamente 100 ensayos realizados en 15 muestras de rocas diferentes, ensayadas a diferentes densidades (baja, media y alta). En la Figura 2.3 también se observa como el ángulo de fricción para un material de enrocado de 'densidad promedio' varía de 55° para 7 kPa de presión normal a 48° para 70 MPa de presión normal.

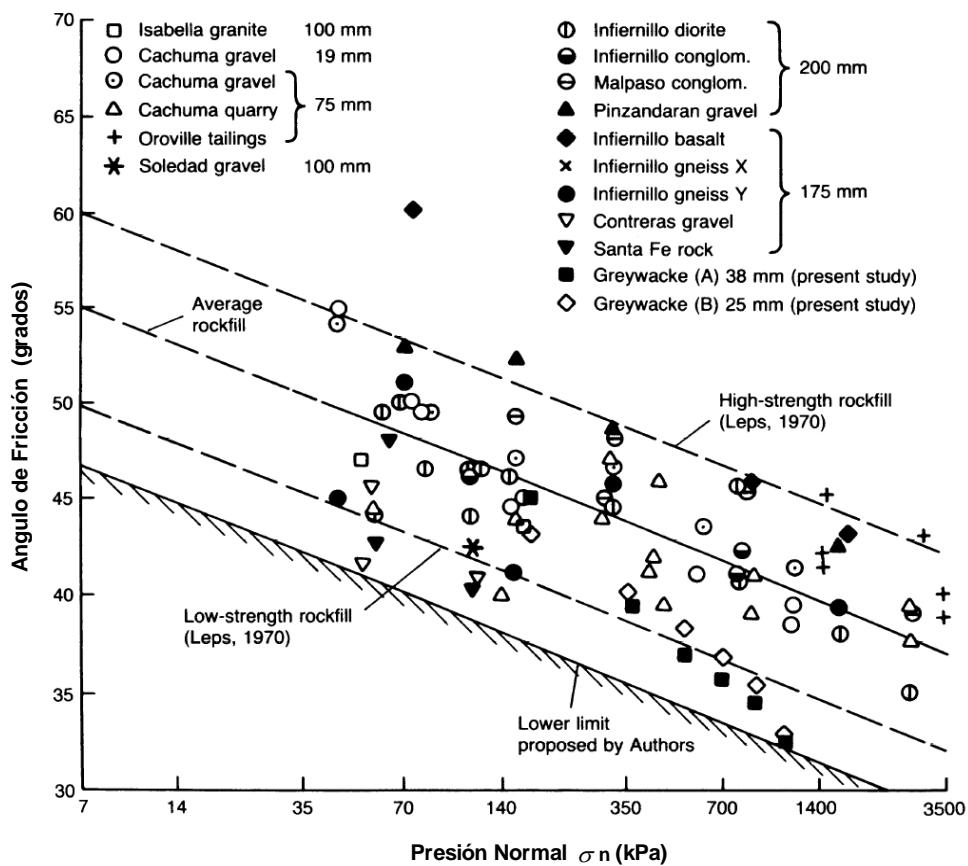


Figura 2.3 Resistencia al corte del material de enrocado obtenido a partir de ensayos triaxiales a gran escala (Leps, 1970)

2.2.2 Charles y Watts (1980)

Estos autores se basaron en ensayos de compresión triaxial a gran escala llevados a cabo en diferentes tipos de roca (arenisca (A), pizarra (B1), pizarra (B2), y basalto (C)), las muestras fueron compactadas con un martillo vibratorio y sometidas a un rango de presiones de confinamiento.

Con el propósito de mostrar los parámetros de resistencia al corte en el análisis de estabilidad por equilibrio límite, se graficaron las envolventes de falla de Mohr para los cuatro tipos de enrocado (Figura 2.4) para esfuerzos pequeños y medianos, hasta un esfuerzo efectivo normal de 400 kN/m². Las cuatro envolventes muestran una notable curvatura y se observa diferencias de la resistencia al corte para los cuatro materiales ensayados.

Charles y Watts (1980) en base a los resultados graficados en la Figura 2.4, propusieron la Ecuación 2.6 para describir la resistencia al corte en enrocados para un rango de esfuerzo normal que varía de 40 kN/m² a 400 kN/m².

$$\tau_f = a \cdot \sigma_n^b \quad (\text{Ec. 2.6})$$

Donde σ_n es el esfuerzo normal, a y b son constantes que dependen del tipo de enrocado. La Tabla 2.3 muestra los valores de a y b ajustados para los cuatro tipos de roca estudiados.

Tabla 2.3: Valores de las constantes a y b ajustadas para diferentes tipos de roca (Charles & Watts, 1980)

Tipo de Roca	a	b
A. Arenisca	6.8	0.67
B1. Pizarra	5.3	0.75
B2. Pizarra	3.0	0.77
C. Basalto	4.4	0.81

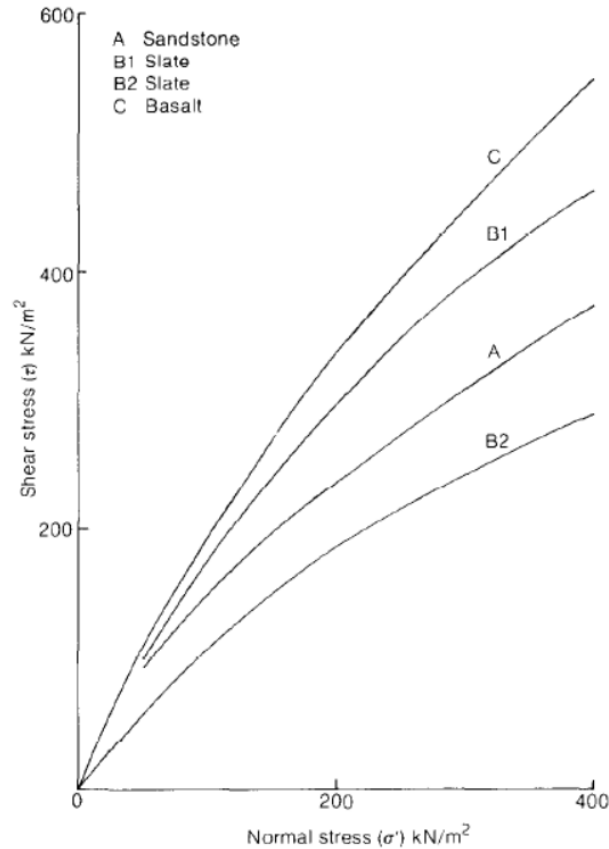


Figura 2.4 Envoltente de falla Mohr para enrocados (Charles & Watts, 1980)

2.2.3 Barton y Kjaernsli (1981)

Barton y Kjaernsli desarrollaron un método práctico para estimar la resistencia al corte en enrocados; en base a correlaciones se encontró que el enrocado, las interfaces, y las juntas de roca tienen muchas características en común, incluyendo el comportamiento dilatante bajo esfuerzos normales pequeños, y una trituración significativa de los puntos de contacto para esfuerzos mayores. En cada caso la falla es resistida por ángulos de fricción fuertemente dependientes del esfuerzo. Como un ejemplo, el ángulo de fricción del enrocado cerca a la base de una presa de gran altura puede estar debajo de 35°, mientras que cerca al pie de la presa el mismo enrocado puede presentar valores de ángulo de fricción mayores a 60°. Similar comportamiento se observó en juntas de roca e interfaces.

El ángulo de fricción del enrocado puede ser estimado a partir de los siguientes parámetros: (1) la resistencia a la compresión uniaxial de la roca; (2) el d_{50}

tamaño de partícula; (3) el grado de redondez de la partícula y (4) la porosidad después de la compactación. El grado de redondez de la partícula y la porosidad determina la magnitud de la componente estructural de la resistencia.

La revisión de una considerable cantidad de ensayos muestra que el ángulo de fricción pico drenado del enrocado puede ser estimado mediante la Ecuación 2.7, la cual relaciona la rugosidad equivalente R , y la resistencia equivalente de partícula S .

$$\phi' = R \log \left(\frac{S}{\sigma'_n} \right) + \phi_b \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Donde:

ϕ' : Ángulo de fricción pico drenado,

R : Rugosidad equivalente del enrocado. Varía de 7 (alta porosidad) a 10 (baja porosidad),

S : Resistencia equivalente de las partículas de enrocado,

σ'_n : Esfuerzo normal efectivo,

ϕ_b : Ángulo de fricción básico de roca lisa y plana. Varía desde 25° a 35°.

Para la estimación de la resistencia equivalente S del enrocado se requiere conocer el tamaño de partícula d_{50} y la resistencia compresiva uniaxial de la roca σ_c . Por otro lado para el cálculo de la rugosidad equivalente R se necesita conocer la descripción (origen, redondez y suavidad) del enrocado, la porosidad después de la compactación $n\%$ y el ángulo de fricción básico ϕ_b .

2.2.4 ICOLD, 2004

El Comité Internacional para Grandes Presas (ICOLD, por sus siglas en inglés) hace mención de la confiabilidad del estudio de investigación llevado a cabo por Leps (1970) y menciona que la información obtenida en investigaciones posteriores referentes a presas construidas con material de enrocado, generalmente dan soporte a las recomendaciones ya realizadas anteriormente por Leps (ICOLD Boletín N° 92, "Materiales de Roca para Presas de Enrocado").

También hace mención que los estudios sobre la resistencia al corte en materiales granulares de roca llevados a cabo por Marsal 1973, Barton & Kjaernli 1981, Charles & Watts 1980, ICOLD 1993, y otros investigadores, confirman el comportamiento no lineal del enrocado. Por lo que se plantea la validez de la Ecuación 2.8 para relacionar el esfuerzo de corte y el esfuerzo normal (Comité de Materiales para Presas de Enrocado, ICOLD 2004).

$$\tau = A \cdot (\sigma')^b \quad (\text{Ec. 2.8})$$

Donde:

τ : Esfuerzo de corte,

σ' : Esfuerzo normal efectivo,

A, b : Coeficientes empíricos que dependen del tipo de roca.

3.0 CAPÍTULO III. ESTADO DEL ARTE EN PRESAS DE ENROCADO CON CARA DE CONCRETO (CFRD)

En la actualidad las presas de enrocado con cara de concreto (CFRD) vienen siendo construidas con mucha frecuencia. La preferencia por este tipo de presas se debe principalmente a la estabilidad inherente de su tipo, reducción en los tiempos de ejecución de la presa y facilidad en posibles recrecimientos a realizarse en el largo plazo. Sin embargo las metodologías empíricas de diseño y construcción, que aún se vienen empleando en la práctica, están siendo revisadas constantemente con el objetivo de verificar su aplicabilidad.

3.1 DESARROLLO HISTÓRICO DE LAS PRESAS DE ENROCADO

Un resumen histórico sobre el desarrollo de las presas de enrocado con pantalla de concreto (CFRD) fue realizado por Fell (2015). Dicho resumen está basado en investigaciones preliminares realizadas por diferentes autores tales como Galloway (1939), Regan (1997), ICOLD (1989), Cooke (1984, 1993), y Cruz et al. (2009). Estas investigaciones están estrechamente vinculadas al desarrollo de los métodos de compactación del material de enrocado en presas, tal como se resume en la Tabla 3.1.

La primera presa de enrocado con cara de concreto fue construida en California en 1895. Las primeras presas de enrocado con cara de concreto (CFRD) a menudo tenían taludes de 0.54H:1V a 0.75H:1V. Luego, las presas de gran altura que alcanzaron los 100 m de altura, fueron construidas con cara de concreto y enrocado descargado en capas gruesas, a menudo en espesores mayores a 20 m o 35 m, y colocadas sin ningún tipo de compactación.

El diseño de presas de enrocado con revestimiento en la cara aguas arriba fue y aún sigue siendo principalmente empírico. Las características típicas de diseño de las presas de enrocado tipo CFRD hasta finales de 1950 se muestran en la Figura 3.1. Muchas de ellas tuvieron un buen desempeño, sin embargo las que tenían mayor altura filtraron excesivamente debido a la deformación del revestimiento de concreto en el talud aguas arriba de la presa, lo cual originó la abertura de las juntas y generación de agrietamientos. Esto podría atribuirse al bajo módulo del enrocado, y el sellado de las juntas, lo cual permitió la compresión de los rellenos de las juntas horizontales y verticales en la parte

central de la presa, resultando en una mayor abertura de otras juntas, incluyendo la junta perimétrica. La filtración no puso en peligro la estabilidad de la presa pero en algunos casos fue altamente inaceptable por razones operativas.

Tabla 3.1: Resumen histórico de la tendencia en el diseño y compactación del enrocado en presas tipo CFRD y presas de tierra con enrocado (Fell, et al, 2015)

Periodo	Método de Colocación y Características del Enrocado	Comentarios
Presas de Enrocado con Cara de Concreto		
Finales de 1800 - inicios de 1900	Relleno de enrocado descargado con revestimiento de madera	Los terraplenes iniciales fueron construidos con revestimiento de madera. Pendientes muy empinadas (hasta 0.5 a 0.75H a 1V). 1er uso del revestimiento de concreto en la década de 1890. Altura limitada a 25m.
1920 – 1930	Descargado en elevaciones altas (hasta 20 o 50 m) desde grúas elevadas en la zona aguas arriba	Enrocado firme y no sujeto a desintegración. Las presas alcanzaron alturas de 80 a 100 m. En presas altas, el agrietamiento de la losa y la abertura de las juntas resultaron en altas tasas de fuga (2700 l/s de Dix River, 3600 l/s de Cogswell, 570 l/s de Salt Springs).
Finales de 1930 - 1960	Enrocado todavía muy grueso	Agrietamiento de la losa, particularmente en la junta perimétrica, y altas tasas de fuga en presas de gran altura (3100 l/s en Wishon, 1300 l/s en Courtight)
Desde finales de 1960	Enrocado colocado en elevaciones de 1-2 m, regado y compactado. Reducción en el tamaño de partícula. Uso de gravas y rocas de baja resistencia.	Reducción significativa en deformaciones post-construcción debido a la baja compresibilidad del enrocado compactado. Reducción significativa en tasas de fuga; las tasas máximas son menores 50-100 l/s. Mejoramiento en el diseño de zócalos y detalles de revestimiento para reducir agrietamientos y fugas.
Presas de Tierra y Enrocado		
1900 - 1930	Enrocado descargado	Uso de núcleos de concreto con hombros de enrocado descargado al ángulo de reposo. Uso limitado de núcleos de tierra. Las presas alcanzan los 50-70 m de altura.
1930 - 1960	Núcleo de tierra (inclinado y central) con hombros de enrocado descargado	Uso de núcleos de tierra desde 1940 debido a las dificultades con la infiltración en presas CFRD. Incremento de altura de las presas hasta 150 m.
Desde 1960	Uso de enrocado compactado, colocado en elevaciones de 1-2 m, regado y compactado con rodillos	Mejoramiento en las técnicas de compactación. Las primeras presas fueron compactadas en capas gruesas con rodillos pequeños. El aumento gradual del tamaño del rodillo y la reducción del espesor de la capa redujeron la compresibilidad del enrocado. Incremento significativo en la altura de las presas a finales de 1970, hasta alcanzar los 250 – 300 m.

Entre 1955 y 1965 hubo una tendencia general en la compactación del enrocado, este cambio se produjo debido a que el vertido y la descarga del enrocado causaron una segregación significativa, con la acumulación de rocas más grandes en la base de la capa, dejando grandes vacíos, por lo cual eran altamente compresibles. También hubo un entendimiento sobre las rocas débiles, ya que estas perdían resistencia cuando estaban saturadas, lo cual generaba asentamiento si eran colocadas como enrocado descargado sin ningún tipo de compactación.

Terzaghi (1960) también introdujo el cambio de una trinchera de corte profundo en la roca como se muestra en la Figura 3.1, a la adopción del uso de un zócalo, ya que la excavación de la zanja podría aflojar y romper la roca, haciéndola más permeable, y que el zócalo pudiera ser un corte adecuado si se fundara sobre una roca adecuada, rejuntada y anclada a la roca con barras de acero.

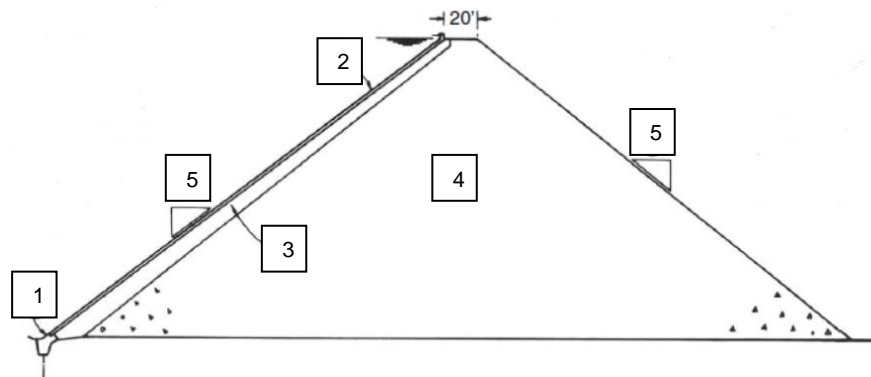


Figura 3.1 Características de diseño de las primeras presas de enrocado con cara de concreto (CFRD). (1) Trinchera de corte, (2) Losa de Concreto, (3) Roca grande colocada con grúa, (4) Enrocado descargado, (5) Talud. (Modificado de Fell et. al, 2015)

3.2 CONSIDERACIONES ACTUALES EN EL DISEÑO DE PRESAS DE ENROCADO

Las presas de enrocado con cara de concreto (CFRD) se componen de diferentes sub-estructuras con diferentes características mecánicas y físicas. Cada una de estas sub-estructuras está compuesta de un material particular con funciones específicas en el desempeño de la presa. Las consideraciones actuales en el diseño y construcción de presas de enrocado con cara de concreto (CFRD) que hoy en día son de práctica común, son producto del

desarrollo a través del tiempo de los diseños básicos realizados anteriormente, este desarrollo fue presentado por Cooke & Sherard (1987).

La Figura 3.2 presenta un esquema actual de la zonificación de una presa de enrocado con cara de concreto (CFRD), construida en base a relleno de roca de buena calidad y drenaje libre, sobre una fundación de roca fuerte.

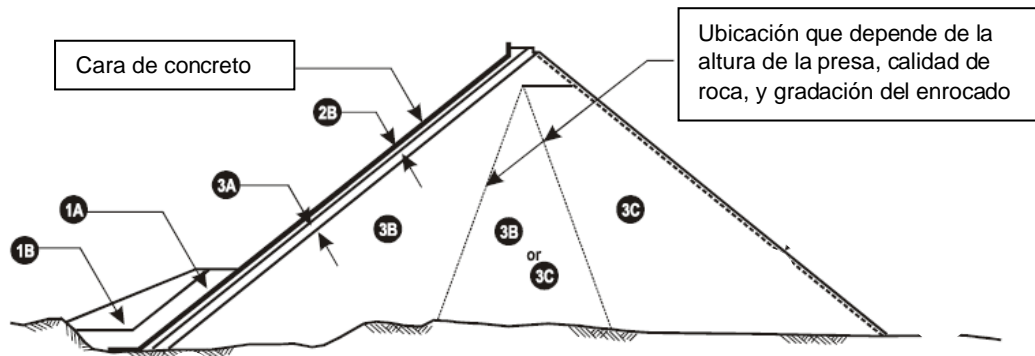


Figura 3.2 Zonificación moderna adoptada para una presa de enrocado tipo CFRD (ICOLD, 2004)

Cara de concreto: Concreto reforzado, actúa como barrera impermeable de la presa de enrocado. Con un espesor común entre 0.25 y 0.6 m, con juntas verticales y algunas juntas horizontales y perimetrales para soportar las deformaciones que ocurren durante la construcción, y cuando la carga de agua es aplicada.

Actualmente se viene empleando el curb de concreto extruido (Figura 3.3) como procedimiento constructivo, el cual constituye una alternativa altamente eficiente en el desempeño de la cara de concreto aguas de arriba en las presas tipo CFRD. La aplicación de esta metodología tiene muchas ventajas como son: mejorar la compactación en la zona 1 (transición) a lo largo del talud ya que actúa como un muro y protege la cara de concreto de una posible erosión.

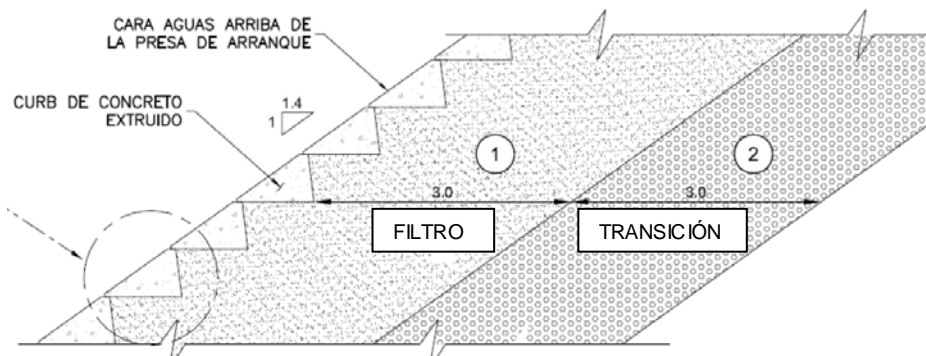


Figura 3.3 Curb de concreto extruido típico para presas tipo CFRD

Zona 1A: Zona de protección de la cara de concreto aguas arriba, compuesta por limos no cohesivos o arena fina con cierto porcentaje de grava y partículas de roca tamaño cantos de hasta 150 mm. Este material puede actuar ayudando a la impermeabilización de juntas o grietas en la junta perimetral y en la parte baja de las losas de concreto. La compactación de esta zona se lleva a cabo únicamente por un equipo de transporte mediante pasadas de neumático.

Zona 1B: Es un filtro de material seleccionado (arena y grava) con gradaciones específicas para minimizar las fugas en caso de falla de la impermeabilización brindada por la cara de concreto. Esta zona impide el movimiento de partículas tamaño limo a través de ella, esto sirve como protección secundaria contra las fugas. La colocación se realiza en capas de 0.2 a 0.4 m de espesor. La compactación requiere el uso de compactadores vibratorios.

Zona 2B: Enrocado de transición, enrocado o aluvión procesado, con gradación desde limo hasta grava gruesa de tamaño máximo igual a 75 mm. El material de transición brinda un soporte uniforme para la losa de concreto y actúa como una capa semipermeable para restringir el flujo a través de la presa en el caso ocurra el agrietamiento de la placa frontal o apertura de las juntas.

Zona 3A: Enrocado fino proveniente de roca fina seleccionada de tamaño menor a 0.4 m, el cual actúa como material transición filtro entre la Zona 2B y la Zona 3B en el caso se presente un evento de filtración a través de la presa.

Zona 3B: Material enrocado extraído de cantera cuyo tamaño de partícula es menor a 1 m, este material presenta drenaje libre y es colocado en capas de 1 m de espesor. Esta zona provee el principal soporte para la losa en la cara aguas

arriba de la presa y es compactada con un módulo alto para limitar el asentamiento de la losa.

Zona 3C: Este material corresponde a un enrocado grueso extraído de cantera con tamaño máximo de partícula igual a 2 m, presenta drenaje libre, y es colocado en capas de 1.5 a 2.0 m de espesor. La roca más grande puede ser empujada hacia la cara aguas abajo. Esta zona es la menos afectada por la carga de agua que la zona 3B, por lo que un módulo más bajo es aceptable. Las capas más gruesas permiten la colocación de roca más grande.

Muchas variaciones de la zonificación presentada se adoptan para satisfacer las condiciones del sitio y la calidad de los materiales de construcción disponibles. Se puede usar un relleno sin drenaje libre, siempre que se incorporen zonas de drenaje libre para dar un camino controlado al agua producto de las filtraciones. En algunas presas, el relleno de tierra de baja permeabilidad se coloca aguas arriba de la cara (zonas 1A y 1B en la Figura 3.2) para controlar las fugas.

Estas consideraciones junto a otros refinamientos en el diseño, han dado lugar a que los problemas que se presentan en presas de enrocado tipo CFRD se superen y tengan una gran aceptación para la construcción de muchas presas, incluyendo presas de hasta 235 m de altura.

No obstante, como se describe en Cruz et al. (2009), muchos incidentes se han reportado en presas de enrocado de gran altura debido a los daños en la losa de concreto después de llenar el depósito. Tales problemas se reportaron en las presas de enrocado Mohale, Barra Grande y Campos Novos y se describen más adelante. Los daños que se originaron están relacionados a fisuras en la losa de concreto y fugas subsiguientes, que fueron atribuidos a las deformaciones en la losa bajo la carga de agua, lo cual originó grandes tensiones de compresión en el centro de la losa con la subsiguiente falla de la junta de compresión vertical.

3.3 VENTAJAS DE LAS PRESAS DE ENROCADO

Para el emplazamiento de las presas de enrocado es necesario buscar una zona con adecuada fundación en roca, además se debe localizar alternativas de cantera que estén cercanas a la zona de emplazamiento. Las presas de enrocado tienen ciertas ventajas respecto a otro tipo de presas debido a:

- Cercanía a una posible cantera de roca.
- Se requieren muchos procesos para obtener grandes volúmenes de suelo (presas de tierra).
- Cuando se requiere aminorar el tiempo en la etapa de construcción de la presa.
- La existencia de excesiva humedad en la zona donde se emplazara la presa.
- Cuando la presa requiere ser ampliada por recrecimiento a largo plazo.

También es importante señalar que las presas de enrocado evitan la erosión interna, así como la acumulación de subpresiones debido a las características propias del material de enrocado. Otro factor importante en este tipo de estructuras es la condición drenada bajo la cual se mantiene el material de enrocado, evitándose así la generación de presiones de poro dentro del enrocado debido a movimientos sísmicos.

3.4 PROBLEMAS RECIENTES EN PRESAS DE ENROCADO CFRD DE GRAN ALTURA

Muchas presas de enrocado con pantalla de concreto han experimentado problemas debido a consideraciones de diseño o negligencias durante la etapa de construcción, lo cual conduce a realizar una revisión de las limitaciones del estado actual de la práctica en este tipo de estructuras.

La presa Mohale tipo CFRD, ubicada en Lesotho, tiene como características 145 m de altura, 600 m de longitud, 73 400 m² de área (pantalla de concreto) y 7.8 millones de m³ de material de enrocado. Se terminó de construir en el año 2000 de acuerdo a las consideraciones de diseño actuales. En febrero de 2006, lluvias intensas golpearon la región de Mohale, dando como resultado un crecimiento rápido del depósito. Esto resultó en asentamientos significativos de la presa aguas abajo y movimientos de valle transversal de la cresta, lo que a su vez aumentó las tensiones de compresión ya existentes en la parte central de la losa de concreto, dando lugar a fallas de desprendimiento de la losa (Figura 3.4a).

El agrietamiento de la losa dio lugar a una sacudida significativa, lo cual aumentó la abertura de las juntas verticales, horizontales y la junta perimetral en las

secciones de los flancos (Figura 3.4b). Resultando en un incremento significativo de las filtraciones, alcanzado valores cercanos a $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figura 3.4 (a) Fisuras en la losa de concreto (aguas arriba) en la presa de enrocado Lesotho (Johannesson et. al, 2007) (b)

Otra presa tipo CFRD que presentó problemas es la presa Barra Grande localizada en Brasil, la cual tiene 185 m de altura, 665 m de longitud de cresta, $108\,000 \text{ m}^2$ de área (pantalla de concreto) y 11.8 millones de m^3 de material de enrocado tipo basalto de alta compresibilidad. La presa empezó sus operaciones en julio de 2005, y en setiembre de ese mismo año presentó un incremento en el flujo de filtraciones. Este hecho fue producto de la ruptura de la pantalla de concreto descubierta en la junta vertical cerca de la sección media de la presa (Figura 3.5). El caudal de fuga al 92% de la capacidad del reservorio alcanzó $0.43 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figura 3.5 Roturas en la junta de compresión de la presa de enrocado Barra Grande (Pritchard, 2008)

La presa tipo CFRD Campos Novos, localizada en Brasil, con una altura de 202 m, longitud de cresta igual a 590 m, una área de 105 000 m² de losa de concreto y 12.9 millones de m³ de enrocado basalto de alta compresibilidad sufrió importantes daños durante el llenado del embalse en el año 2005. Cuando el nivel de agua en el reservorio alcanzó el 90% de su nivel de almacenamiento normal, se descubrieron rupturas en la pantalla de concreto en la parte superior de la junta vertical muy cerca de la sección media (Figura 3.6). Para realizar la reparación de estas fisuras fue necesario vaciar el embalse, luego de ello se descubrieron otras grietas de considerable dimensión producto de la falla de la losa de concreto.

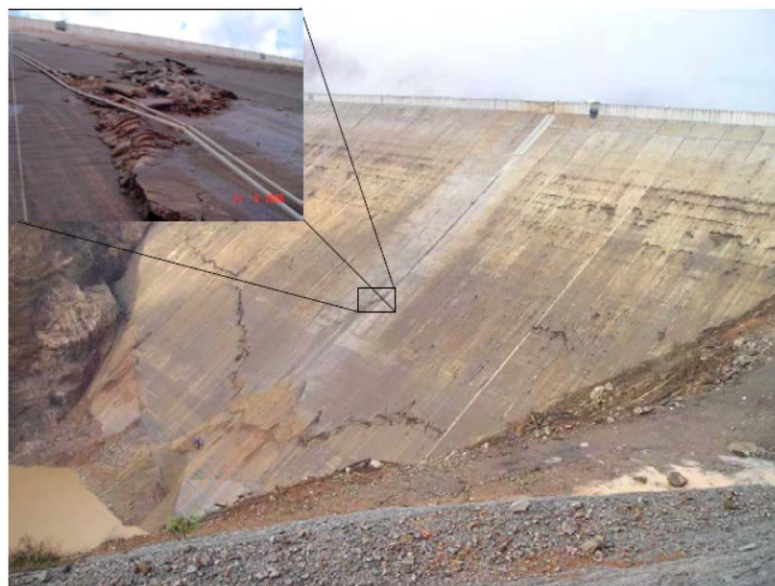


Figura 3.6 Roturas en la losa de concreto en la presa de enrocado Campos Novos (Pritchard, 2008)

Las experiencias descritas con referencia a problemas que se presentaron en presas de enrocado, evidencian la complejidad de su diseño. Por lo tanto, el diseño y construcción de este tipo de presas debe tomar en cuenta todas las consideraciones necesarias no solo en base a investigaciones teóricas, sino también en base a reportes de experiencias anteriores en este tipo de presas, sobre todo de aquellas que tienen dimensiones considerables.

3.5 ANÁLISIS DE PROBLEMAS EN PRESAS DE ENROCADO DE GRAN ALTURA

Las fallas que se presentan en presas de enrocado de gran altura y que se fueron descritas en la sección anterior pueden ocurrir en diferentes etapas del proyecto como son: 1) Proceso constructivo, 2) Llenado del embalse, 3) Post llenado del embalse. A continuación se intenta explicar las causas de estos problemas.

3.5.1 Etapa de Construcción

Durante la etapa de construcción, las losas de concreto son colocadas al mismo tiempo que se construye el terraplén. En esta etapa no hay fuerzas en la cara exterior de la losa, luego una vez que la losa de concreto alcanza alguna rigidez ya no siguen la deformación del revestimiento del enrocado. Debido a ello, las

deformaciones por construcción del enrocado conducen a una abertura eventual entre las losas y la cara aguas arriba de la presa (Shi et al., 2000).

3.5.2 Etapa del Embalse

En la etapa de llenado del embalse, los esfuerzos causados por la presión hidrostática son transmitidos al cuerpo de enrocado por la losa de concreto. La deformación es mostrada esquemáticamente en la Figura 3.7 y una vista 3D en la Figura 3.8. El aspecto principal durante esta etapa se refiere a la formación de grietas en la cara de concreto. Según los problemas de los casos descritos en la Sección 3.4, se pueden identificar tres patrones de grietas. 1) *grietas de compresión vertical* en la sección media superior de la cara de concreto. La compresión puede conducir eventualmente a sacudir las losas de la sección media. Estas grietas son inducidas por grandes esfuerzos de compresión. 2) cerca de la tercera parte inferior de la cara de concreto, *grietas horizontales* pueden aparecer como en el caso de la presa Campos Novos. Algunas *grietas diagonales* han sido observadas cerca a los contrafuertes, más o menos orientados hacia similar inclinación de los contrafuertes. Otro aspecto importante se refiere a la *abertura de juntas perimétricas*, mostradas esquemáticamente en la Figura 3.7c. Esta abertura es inducida por los esfuerzos de tensión concentrados en la interface enrocado – contrafuerte.

Una explicación para el fenómeno de agrietamiento vertical puede ser como sigue: en una primera vez la presión de agua – carga actúa sobre la losa de concreto, luego es transferido al enrocado, más tarde y como consecuencia de la carga sobre el enrocado aparece un asentamiento (es decir, deformación vertical). Subsecuentemente el movimiento vertical produce un movimiento horizontal por la presencia de los contrafuertes. Por ello, y por el contacto entre las losas de concreto y el enrocado, el movimiento horizontal en las proximidades de los contrafuertes produce esfuerzos de corte en las interfaces enrocado – losa que arrastra las losas horizontalmente. Finalmente por el mismo efecto de arrastrado actuando en ambos contrafuertes pero en un sentido inverso, el centro de las losas de concreto es restringido a elevados esfuerzos de compresión. Concerniente a las grietas de tensión horizontal estas pueden ser producidas por la flexión de las losas como se muestra en la Figura 3.7a.

Cualquiera fuera el caso, una vez que se agrieta la cara de concreto, esta pierde la capacidad de ser impermeable (Nieto, 2011).

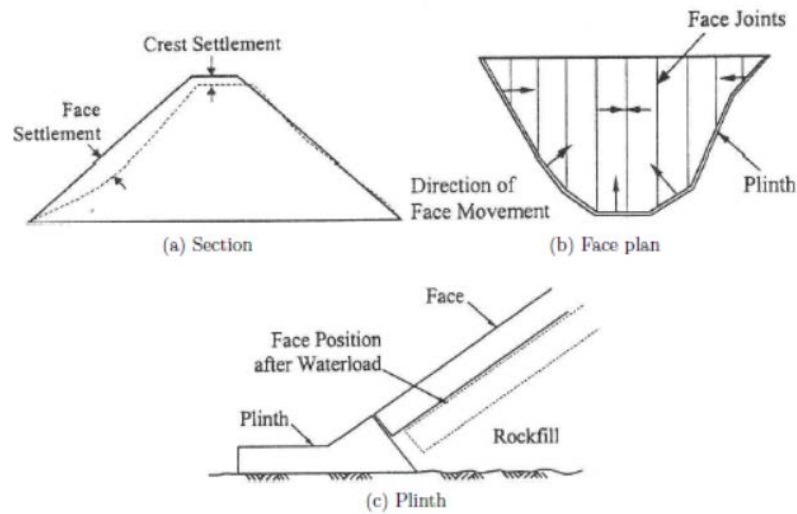


Figura 3.7 Esquema de deformación 2D de una presa de enrocado con pantalla de concreto bajo la acción de la carga de agua (Giudici et al., 2000)

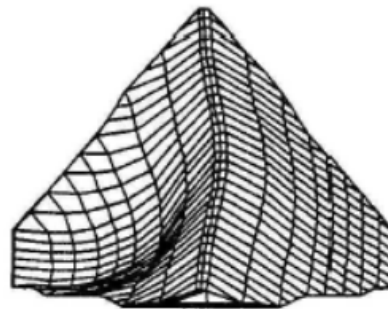


Figura 3.8 Esquema de deformación 3D de una presa de enrocado con pantalla de concreto debido al llenado del embalse (Harita et al., 2000)

3.5.3 Etapa de Post-Embalse

El efecto del tiempo es otro punto importante y hoy en día es un tópico de investigación de gran interés. El nivel de deformación alcanzado en el comportamiento a largo plazo de la estructura puede ser también importante. La Figura 3.9 muestra el comportamiento de las presas de enrocado a través del tiempo, y como se mencionó antes, las razones de este comportamiento todavía

no están bien reconocidos. Sin embargo desde un punto de vista mecánico este puede ser tratado como un comportamiento viscoso.

Considerando la Figura 3.9 se puede notar la importancia de la compactación en la reducción del asentamiento de cresta. Otro punto hace referencia a la influencia de la carga de agua en la deformación. Comparando las curvas de asentamiento entre la presa *El Infiernillo* con una altura de 146 m y la presa *Alto Anchicaya* de 140 m, se observó que el asentamiento en el nivel de la cresta es mayor en el primero. Una de las razones de esta diferencia podría ser el grado de saturación en la parte aguas arriba de la presa. En *El Infiernillo* la estructura impermeabilizante es un núcleo de arcilla en la parte intermedia de la sección transversal y consecuentemente la parte aguas arriba de la presa está completamente saturada, mientras que en *Alto Anchicaya* la parte aguas arriba está relativamente seca.

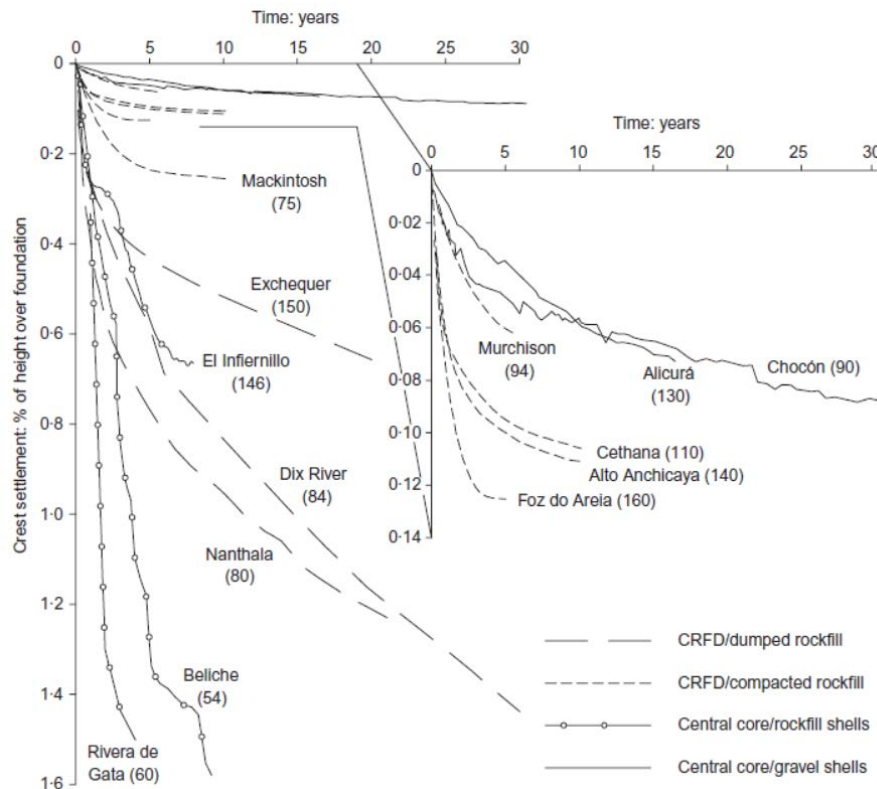


Figura 3.9 Registro de asentamientos de cresta en diferentes tipos de presa de enrocado (Oldecop & Alonso, 2007)

Respecto a los problemas de las presas tipo CFRD, el problema principal reportado es el nivel de deformaciones. Los materiales de enrocado presentan un módulo de rigidez menor que el concreto, pero ambos son semejantes en deformaciones. Por lo tanto el concreto alcanzará su límite de fluencia más temprano, como se mostró en los diferentes casos presentados anteriormente. Teóricamente la solución hace referencia al incremento del módulo de rigidez del enrocado para obtener una reducción de las deformaciones. Sin embargo, esto no es tan fácil, porque hay diferentes parámetros que afectan el comportamiento mecánico de los enrocados.

4.0 CAPÍTULO IV. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA PRESA DE ENROCADO TOROMOCHO

4.1 UBICACIÓN Y CLIMA

La presa de enrocado Toromocho está ubicada en los Andes Centrales del Perú, a una altura aproximada de 4500 a 5000 m snm. El área de emplazamiento de la presa drena hacia el río Yauli y luego al río Mantaro, dentro de la cuenca del río Amazonas.



Figura 4.1 Ubicación de la zona del proyecto

En la zona se presentan precipitaciones moderadas con un promedio anual de 851 mm y distintas estaciones húmedas y secas. Alrededor del 58% de la precipitación ocurre entre los meses de diciembre y marzo. Sólo el 11% de la precipitación anual total ocurre entre los meses de mayo y agosto. La temperatura media anual es de 7°C, siendo los meses de junio a julio los más fríos, con nevadas en las zonas más altas.

4.2 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

La topografía existente de la zona refleja la influencia de la erosión glacial que se superpone a una topografía montañosa pre-existente e influenciada por el contraste de la litología y estructura de rocas resistentes y débiles. Toda el área ha experimentado una glaciación, la cual involucró una erosión glacial amplia de los valles en forma de U, como la quebrada Tunshuruco, dejando expuesta una superficie rocosa erosionada.

Los depósitos glaciales morrénicos y depósitos fluviales (material de arena y grava) se encuentran extensos en el valle del río Yauli; mientras que en los valles de los ríos Rumichaca y Tunshuruco, los depósitos fluviales y glaciares están bastante limitados a morrenas en retroceso y áreas de depósitos lacustres rellenando las depresiones bajo los bofedales, como los que se encuentran en el área de cimentación de la presa de relaves (Anexo D, "Plano de Geología").

4.2.1 Geología del Macizo Rocosó

En el estudio de la geología de la zona de emplazamiento, se indica que las formaciones de basamento rocoso subyacentes en la cuenca del depósito de relaves incluyen secuencias de rocas carbonatadas y clásticas del periodo Jurásico y Cretácico que comprenden las Formaciones Pucará, Goyllarisquizga, Chúlec, Pariatambo, Jumasha y Casapalca, las cuales sobre yacen a un complejo basamento que comprende las antiguas formaciones volcánicas Permo-Triásicas Catalina y la subyacente Formación Mitu que forman el núcleo del Domo Yauli (Anexo D, "Plano de Geología"). El área ha experimentado amplia actividad intrusiva en la edad Terciaria, como la diorita y granodiorita asociada con la alteración y mineralización del Domo Yauli. La alteración también es evidente dentro de la cuenca del depósito de relaves donde las rocas carbonatadas de la Formación Pucara han sido localmente alteradas a mármol alrededor de varios cuerpos intrusivos dentro de la cuenca. La alteración hidrotermal asociada con la actividad intrusiva puede observarse todavía por las ocurrencias locales de fuentes hidrotermales en el valle del río Yauli aproximadamente a 4 km al sureste de la cuenca del Depósito de Relaves.

Las formaciones que subyacen en la cuenca del Depósito de Relaves poseen una fuerte dirección de rumbo estructural del NO-SE (rumbo andino),

generalmente buzando hacia el SO. La estructura está asociada con el plegamiento regional producto de la elevación andina del Terciario. Las formaciones geológicas forman el flanco SO del Domo Yauli, un anticlinal regional de inclinación NO. El ángulo de buzamiento promedio de las formaciones dentro de la cuenca del Depósito de Relaves es de aproximadamente 45° al SO, como se estableció para las líneas de dirección de buzamiento, basada en las intersecciones topográficas de varios contactos de formaciones mostradas.

También hay numerosos pliegues sinclinales y anticlinales, de pequeña escala, con la misma dirección NO-SE asociada con la estructura regional. Por ejemplo, el borde Este de la cuenca del Depósito de Relaves es un anticlinal con un alineamiento hacia el SE que expone a la superficie del Volcánico Catalina. Los pliegues sinclinales también mantienen estratos de roca dolomía no erosionados de la Formación Pucará inferior, acompañada por las secuencias subyacentes del Volcánico Catalina y Formación Mitu.

El borde oeste de la cuenca incluye un sinclinal y un anticlinal con similar alineamiento. Esta área está también asociada con una falla inversa conocida como la Falla Inversa de Toromocho.

4.2.2 Geología Superficial

La topografía de toda el área de Morococha incluyendo la zona de la mina Toromocho ha sido fuertemente afectada por una glaciación durante la última edad de hielo resultando en picos de roca estéril y valles glaciales profundos, así como depósitos superficiales de morrenas glaciares y aluviales. Los depósitos glaciares del valle se extienden por debajo de los 3800 msnm, aproximadamente hasta los 3600 msnm. El área de la cuenca del Depósito de Relaves ha sufrido una extensa erosión glacial.

Los depósitos glaciales superficiales no son amplios dentro del área del proyecto, estos generalmente se limitan al fondo de los valles. Estos depósitos incluyen morrenas laterales y en retroceso que reflejan las últimas etapas de retiro glacial dentro de los valles y áreas de depósitos de limo lacustre y arcilla que han sido acumuladas subsecuentemente dentro de la morrena inundada o depresiones de basamento rocoso dejadas luego de la retirada del glacial. Los

depósitos de turba orgánica subsecuentemente fueron acumulados sobre estos depósitos que ahora soportan los bofedales. Los depósitos de arcilla limosa orgánica lacustre en el área de cimentación de la presa fueron investigados y su naturaleza y extensión fueron definidos. Estos depósitos de arcilla limosa han sido sedimentados en forma de lagunas donde ahora se han desarrollado los bofedales. Similares pozas y bofedales embalsados por morrenas terminales también ocurren aguas arriba del centro del Depósito de Relaves y probablemente subyacen depósitos similares de arcilla limosa blanda.

4.2.3 Falla Inversa Toromocho

Las características de la Falla Inversa de Toromocho están asociadas a los pliegues paralelos anticlinal y sinclinal con dirección NO-SE (rumbo andino) dentro del buzamiento general SO de la secuencia de la caliza Jumasha. Los pliegues buzando ligeramente hacia el SE con planos axiales buzando hacia suroeste, paralelos a la deformación del conjunto. En el área, específicamente al oeste de la cuenca de Tunshuruco, hacia la Quebrada Balcanes donde se considera la falla de obducción, la caliza gris oscura del Pariatambo y el chert Jumasha pueden ser vistos claramente alrededor de las áreas expuestas de los pliegues sinclinal y anticlinal sin desplazamiento. Sin embargo, el anticlinal está más plegado y la roca en la cresta parece estar más triturada.

El sinclinal está claramente alineado al SE hacia la cimentación de la Presa de Relaves mientras el anticlinal colapsa, para formar flancos semi-verticales. El sinclinal está evidentemente dentro del estribo derecho (oeste) de la presa pero el eje del anticlinal parece transformarse en una falla inversa asociada a una zona estrecha de brechas y venas cementadas completamente con calcita. La caliza asociada con los pliegues y la falla localizada parece ser de una naturaleza intacta y probablemente con una pequeña diferencia respecto al fracturamiento y permeabilidad de la caliza circundante.

El pliegue asociado a la Falla Inversa de Toromocho fue sintectónico con la deformación regional que afectó el área que formó el Anticlinal Morococha en el periodo Terciario Superior (Neógeno). Es de la misma generación que otros numerosos pliegues que ocurren en otros lugares dentro de la estructura del Anticlinal Morococha (Anexo D, "Plano de Geología").

4.3 SISMICIDAD

La actividad sísmica que ocurre en el Perú tiene su origen en el proceso de convergencia de la placa de Nazca debajo la Sudamericana, el mismo que se produce con una velocidad promedio del orden de 7-8 cm/año (Norabuena et al, 1999). Este proceso es responsable de la ocurrencia de los sismos que con diversas magnitudes se producen frente a la línea de costa y a profundidades menores a 60 km (Tavera y Buforn, 2001), todos asociados al contacto sismogénico interplaca. Estos sismos son muy frecuentes en el tiempo y en un año es posible registrar la ocurrencia de hasta 60 sismos con magnitudes $M \geq 4.5$ y en general, todos sentidos en las localidades cercanas al epicentro. Los sismos de mayor magnitud ($M_w > 7.0$) han producido importantes daños en áreas relativamente muy grandes como el ocurrido en la región Sur de Perú el 23 de Junio de 2001 ($M_w = 8.2$) que afectó un área de 370x70 km ubicada entre las localidades de Atico (Arequipa) e Ilo (Moquegua). En el interior del continente ocurren sismos con menor magnitud ($M_w < 6.5$) y frecuencia, todos asociados directamente a la deformación de la corteza producto de la convergencia de placas. También debe considerarse, los sismos que ocurren a profundidades mayores a 61 km que deben su origen a la deformación interna de la placa de Nazca por debajo del continente y que muy raras veces son sensibles en superficie, siendo un ejemplo de estos sismos el ocurrido el 25 de Setiembre de 2005 ($M_w = 7.2$).

El último gran sismo con origen en el proceso de convergencia de placas, ocurrió en Agosto de 2007 con una magnitud $M_w = 7.9$, denominado como “el sismo de Pisco” debido a que su epicentro fue ubicado a 60 km al Oeste de esta ciudad.

4.3.1 Peligro Sísmico de Sitio

Los estudios de peligro regional y de sitio, indican que la presa de enrocado Toromocho está ubicada dentro de una región de peligro sísmico entre moderado y alto. La sismicidad histórica de la zona centro del Perú está dominada por sismos generados dentro de la fosa Perú-Chile, donde la placa tectónica de Nazca se hunde bajo la placa tectónica continental de Sudamérica a un ritmo promedio de 80 mm/año. Los sismos dentro de la parte superior de la placa de subducción han generado sismos con magnitudes del rango de M 8.5 a 9.5.

Los Análisis de Peligro Sísmico Determinístico y Probabilístico (DSHA y PSHA, siglas en inglés) fueron usados para caracterizar el peligro sísmico en el sitio del proyecto. Los resultados del análisis de peligro sísmico determinístico muestran que la Aceleración Máxima del Terreno (PGA, siglas en inglés) en el sitio, es generada por sismos en la parte baja de la placa de subducción de Nazca.

El Sismo Máximo Creíble (MCE, siglas en inglés) desarrolla PGAs entre 0,24 g (mediana) a 0,43 g (percentil 84) en sitios donde aflora la roca en Toromocho. Estos movimientos de terreno son producidos por un Sismo de Magnitud de Momento $M_w=8,0$ ubicado aproximadamente a 100 Km. bajo el sitio del proyecto.

Del estudio de peligro sísmico probabilístico se obtienen valores de PGA, los cuales se muestran en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Estudio de Peligro Sísmico Probabilístico - Valores de PGA

Aceleración Máxima del Terreno (PGA)	Periodo de Retorno
0,28 por	475 años
0,37 por	975 años
0,51 por	2 475 años
0,73 por	10 000 años

4.4 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES DE LA PRESA

4.4.1 Basamento Rocoso (Fundación)

La presa de enrocado Toromocho se encuentra cimentada sobre basamento rocoso compuesto en gran parte por calizas de resistencia media a alta en el estribo este, y de resistencia baja a media en el estribo oeste. Con el fin de realizar la caracterización del basamento se ejecutaron diversos ensayos de campo y laboratorio como son: propiedades físicas, gravedad específica, resistencia a la carga puntual, y resistencia a la compresión uniaxial.

Peso Unitario

Se realizaron mediciones de peso unitario en varias muestras de roca extraídas en las perforaciones (Anexo C, "Registro de Perforaciones"). El peso unitario seco promedio es de $27,2 \text{ kN/m}^3$ para la roca intacta.

El macizo rocoso presenta un peso unitario seco y saturado de $24,4$ y $25,4 \text{ kN/m}^3$, respectivamente. Estos valores fueron estimados tomando en cuenta el grado de fracturamiento del basamento rocoso, y porosidad de 10%.

Parámetros Hidráulicos

El basamento rocoso presenta una conductividad hidráulica igual a $1,2 \times 10^{-7} \text{ m/s}$, dicho valor fue asignado en función a los ensayos de permeabilidad realizados en campo durante el estudio hidrogeológico.

Clasificación Geomecánica

En base a trabajos de campo, el basamento rocoso presenta una resistencia a la compresión uniaxial entre 121 y 197 MPa , RQD promedio que varía entre 30 y 40%, RMR en el rango de 40 a 70, dando como valor promedio un RMR de 53, que corresponde a una valoración de calidad regular. Asimismo, el basamento rocoso tiene un valor de GSI igual a 45, obtenido a partir del grado de fracturamiento y condición de la roca.

Parámetros de Resistencia

En base a la caracterización geomecánica de RMR del macizo rocoso se pueden asumir valores de resistencia al corte considerando la envolvente de falla de Mohr-Coulomb. Para el basamento rocoso de RMR promedio 53 se puede asignar una cohesión de 265 kPa y un ángulo de fricción de $31,5^\circ$ aproximadamente, estos parámetros de resistencia no consideran confinamiento.

Se ha generado la envolvente de falla de Hoek-Brown en términos de esfuerzos efectivos. El basamento rocoso tiene un valor mínimo de resistencia a la compresión uniaxial igual a 121 MPa y un GSI de 45. Por ser de tipo caliza el coeficiente de roca intacta mide 9. También se ha asumido un factor de disturbancia D igual a 0 considerando una excavación mecánica en la

cimentación de la presa. La envolvente de resistencia se muestra en la Figura 4.2, la cual fue estimada mediante el programa RocLab 1.0.

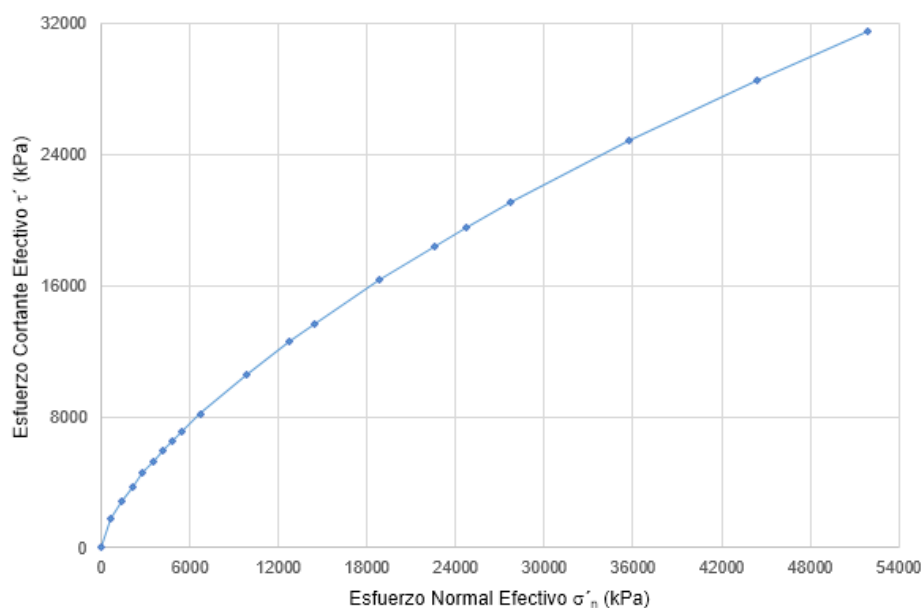


Figura 4.2 Envolvente de Resistencia del Macizo Rocoso

A partir de la envolvente de resistencia del criterio de falla de Hoek-Brown, se pueden obtener los valores de resistencia para el basamento. La Tabla 4.2 muestra estos valores para diferentes grados de confinamiento.

Tabla 4.2: Parámetros de resistencia del basamento rocoso en función al esfuerzo de confinamiento

Altura Aproximada de Carga (m)	Presión de Confinamiento σ_3 (kPa)	Cohesión (MPa)	Ángulo de Fricción (°)
150	1 275.248	0.917	52.93
171	1 453.783	0.963	52.07
193	1 640.819	1.01	51.25

4.4.2 Material de Enrocado (Material Tipo 3)

El material de enrocado está constituido por roca de tipo caliza con tamaño máximo de partícula igual a 150 cm (59") de diámetro, la matriz está conformada por una grava bien gradada (GW) con 5% de finos.

Con la finalidad de realizar la caracterización física del enrocado se realizaron ensayos de compresión triaxial tipo CD a gran escala (Figura 4.3) en dos tipos

de muestras homotéticas; los especímenes fueron remoldeados a 30 y 100 cm de diámetro. Dichos ensayos fueron llevados a cabo en el laboratorio IDIEM (Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales).



Figura 4.3 Probetas para ensayo triaxial a gran escala del enrocado

Granulometría de la Muestra Ensayada a Gran Escala

Con el fin de realizar los ensayos de corte triaxial a gran escala, se elaboraron curvas homotéticas paralelas a la curva granulométrica original de una muestra representativa del material de enrocado de caliza obtenida in-situ. La metodología de curva homotética permite reflejar las características físicas y mecánicas del material de enrocado sometido al ensayo triaxial. En la Figura 4.4 se presenta la curva general del enrocado obtenido in-situ y las curvas homotéticas para cada espécimen ensayado en laboratorio.

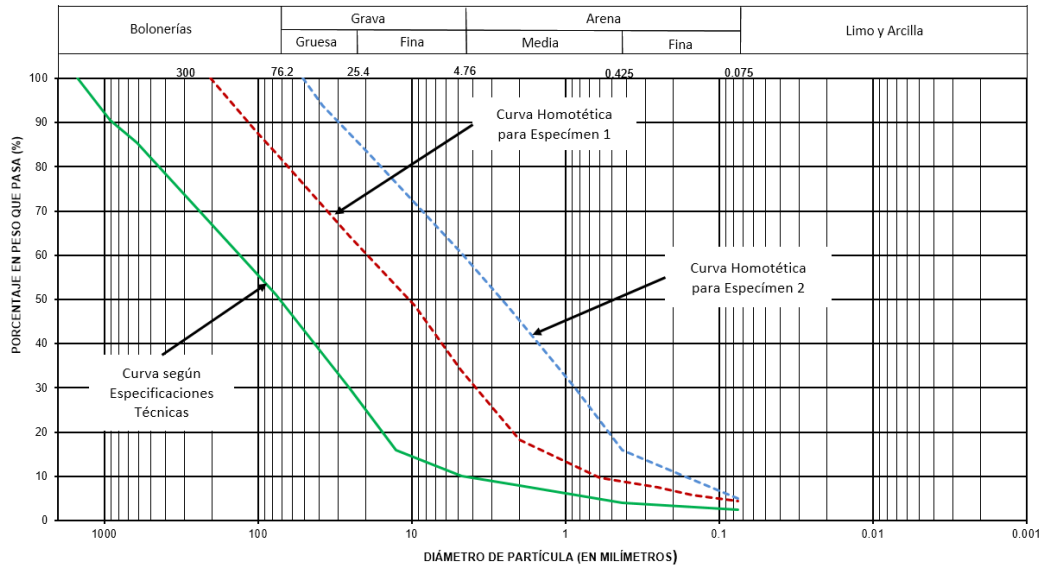


Figura 4.4 Curva granulométrica general obtenida in-situ y curvas homotéticas del material de enrocado

Peso Unitario Volumétrico

Se realizaron ensayos de densidad en campo por el método de reemplazo de agua, pesos unitarios secos y saturados, contenido de humedad y relación de vacíos entre otros. La Tabla 4.3 presenta el resumen de los valores obtenidos, los cuales serán empleados en el análisis de estabilidad de taludes.

Tabla 4.3: Resumen de Pesos Unitarios – Material de Enrocado

Valor	Peso Unitario Seco (kN/m ³)	Contenido de Humedad - w (%)	Peso Unitario <i>in-situ</i> (kN/m ³)	Relación de Vacíos - e	Peso Unitario Saturado ^(*) (kN/m ³)
Mínimo	19,2	5,1	20,2	0,40	22,1
Máximo	24,8	2,3	25,3	0,09	25,6
Promedio	22,0	-	22,8	-	23,8

^(*)Peso unitario saturado calculado para una gravedad específica de sólidos promedio de $G_s=2,75$.

Coefficiente de Conductividad Hidráulica

En base a las características granulométricas del material de enrocado tipo caliza e investigaciones relacionadas a materiales de enrocado se estimó un coeficiente de conductividad hidráulica igual a 5×10^{-3} m/s. Este valor será empleado en los análisis de filtraciones para obtener la presión de poros dentro del cuerpo de la presa.

Parámetros de resistencia del Enrocado

La resistencia al corte del enrocado tipo caliza fue obtenida mediante ensayos de corte triaxial CD a gran escala. Se ensayaron dos tipos de muestra (Tabla 4.4), las cuales fueron sometidas a presiones de confinamiento en el rango de 0.5 a 20 kg/cm².

Tabla 4.4: Muestras triaxiales a gran escala – Material de Enrocado

Muestra	Dimensiones de Probeta (cm)	Densidad seca (gr/cm ³)	Tam. Máximo de Partícula (mm)	Condición
Muestra 1	30x60	2.20	52	Saturada
Muestra 2	100x180	2.25	200	Saturada

En las Figuras 4.5 y 4.6 se muestran las trayectorias de tensiones correspondientes a los ensayos, donde cada punto graficado representa el valor estable de la presión luego de aplicar el incremento de carga. La Figura 4.7 muestra el ángulo de fricción movilizado en la muestra 1, donde se observa el efecto que tiene el desgaste sobre la caída del ángulo de fricción movilizado. La Figura 4.8 muestra el ángulo de fricción movilizado en la muestra 2, que a diferencia de la muestra 1, en ella no se observa una diferencia notable en los ensayos realizados para grandes presiones de confinamiento.

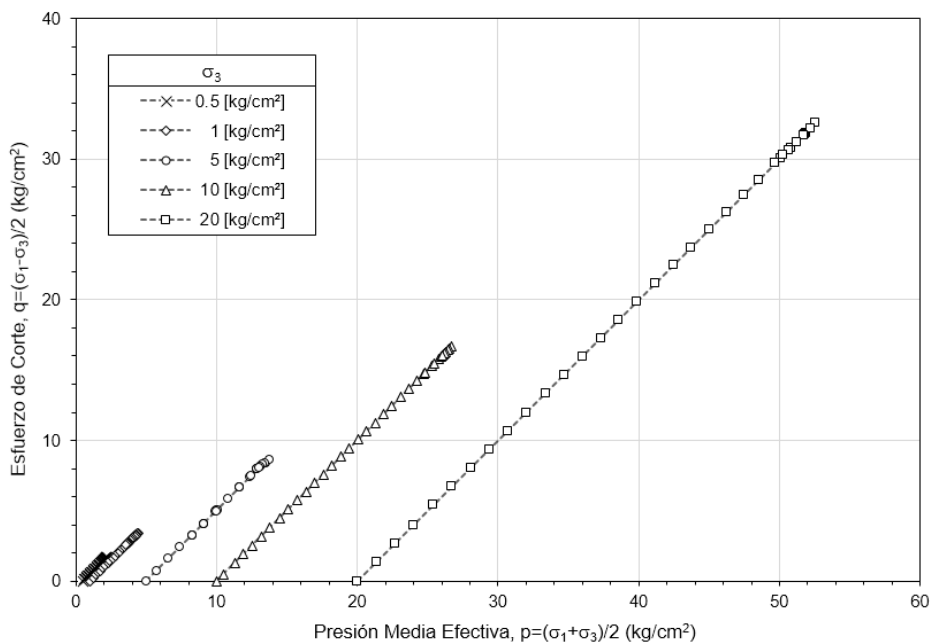


Figura 4.5 Diagrama de trayectorias p-q – Muestra 1

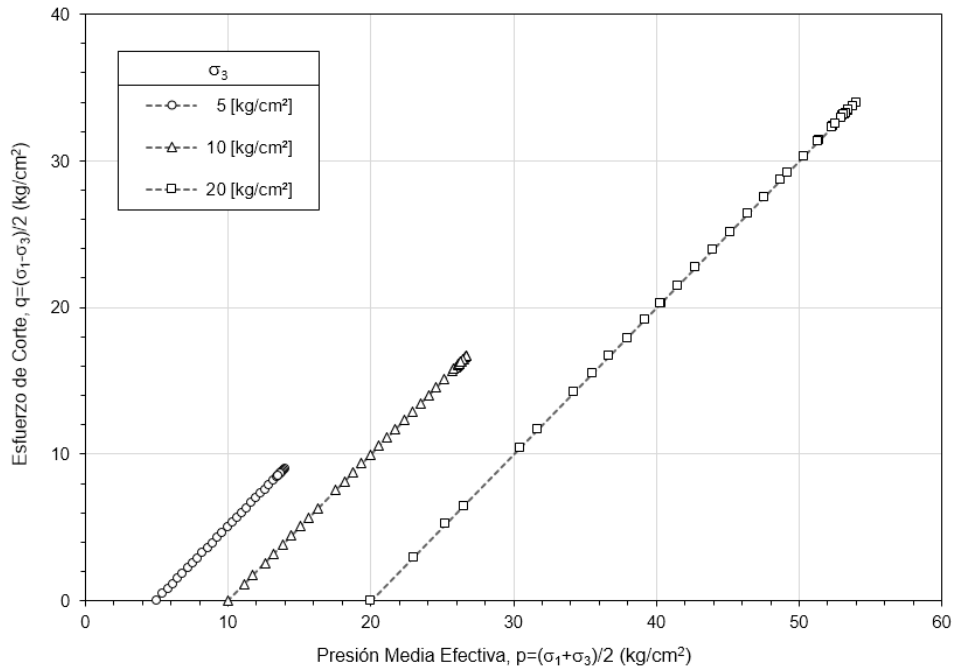


Figura 4.6 Diagrama de trayectorias p-q – Muestra 2

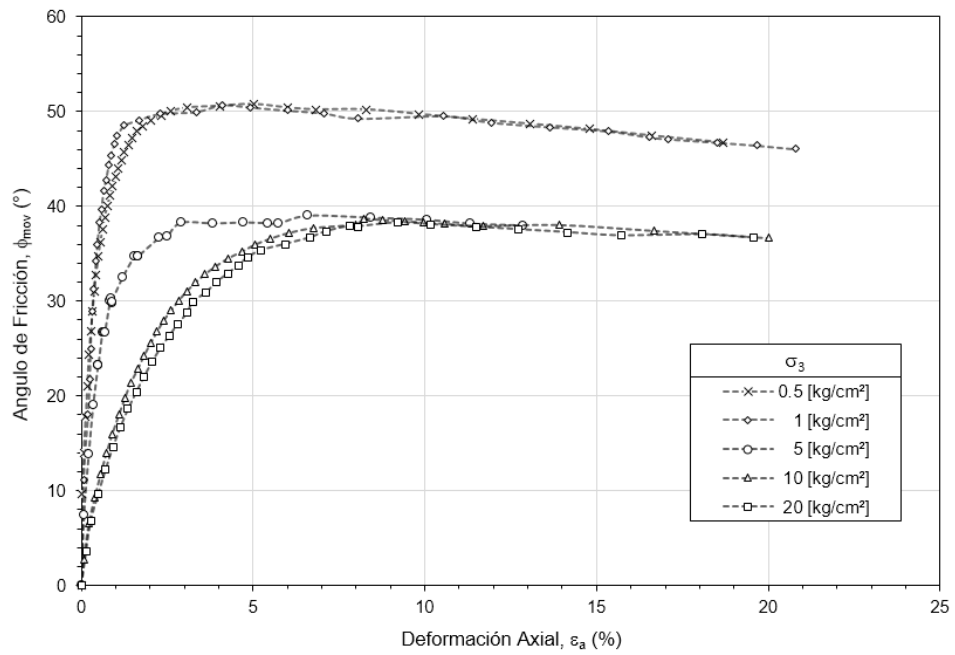


Figura 4.7 Angulo de fricción movilizado / deformación - Muestra 1

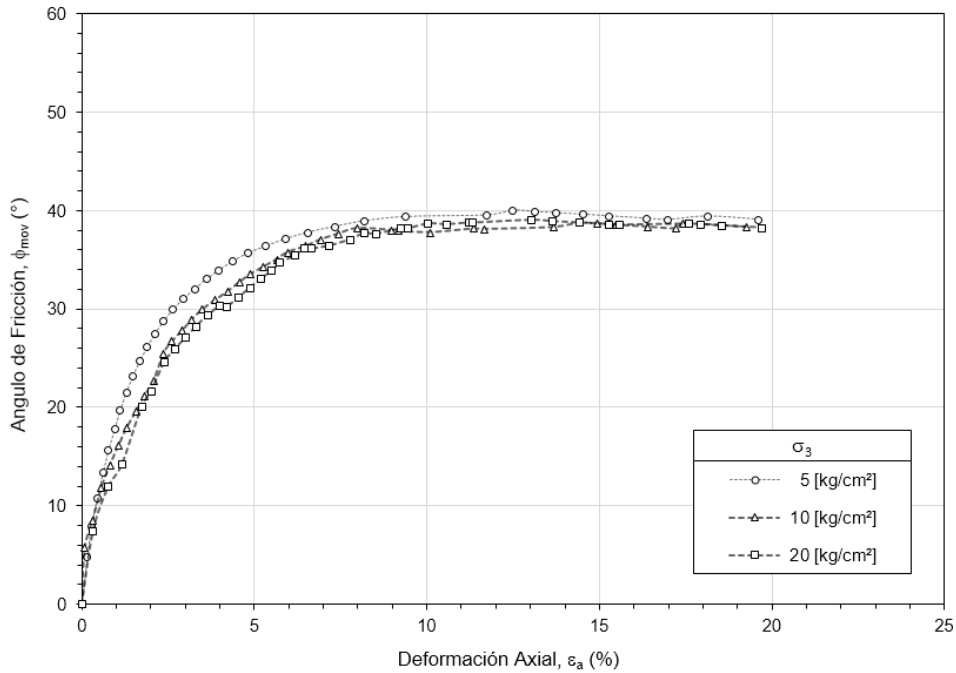


Figura 4.8 Ángulo de fricción movilizado / deformación - Muestra 2

Para determinar el ángulo de fricción máximo movilizado ($\phi_{máx.}$) se tomó la condición de resistencia máxima desarrollada, considerando la pendiente de la recta desde el origen de la trayectoria de tensiones hasta el punto donde la razón q/p es máxima para cada presión de confinamiento (Figura 4.5 y Figura 4.6). Los ángulos de fricción para cada muestra se presentan en la Tabla 4.5.

Se determinó la envolvente de resistencia (definida en la Sección 2.2), empleando una correlación de tipo potencial $\tau = A \cdot \sigma_n^b$, donde A y b son las constantes que representan a cada muestra ensayada. Los valores obtenidos de los parámetros de los modelos potenciales se presentan en la Tabla 4.6 para cada muestra.

Tabla 4.5: Resumen de ángulos de fricción interna y esfuerzos principales

Muestra 1			Muestra 2		
σ_3 (kg/cm ²)	σ_1 (kg/cm ²)	$\phi_{máx.}$ (°)	σ_3 (kg/cm ²)	σ_1 (kg/cm ²)	$\phi_{máx.}$ (°)
0.5	3.94	50.78	-	-	-
1	7.84	50.69	-	-	-
5	22.48	39.50	5	22.98	39.99
10	43.34	38.69	10	43.44	38.74
20	85.14	38.28	20	87.98	39.02

Tabla 4.6: Resumen de parámetros del modelo potencial que determinan la envolvente de falla del enrocado

Muestra	A	b
Muestra 1	1.23	0.85
Muestra 2	0.88	0.98

En las Figuras 4.9 y 4.10 se presentan los ángulos de fricción ($\phi_{\text{máx.}}$) en función de las presiones de confinamiento en la muestra 1 y 2 respectivamente. También se presentan las envolventes de falla característica para cada muestra.

En la muestra 1 se puede observar que la variación de $\phi_{\text{máx.}}$ es decreciente a medida que aumenta la presión de confinamiento, este hecho no se aprecia claramente en la muestra 2. A bajas presiones de confinamiento como 0.5 y 1 kg/cm² la muestra 1, alcanza valores del orden de 51°. Por otro lado se observa poca variación de los valores de ángulo de fricción en la muestra 2, lo que resulta en una envolvente de falla relativamente lineal, lo cual se puede corroborar con el exponente “b” cercano a uno de la función potencial.

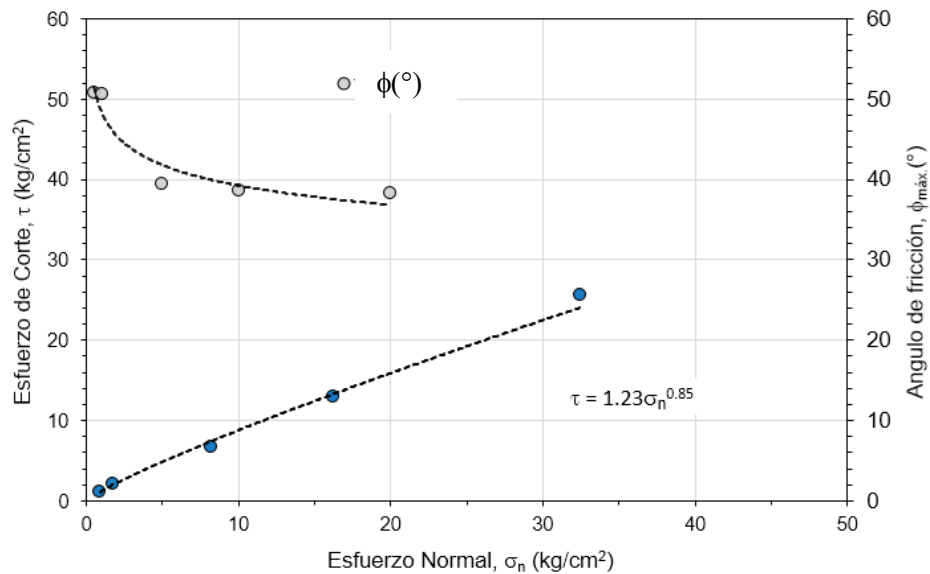


Figura 4.9 Envolverte de falla y ángulo de fricción interna - Muestra 1

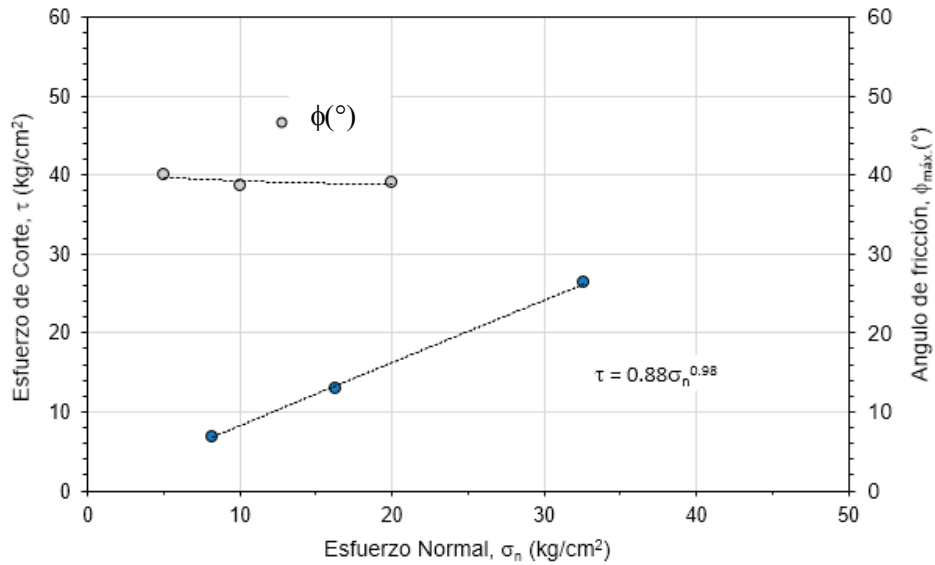


Figura 4.10 Envoltente de falla y ángulo de fricción interna - Muestra 2

En la Figura 4.11 se grafican los resultados dentro de un contexto general de ensayos triaxiales a gran escala. Por encima de 700 kPa de tensión normal se puede apreciar que la resistencia del enrocado se sitúa muy cerca a la curva de ensayos definida por Leps (1970) para enrocados de resistencia promedio.

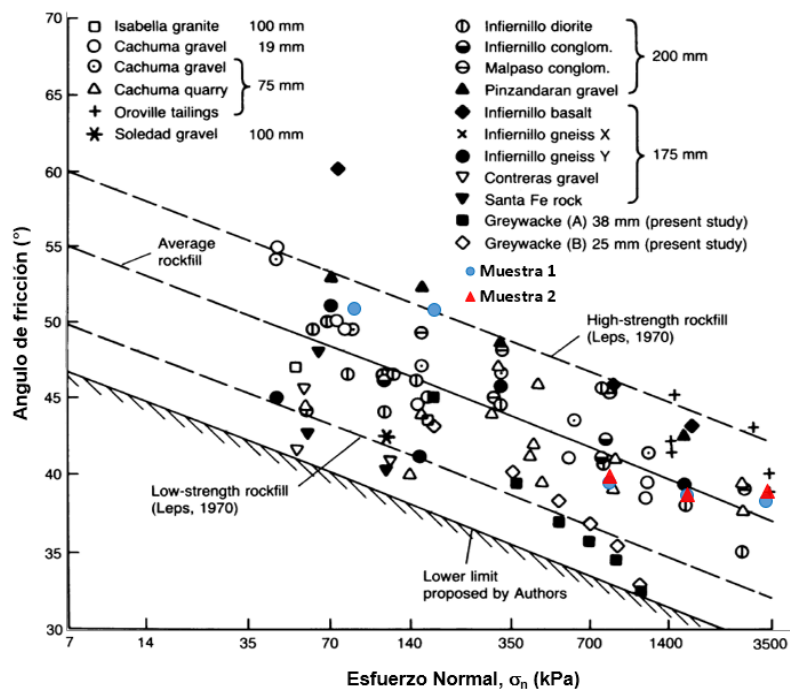


Figura 4.11 Envoltente de falla y ángulo de fricción interna del enrocado (modificado de Leps, 1970)

Teniendo en cuenta resultados de ensayos en materiales de enrocado de formación geológica similar, resulta razonable clasificar la roca a ser usada en la construcción de la presa Toromocho como una roca de resistencia media a alta. En términos de esfuerzos efectivos el enrocado presenta una cohesión nula. La envolvente de falla de curvatura natural es incorporada considerando el ángulo de fricción (ϕ) variable con el nivel de esfuerzos mediante la siguiente expresión.

$$\phi = \phi_1 - \Delta\phi \log(\sigma'_3 / P_a)$$

Donde ϕ_1 es el ángulo de fricción para un esfuerzo de confinamiento de 1 atm (101.3 kPa), y $\Delta\phi$ es la reducción en el ángulo de fricción para un aumento de diez veces en el nivel de esfuerzos de confinamiento (Saboya, 1993). En base a los esfuerzos de confinamiento de los ensayos triaxiales se estimó un valor de $\phi_1 = 51^\circ$ y $\Delta\phi = 7,5^\circ$.

La Figura 4.12 muestra la envolvente de resistencia al corte del enrocado en función al esfuerzo normal efectivo, el cual será empleado en los análisis de estabilidad.

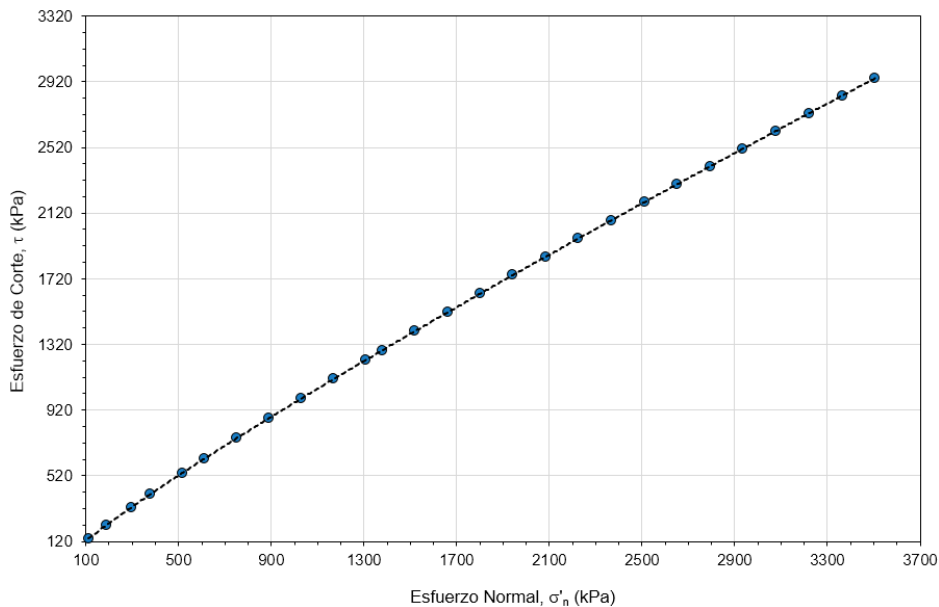


Figura 4.12 Envolvente de resistencia al corte del enrocado

4.4.3 Material de Filtro (Material Tipo 1)

Dada las características granulométricas de este material, es considerado de tipo permeable y está constituido en su mayoría por grava y arena con un tamaño máximo de partícula igual a 7,5 cm (3"). Este material cumple la función de filtro en la parte aguas arriba de la presa de enrocado (Figura 4.16) y es compatible con el material de relave, evitando así, la migración de partículas finas contenidas en el relave hacia el interior de la presa. Para la caracterización física de este material se realizaron ensayos de campo y laboratorio.

Granulometría de la Muestra

Con la finalidad de realizar los ensayos de laboratorio del material de filtro se aplicó el método de granulometrías homotéticas (Verdugo et al, 2006), el cual permite obtener una secuencia de distribución de tamaño de partículas paralela a la muestra original obtenida en campo. Se seleccionó un tamaño máximo de partícula igual a 38,1 mm, este valor representa $\frac{1}{4}$ del diámetro del espécimen en laboratorio 152,4 mm (6"), el cual depende de las características del equipo para el ensayo triaxial.

En la Figura 4.13 se presenta la curva granulométrica original y la curva granulométrica homotética del material de filtro de $TM=1\ 1/2"$ (38,1 mm).

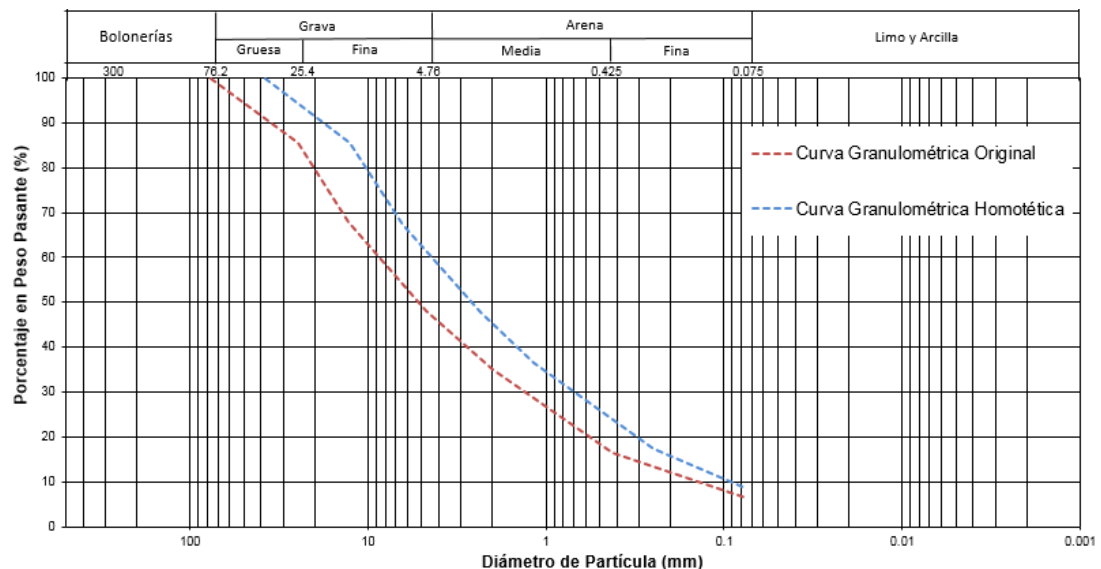


Figura 4.13 Curva Granulométrica Original y Homotética del Material de Filtro

Peso Unitario Volumétrico

En base a las pruebas de campo realizadas durante la construcción de la presa de relaves, se obtuvieron los valores de peso unitario a la humedad de campo, seco y saturado que se presentan en la Tabla 4.7. Para el presente análisis se han considerado los pesos volumétricos promedio.

Tabla 4.7: Resumen de Pesos Unitarios – Material Tipo 1

Valor	Peso Unitario <i>in-situ</i> (kN/m ³)	Contenido de Humedad - w (%)	Peso Unitario Seco (kN/m ³)	Relación de Vacíos - e	Peso Unitario Saturado* (kN/m ³)
Mínimo	19,6	3,0	19,1	0,42	22,0
Máximo	24,4	4,6	23,4	0,16	24,7
Promedio	22,0	-	21,2	-	23,3

*Peso unitario saturado calculado para una gravedad específica de sólidos promedio de $G_s=2,75$.

Para el presente análisis de estabilidad de la presa se ha considerado el peso unitario saturado de 23,3 kN/m³.

Coeficiente de Conductividad Hidráulica

Los resultados de ensayos de conductividad hidráulica en pared rígida realizados en laboratorio en especímenes de 150 cm de altura y tamaño máximo de partícula igual a $\frac{3}{4}$ " , los valores reportados están en el rango de $3,0 \times 10^{-4}$ m/s - $7,8 \times 10^{-4}$ m/s en función a la carga aplicada como se presenta en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8: Ensayos de Conductividad Hidráulica en Pared Rígida – Material Tipo 1

Material	N° Ensayo	Densidad Seca (g/cm ³)	Esfuerzo Normal (kPa)	Conductividad Hidráulica (m/s)
Material Tipo 1	1	2,20	0	7,8 E-04
	2	2,25	500	7,1 E-04
	3	2,27	1000	6,6 E-04
	4	2,31	2000	5,1 E-04
	5	2,34	3000	3,8 E-04
	6	2,37	4000	3,0 E-04

Fuente: Ensayo realizado bajo la norma ASTM D-2434

En el presente análisis se ha considerado un coeficiente de conductividad hidráulica igual a 5×10^{-7} m/s, ya que se ha considerado el curb de concreto de

juntas no selladas, el cual tiene un efecto impermeabilizante en la cara aguas arriba de la presa de enrocado.

Parámetros de resistencia del Material Tipo 1

La resistencia al corte del material de filtro fue caracterizada mediante el ángulo de fricción interna pico obtenido de ensayos de corte triaxial tipo consolidado drenado CD (Anexo B, "Ensayos de Laboratorio"); en base a las características granulométricas y expresado en términos de esfuerzos efectivos este material no presenta cohesión, por lo que en el presente análisis de estabilidad se ha considerado un ángulo de fricción interna de 38° y una cohesión nula.

4.4.4 Material de Transición (Material Tipo 2)

El material de transición es de tipo permeable y posee una granulometría de buena gradación compuesto por roca, grava y arena con un tamaño máximo de partícula igual a 30 cm (12"), el cual cumple la función de transición (Figura 4.16) entre el material de filtro (material Tipo 1) y el de enrocado (material Tipo 3). Con la finalidad de hacer la caracterización física de este material se realizaron ensayos de campo y laboratorio.

Granulometría de la Muestra Ensayada

Para realizar los ensayos de laboratorio del material de transición se aplicó el método de granulometría homotética (Verdugo et al, 2006), el cual permite obtener una secuencia de distribución de tamaño de partículas paralela a la muestra original obtenida en campo. Se seleccionó un tamaño máximo de partícula igual a 38,1 mm, este valor representa $\frac{1}{4}$ del diámetro del espécimen en laboratorio 152,4 mm (6"), el cual depende de las características del equipo para el ensayo triaxial.

En la Figura 4.14 se muestra la curva granulométrica original y la curva granulométrica homotética del material de filtro de $TM=1\ 1/2"$ (38,1 mm).

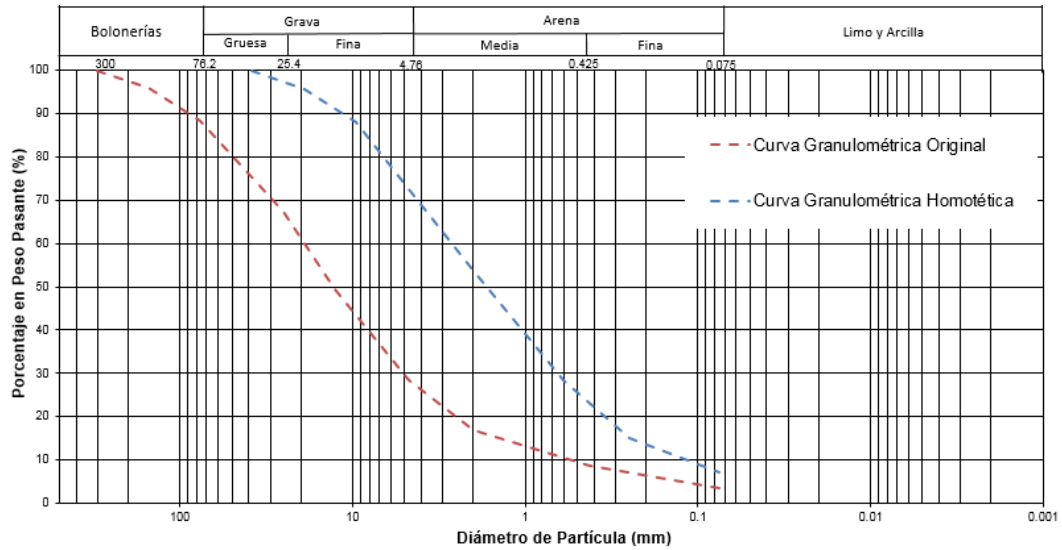


Figura 4.14 Curva Granulométrica Original y Homotética del Material de Transición

Peso Unitario Volumétrico

De acuerdo a los resultados de ensayos de laboratorio realizados con el fin de caracterizar este material, se obtuvieron los pesos unitarios a la humedad en campo, seco y saturado (Tabla 4.9). Para fines de diseño de la Etapa 2 se consideraron los pesos promedio presentados.

Tabla 4.9: Resumen de Pesos Unitarios – Material de Transición

Ensayo	Peso Unitario Seco (kN/m ³)	Contenido de Humedad - w (%)	Peso Unitario <i>in-situ</i> (kN/m ³)	Relación de Vacíos - e	Peso Unitario Saturado (kN/m ³)
Triaxial CID	20,6	5	21,6	0,338	23,1 ⁽¹⁾
Conductividad Hidráulica	21,1	-	-	0,278	23,5 ⁽²⁾
Promedio	20,9	-	21,6	-	23,3

⁽¹⁾Peso unitario saturado calculado para una gravedad específica de sólidos promedio de $G_s=2,81$.

⁽²⁾Peso unitario saturado calculado para una gravedad específica de sólidos promedio de $G_s=2,78$.

Para el presente análisis de estabilidad de la presa se ha considerado el peso unitario saturado 23,3 kN/m³.

Coeficiente de Conductividad Hidráulica

Los ensayos de conductividad hidráulica de pared rígida fueron realizados en laboratorio, en especímenes de altura igual a 150 cm con tamaño máximo de partícula $\frac{3}{4}$ ". Los resultados reportaron valores que varían en el rango de

$1,0 \times 10^{-2}$ m/s - $4,6 \times 10^{-3}$ m/s para el material Tipo 2, en función de la carga aplicada como se muestra en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10: Ensayos de Conductividad Hidráulica en Pared Rígida – Material Tipo 2

Material	N° Ensayo	Densidad Seca (g/cm ³)	Esfuerzo Normal (kPa)	Conductividad Hidráulica (m/s)
Material Tipo 2	1	2,11	0	1,0 E-02
	2	2,14	500	8,1 E-03
	3	2,16	1000	7,2 E-03
	4	2,20	2000	5,3 E-03
	5	2,25	3000	5,0 E-03
	6	2,28	4000	4,6 E-03

Fuente: Ensayo realizado bajo la norma ASTM D-2434

En el presente análisis se ha considerado un coeficiente de conductividad hidráulica promedio de $6,7 \times 10^{-3}$ m/s.

Parámetros de resistencia del Material de Transición

Para obtener la resistencia cortante del material de transición se realizaron ensayos de corte triaxial tipo CD, en donde los especímenes fueron sometidos a tensiones de confinamiento igual a 400; 800 y 1600 kPa, para luego ser cargados en condiciones de esfuerzo controlado. Este material presenta un ángulo de fricción interna igual a 37° y según su granulometría tiene cohesión nula en términos de esfuerzos efectivos.

4.4.5 Material de Relave

El material de relave es el residuo producto del proceso de extracción del mineral, está conformado principalmente por arena fina con importante presencia de materiales finos, dispuestos en estado saturado.

Granulometría de las Muestras Ensayadas

En la Figura 4.15 se muestra la distribución granulométrica de la muestra colectada en campo del material de Relave, donde se observa la relación entre el diámetro de las partículas y el porcentaje en peso pasante; de acuerdo a los husos se aprecia que este material está compuesto en su mayoría por arena fina, limo y arcilla.

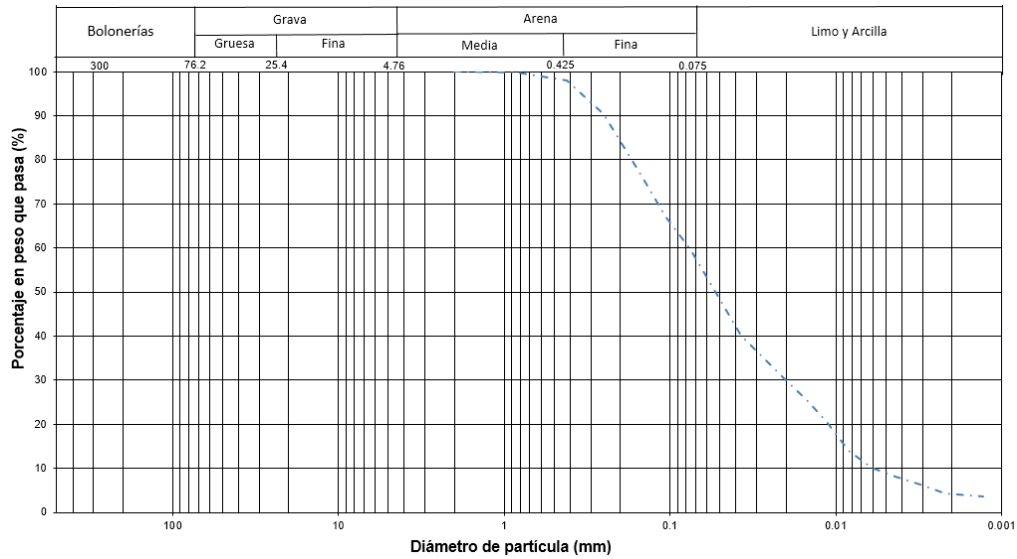


Figura 4.15 Curva granulométrica del material de relave

Peso Unitario Volumétrico

De acuerdo con los ensayos de laboratorio se obtuvieron los pesos unitarios a la humedad en campo y los pesos secos y saturados como se muestra en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11: Resumen de Pesos Unitarios del Material de Relave

Ensayo	Peso Unitario Seco (kN/m ³)	Contenido de Humedad - w (%)	Peso Unitario <i>In-Situ</i> (kN/m ³)	Relación de Vacíos - e	Peso Unitario Saturado (kN/m ³)
Mínimo	12,6	10	13,8	1,25	18.0 ⁽¹⁾
Máximo	18,2	14,7	20,9	0,55	21,7 ⁽¹⁾
Promedio	15,4	-	17,4	-	19,9

⁽¹⁾Peso unitario saturado calculado para G_s=2,88.

Coefficiente de Conductividad Hidráulica

Los resultados de ensayos de conductividad hidráulica en pared flexible con tamaño máximo de partícula igual a 4.76 mm realizados en laboratorio, reportaron valores que varían entre $5,8 \times 10^{-7}$ m/s hasta $4,5 \times 10^{-8}$ m/s en función a la carga aplicada como se presenta en la Tabla 4.12.

Tabla 4.12: Ensayos de Conductividad Hidráulica en Pared Flexible – Relave

Material	N° Ensayo	Densidad Seca (g/cm ³)	Esfuerzo Normal (kPa)	Conductividad Hidráulica (m/s)
Relaves	1	1,28	0	5,8 E-07
	2	1,32	400	9,3 E-08
	3	1,46	800	5,8 E-08
	4	1,64	1600	4,5 E-08

Ensayo realizado bajo la Norma ASTM D-5084.

Parámetros de Resistencia al Corte

La resistencia al corte del relave depositado se obtuvo mediante ensayos triaxiales tipo CU, donde las muestras fueron sometidas a tensiones de confinamiento igual a 400; 800 y 1600 kPa, para luego ser cargados en condiciones de esfuerzo controlado. Los resultados dan como resultado un ángulo de fricción interna igual a 34° y una cohesión nula en términos de esfuerzos efectivos.

4.5 RESUMEN DE PROPIEDADES Y PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

En la Tabla 4.13 se presenta el resumen general de las propiedades y parámetros geotécnicos de los materiales que conforman la presa de enrocado, los cuales serán empleados en los análisis de infiltración y estabilidad de taludes de la presa de enrocado Toromocho para las diferentes etapas de análisis. Estos parámetros y propiedades fueron obtenidos en base a trabajos de campo, ensayos de laboratorio e investigaciones realizadas en materiales de enrocado de características similares. En la Figura 4.16 se presenta la zonificación de materiales de la presa Toromocho.

Tabla 4.13: Resumen de propiedades y parámetros geotécnicos de los materiales.

Material	Peso Unitario kN/m ³ (γ)	Angulo de Fricción (ϕ')	Cohesión kPa (c')	Conductividad Hidráulica m/s (k)
Filtro (Material Tipo 1)	23.3	38	0	5E-7
Transición (Material Tipo 2)	23.3	37	0	6,7E-3
Enrocado (Material Tipo 3)	23.8	(1)	0	5E-3
Relave Depositado	19.9	34	0	5,8E-8
Basamento Rocoso	25.4	(2)	(2)	1,9E-6

(1) Curva de resistencia al corte en función al esfuerzo normal efectivo para el enrocado (Figura 4.12).

(2) Curva de resistencia al esfuerzo cortante en función al esfuerzo normal efectivo para el Basamento Rocoso (Figura 4.2).

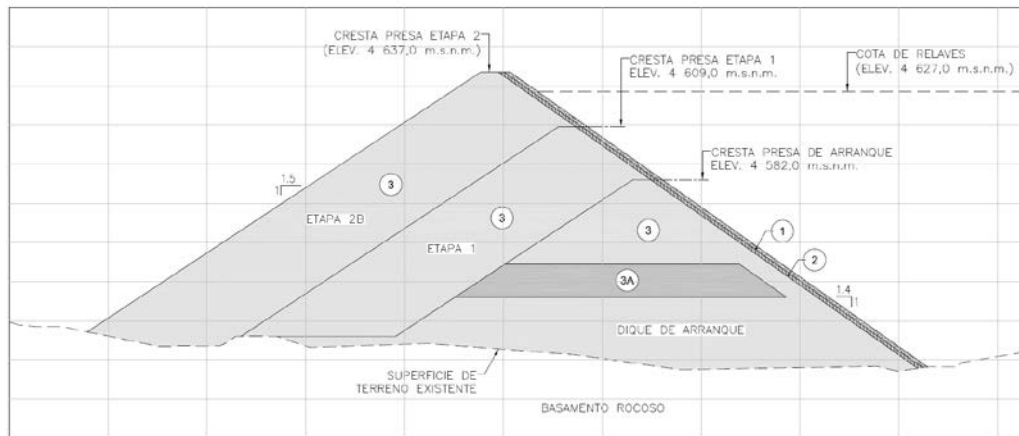


Figura 4.16 Distribución de materiales en la presa de enrocado Toromocho

5.0 CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE FILTRACIONES Y ESTABILIDAD FÍSICA DE LA PRESA TOROMOCHO

En base a las consideraciones de diseño y los parámetros físico-mecánicos descritos en la sección anterior, en el presente capítulo se realiza el análisis de estabilidad estática y pseudo-estática de la presa de enrocado Toromocho. El análisis de infiltración se realizó por medio de un modelo de elementos finitos (FEM), donde se asumió condiciones de carga hidráulica constante. Para tal fin se empleó el programa geotécnico Seep/W (GeoStudio v.12). La estabilidad física de la presa se analizó aplicando el método de equilibrio límite, empleándose para ello el programa Slope/W (GeoStudio v.12). A continuación se resume el procedimiento de análisis:

- Se realizó el análisis de filtración de carga hidráulica constante a través de un modelo de elementos finitos, obteniéndose luego la presión intersticial o presión de poros a través del cuerpo de la presa.
- Posteriormente se realizó el análisis de la estabilidad estática de la presa por equilibrio límite empleando la metodología de Spencer, obteniéndose luego los factores de seguridad.
- Finalmente se realizó el análisis pseudo-estático de la presa, para lo cual se empleó un coeficiente pseudo-estático, obteniéndose así los factores de seguridad.

5.1 SECCIÓN DE ANÁLISIS

La configuración geométrica de la presa de enrocado Toromocho tiene pendientes de diseño 1.4H:1V para el talud aguas arriba, y 1.5H:1V para el talud aguas abajo de la presa de relaves. Las alturas proyectadas de la presa para cada etapa de análisis se presentan en la Tabla 5.1, dichos valores corresponden a la secciones de mayor altura, medida desde la superficie de fundación hasta la cresta de la presa.

En la Figura 5.1 se presenta el trazo en planta de la presa de enrocado y en la Figura 5.2 se observa el corte transversal de la sección de análisis, esta configuración corresponde a la Etapa 2 de la presa de enrocado.

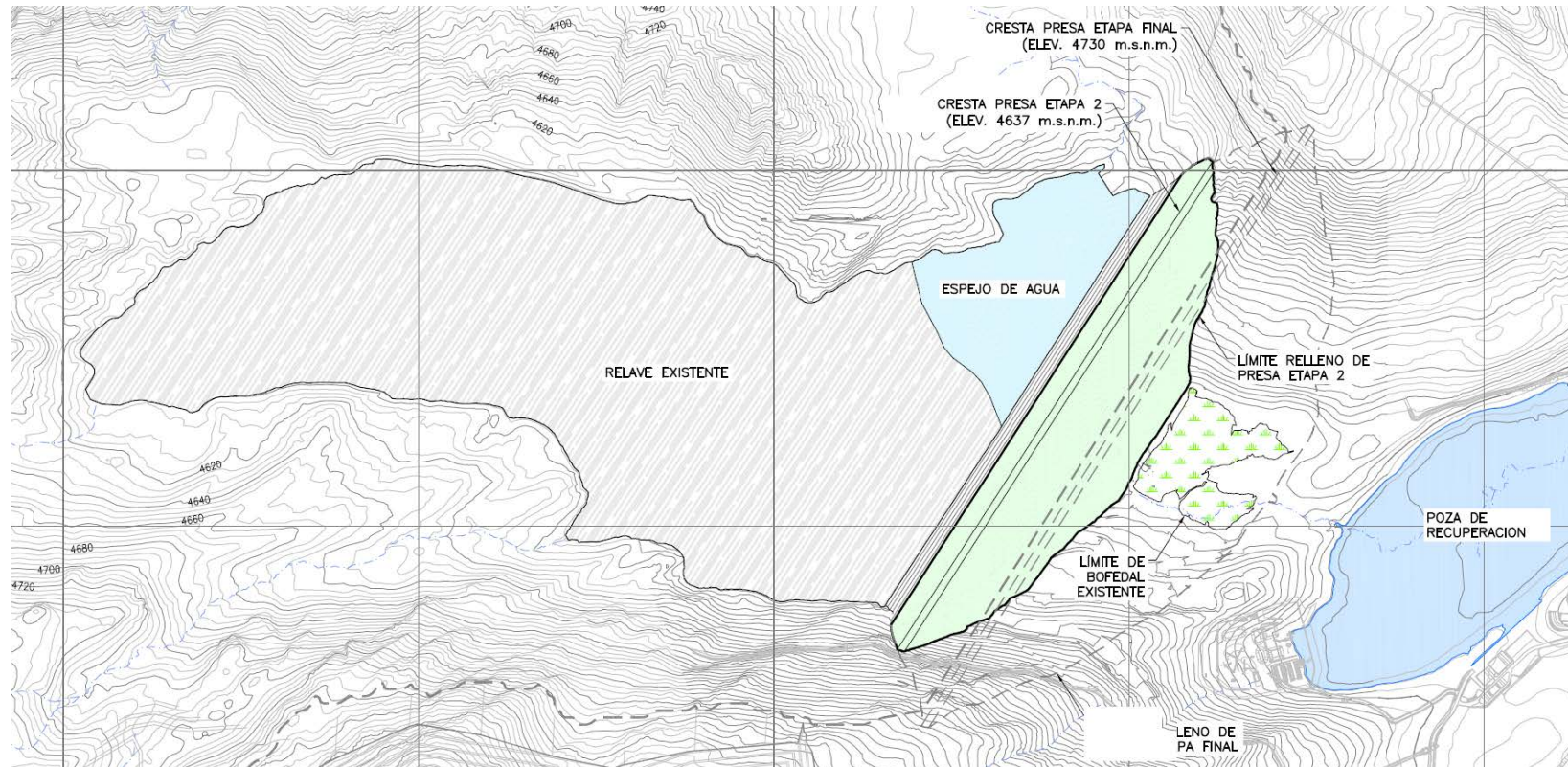


Figura 5.1 Vista en planta de la disposición de relaves de la presa Toromocho

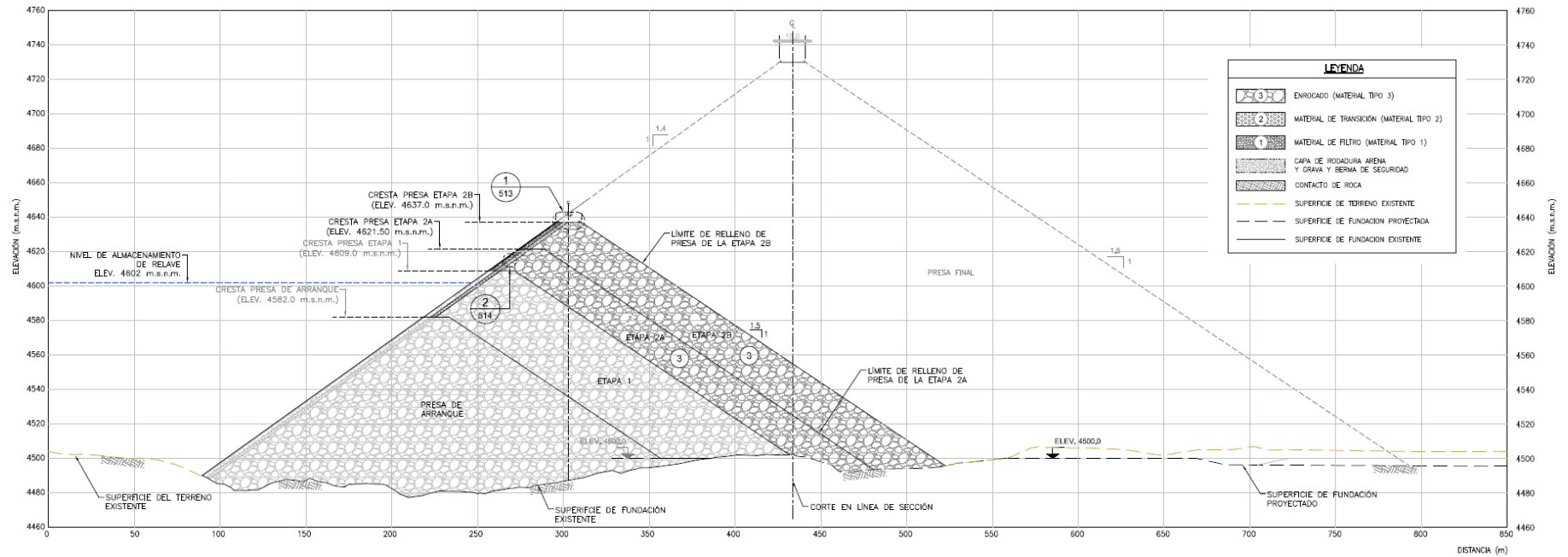


Figura 5.2 Sección transversal típica de la presa de enrocado Toromocho

5.2 CONDICIONES DE ANÁLISIS

Las características geométricas así como los niveles de construcción de la presa de enrocado se muestran en la Tabla 5.1. La información referente al monitoreo geotécnico de la presa de enrocado para la etapa 2, la cual consiste en el registro de niveles piezómetros dentro de la presa se presentan en la Tabla 5.2. Los niveles freáticos aguas arriba y aguas abajo fueron empleados en el modelo de filtraciones como condiciones de contorno. Los niveles de agua registrados en los piezómetros PE11-05 y PE11-06 (ubicados dentro del enrocado) y PE11-08, PE11-09 (ubicados en el basamento rocoso) serán empleados para verificar los resultados del modelo de filtraciones de la presa de enrocado.

Tabla 5.1: Geometría de la presa de enrocado Toromocho

Característica	Presa Arranque	Etap 2	Etap Final
Altura (sección de análisis)	94.0 m	142.8 m	235.0 m
Longitud	780.5 m	850.5 m	985.5 m
Ancho de cresta	15.0 m	15.0 m	15.0 m
Talud aguas arriba	1V:1.4H	1V:1.4H	1V:1.4H
Talud aguas abajo	1V:1.5H	1V:1.5H	1V:1.5H
Cota nivel de cresta (m s.n.m.)	4 582.0	4 637.0	4 730.0
Cota nivel de relave (m s.n.m.)	4 572.0	4 627.0	4 720.0

Tabla 5.2: Lecturas de piezómetros instalados en la presa (Etap 2)

Piezómetro	Cota de Instalación	Nivel registrado (m s.n.m.)
Piezómetro PE11-05	Enrocado (Cota: 4 490 m s.n.m.)	4 501,19
Piezómetro PE11-06	Basamento rocoso (Cota: 4 470 m s.n.m.)	4 498,50
Piezómetro PE11-08	Enrocado (Cota: 4 495 m s.n.m.)	4 494,56
Piezómetro PE11-09	Basamento rocoso (Cota: 4 465 m s.n.m.)	4 494,02

5.3 ANÁLISIS DE FILTRACIONES

El análisis de filtraciones para cada etapa analizada se realizó mediante el programa Seep/W v.12, para lo cual se desarrollaron modelos bidimensionales de elementos finitos en condiciones de carga estacionaria, en estos modelos se

emplearon permeabilidades en condiciones saturadas para los materiales que componen la presa, el basamento rocoso y el relave.

Para el análisis se consideró la geometría de la presa mostrada en la Figura 5.2, así como los valores presentados en la Tabla 5-1. Los parámetros de conductividad hidráulica de los materiales que componen la presa de enrocado están resumidos en la Tabla 4-13.

A continuación se presenta el resultado de los análisis de filtraciones para cada etapa de estudio (Figuras 5.3, 5.4 y 5.5), donde se puede observar el nivel freático alcanzado a través del cuerpo de la presa de enrocado. El curb de concreto muestra un buen desempeño ya que impermeabiliza la cara aguas arriba de la presa, deprimiendo así la carga de agua. Si realizamos una comparación del registro de lecturas piezométricas para la etapa 2 (Tabla 5-2) con el nivel freático alcanzado en el modelo de filtraciones (Figura 5.4), se observa una ligera diferencia, sin embargo estas diferencias están dentro del rango tolerable de precisión.

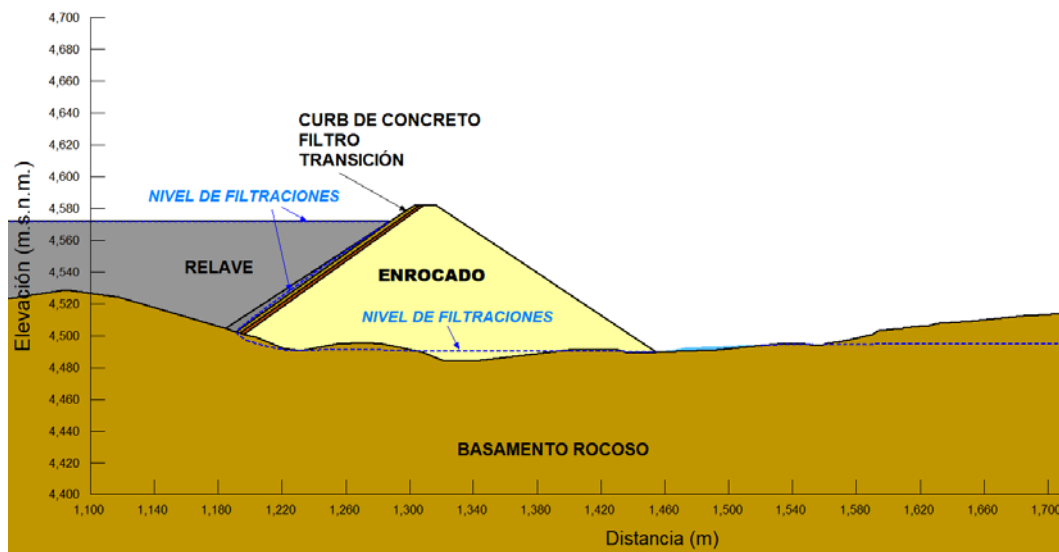


Figura 5.3 Resultado del análisis de filtraciones - Presa de Arranque

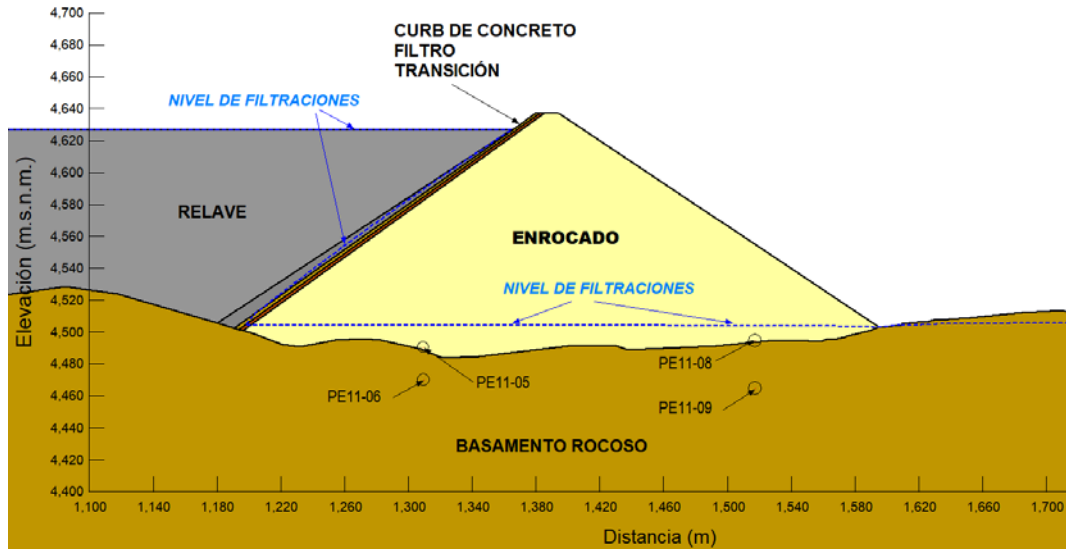


Figura 5.4 Resultado del análisis de filtraciones de la presa – Etapa 2

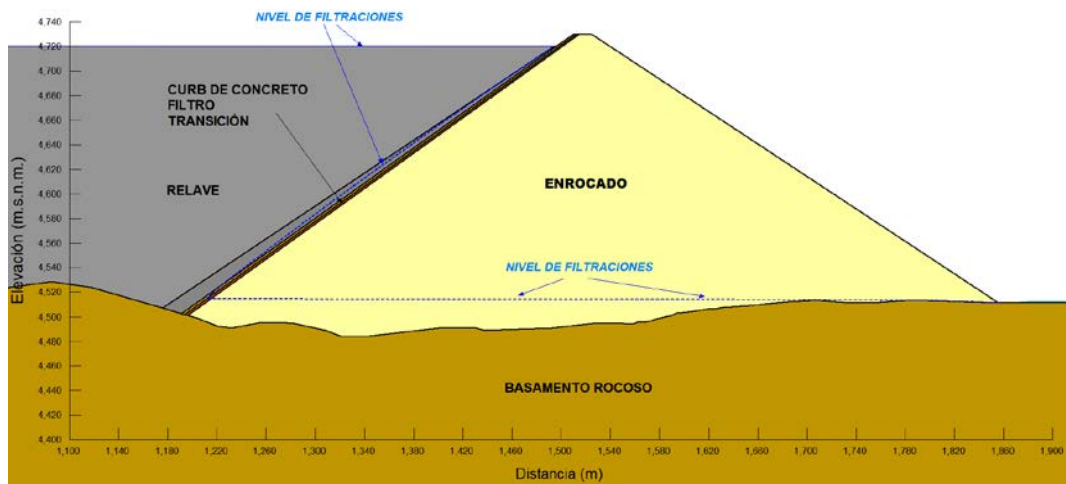


Figura 5.5 Resultado del análisis de filtraciones de la presa – Etapa Final

Las líneas equipotenciales de caída de carga total, así como las líneas de caída de carga piezométrica para cada etapa analizada se muestran a detalle en el Anexo A.

5.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD ESTÁTICO Y PSEUDO-ESTÁTICO

El análisis de estabilidad de taludes se realizó empleando el programa computacional Slope/W (GeoStudio v.12) mediante el método de Spencer (Spencer, 1967); este programa nos permite encontrar superficies de falla de

forma circular, bloque o compuestas. En el presente análisis se estudiaron superficies de falla circular.

Los factores de seguridad (FS) mínimos requeridos para condiciones de largo plazo se presentan en la Tabla 5.3, estos valores son aceptados para los análisis de estabilidad por métodos de equilibrio límite (estático y pseudo-estático) y son recomendaciones de “Lineamientos de Seguridad en Presas” (Dam Safety Guidelines, 2013) de la Asociación Canadiense de Presas (CDA).

Tabla 5.3: Factores de Seguridad Mínimo Requerido

Factor de Seguridad	Criterio	Fuente
Factor de seguridad estático	1.5	CDA (2013)
Factor de seguridad pseudo-estático	1.0	

En los análisis de estabilidad para cada etapa se emplearon como condiciones de entrada las presiones de poro obtenida en los análisis de filtraciones.

5.4.1 Coeficiente Sísmico

La presa de enrocado Toromocho se encuentra ubicada dentro de una región de peligro sísmico entre moderado y alto. El Sismo Máximo Creíble (MCE, siglas en inglés) desarrolla PGAs en el rango de 0,24 g a 0,43 g generado por un sismo de magnitud $M_w=8,0$ localizado a 100 km debajo del sitio del proyecto. Se tomó una aceleración máxima de diseño sísmico de 0,43 g correspondiente al MCE.

Las condiciones de carga sísmica se aplicaron mediante el método pseudo-estático, este método es de práctica común cuando se aplica cargas sísmicas equivalentes en presas. Es habitual tomar solo una fracción de la máxima aceleración de diseño previsto cuando se modelan eventos sísmicos usando análisis pseudo-estáticos, esta fracción varía entre 1/2 y 2/3.

El coeficiente sísmico asumido es 0.215 y corresponde al 50% de la aceleración máxima del terreno (PGA), (Hynes-Griffin & Franklin, 1984).

5.4.2 Resultados

En la Tabla 5.4 se presentan los resultados obtenidos de los análisis de estabilidad para cada etapa analizada, en condición estática y pseudo-estática.

Para estos análisis se ha considerado la posición del nivel freático en el cuerpo de la presa, obtenido de los análisis de filtraciones. En el Anexo A se presenta con mayor detalle los resultados de los análisis de estabilidad para cada etapa analizada.

Tabla 5.4: Factores de Seguridad obtenidos del Análisis de Estabilidad

Tipo de Falla	Etapa	Altura (m)	Factor de Seguridad	
			Estático	Pseudo-estático
Circular	Presa de Arranque	94.0	1.83	1.23
	Etapa 2	142.8	1.77	1.19
	Etapa Final	235.0	1.69	1.13

Los factores de seguridad obtenidos (Tabla 5.4) son mayores a los factores mínimos requeridos según recomendaciones de la CDA (Tabla 5.3). Estos resultados indican que la presa de enrocado Toromocho es considerada estable para las condiciones analizadas.

CONCLUSIONES

La envolvente lineal de resistencia al corte en materiales granulares es aplicable cuando el nivel de esfuerzos es relativamente bajo, más no cuando el nivel de esfuerzos es alto, ya que el material presenta un comportamiento no lineal.

La rotura de partículas en el material de enrocado ocurre cuando es sometido a grandes esfuerzos de confinamiento, este hecho origina un decremento del ángulo de fricción interna, así como la disminución de su resistencia cortante.

La metodología de escalamiento de muestras con curvas homotéticas en materiales granulares nos permite representar la muestra original en laboratorio, para obtener de modo más representativo las propiedades y parámetros de resistencia.

El material de enrocado sometido a tensiones normales mayores a 700 kPa, presenta una resistencia cercana a la curva de ensayos definida por Leps (1970) para enrocados de resistencia promedio, tal como se puede apreciar en la Figura 4.11.

El material de enrocado de la presa Toromocho es de tipo caliza, y presenta un comportamiento no lineal cuando es sometido a grandes esfuerzos de confinamiento, tal como se aprecia en la Figura 4.12.

El nivel freático dentro del cuerpo de la presa obtenido de los análisis de filtraciones pasa por la parte más baja de la presa, lo cual indica un buen desempeño del curb de concreto (concreto extruido colocado en la cara aguas arriba de la presa) y el material de filtro.

Las líneas de carga hidráulica total y presión de poros de la presa de enrocado indican que el material de enrocado opera en condiciones no saturadas, asegurándose así la funcionabilidad de la presa de enrocado tipo CFRD, tal como se puede apreciar en el Anexo A, Figuras 1 al 6.

Los factores de seguridad obtenidos de los análisis de estabilidad son mayores a los mínimos requeridos según recomendaciones de la CDA, por lo que la presa de enrocado Toromocho se considera estable bajo las condiciones de carga analizadas.

Los análisis de estabilidad de taludes por el método de equilibrio límite de la presa de enrocado Toromocho, se realizaron tomando en cuenta la presión de poros obtenida de los análisis de infiltraciones.

El incremento de altura en la presa de enrocado, origina la disminución de los factores de seguridad debido a las grandes esfuerzos de confinamiento que se generan por el incremento de cargas.

RECOMENDACIONES

Los ensayos triaxiales a gran escala en muestras de enrocado, se deben realizar bajo esfuerzos de confinamiento bajo, medio y alto, para tener un mejor entendimiento sobre el comportamiento del enrocado sometido a diferentes grados de tensión.

Los resultados obtenidos en los análisis de filtraciones de la presa Toromocho deben ser analizados con mayor detalle en base a un modelo numérico hidrogeológico.

Dada la tendencia en aumento de la altura de las presas de enrocado tipo CFRD en estas últimas décadas, se recomienda la realización de un análisis numérico esfuerzo-deformación para representar el comportamiento de la presa.

Debido a la alta sismicidad de la zona donde se emplaza la presa, se recomienda realizar un análisis dinámico de la presa, para determinar los desplazamientos máximos que se puedan originar ante la ocurrencia de un sismo de magnitud considerable.

Es necesario implementar un monitoreo geotécnico permanente de la presa, mediante la instalación de piezómetros, celdas de presión y celdas de asentamiento, para determinar los límites de alerta y así asegurar la estabilidad de la presa de enrocado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alva Hurtado J.E e Infantes Quijano M. (1999), "Diseño Sísmico de Presas de Tierra y Enrocado", Ponencia Presentada al XII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Huánuco, Perú.

Barton, N. and Kjaernsli, B. 1981, Shear Strength of Rockfill, Norwegian Geotechnical Institute Publication No. 136.

Canadian Dam Association, CDA (2013), "Dam Safety Guidelines".

Cabrera Huaman, Jainor (2015), "Diseño Geotécnico de la Presa ITE de Grava con Pantalla (CFGD) para la Irrigación del Valle de ITE-Tacna", Tesis de Grado, UNI-FIC, Lima.

Charles, J. A. y Watts, K. S. (1980). The influence of confining pressure on the shear strength of compacted rockfill. *Geotechnique* 30, No. 4, 353-367.

Cooke, J.B., 1991. "The concrete-faced rockfill dam. *Water Power and Dam Construction*", January, pp. 11-15.

Cooke, J. B., Sherard, J. L., (1987), "Concrete face Rockfill Dam II Desing". *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, v. 113, n.10.

Contreras Bustos, Luis R. (2011), "Comportamiento Friccionante de Materiales Granulares Gruesos", Tesis de Posgrado, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Cruz, P. T., Materon, B., Freitas, F. (2009). *Concrete Face Rockfill Dams*. Sao Paulo, Brasil.

Duncan J.M. (1996). "State of The Art: Limit Equilibrium and Finite Element Analysis of Slopes", ASCE.

Fell R. et al. (2015). *Geotechnical Engineering of Dams*, 2nd Edition.

GeoStudio, 2012. *Slope/W, Seep/W*.

Hynes-Griffin, M. E., and Franklin, A. G. 1984. "Rationalizing the Seismic Coefficient Method," *Miscellaneous Paper GL-84-13*, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

Hoek E. and Brown E.T. The Hoek-Brown failure criterion - a 1988 update. In Rock Engineering for Underground Excavations, Proc. 15th Canadian Rock Mech. Symp. (Edited by Curran J.C.), 31-38. Toronto, Dept. Civil Engineering, University of Toronto. (1988).

ICOLD, 2004. Concrete Face Rockfill Dams – Concepts for Design and Construction.

Leps T. M., 1970 - "Review of Shearing Strength of Rockfill" - Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Vol. 96, pp. 1159-1170.

Nieto Gamboa, Cristian J. (2011), Mechanical behavior of rockfill materials - Application to concrete face rockfill dams. Other. Ecole Centrale Paris.

Norabuena, E., Dixon, T., Stein S. y Harrison, C. (1999). Decelerating Nazca_south America and Nazca-Pacific plate motions. Geophys. Res. Lett. 26, 3405-3408.

Saboya JR. y Byrne (1991). Parameters for stress and deformation analysis of rockfill dams. Department of Civil Engineering, the University of British Columbia.

Shi, J., B. Zhu, and C. Liang (2000). Characteristic and experience of the design, construction and performance of tsq-1 concrete faced rockfill dam. In CFRD 2000 - Proceedings of the International Symposium on Concrete Faced Rockfill Dams, pp. 97–105. ICOLD.

Slope Stability, Engineer Manual, Engineering and Design, US Army Corps of Engineers, EM_1110-2-1902, 31 Oct 2003

Spencer, E. 1967. "A Method of Analysis of the Stability of Embankments Assuming Parallel Interslice Forces". Geotechnique, London.

Tavera, H. y Buforn, E. (2001). Source mechanism of earthquakes in Perú. Journal of Seismology, 5, 519-540.

Tello Barbaran, Roberto (2001), "Análisis de Esfuerzo – Deformación en Presas de Tierra y Enrocado", Tesis de Grado, UNI-FIC, Perú.

United States Society on Dams (2014), Observed Performance of Dams During Earthquakes, Volume III, February, 2014.

Verdugo, R. De la Hoz, K. 2006, Caracterización geomecánica de suelos granulares gruesos. Rev. Int. De Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Vol. 6(2):199-213.

ANEXOS Y PLANOS

ANEXO A

ANALISIS DE ESTABILIDAD

Anexo A.1. Análisis de Filtraciones

Figura 1: Presa de Arranque – Carga Total de Agua

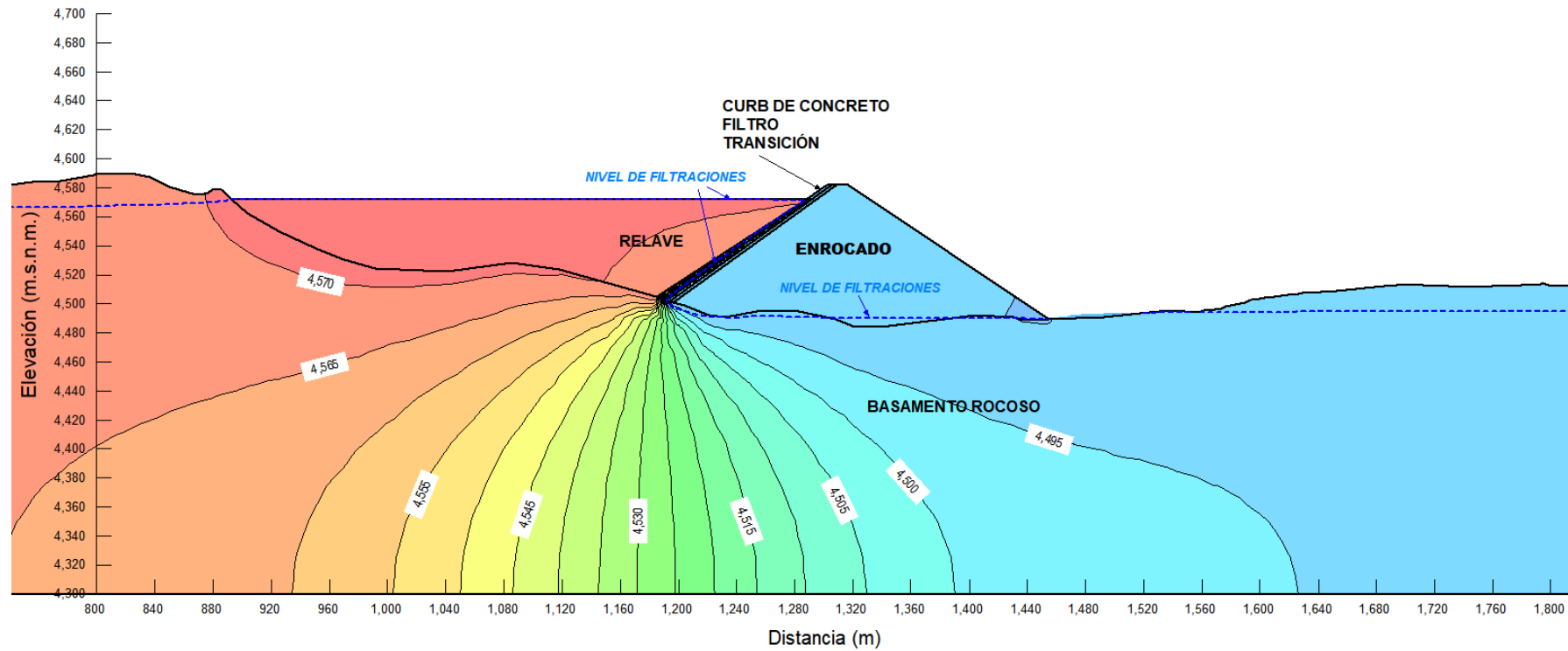


Figura 2: Presa de Arranque – Presión de Poros

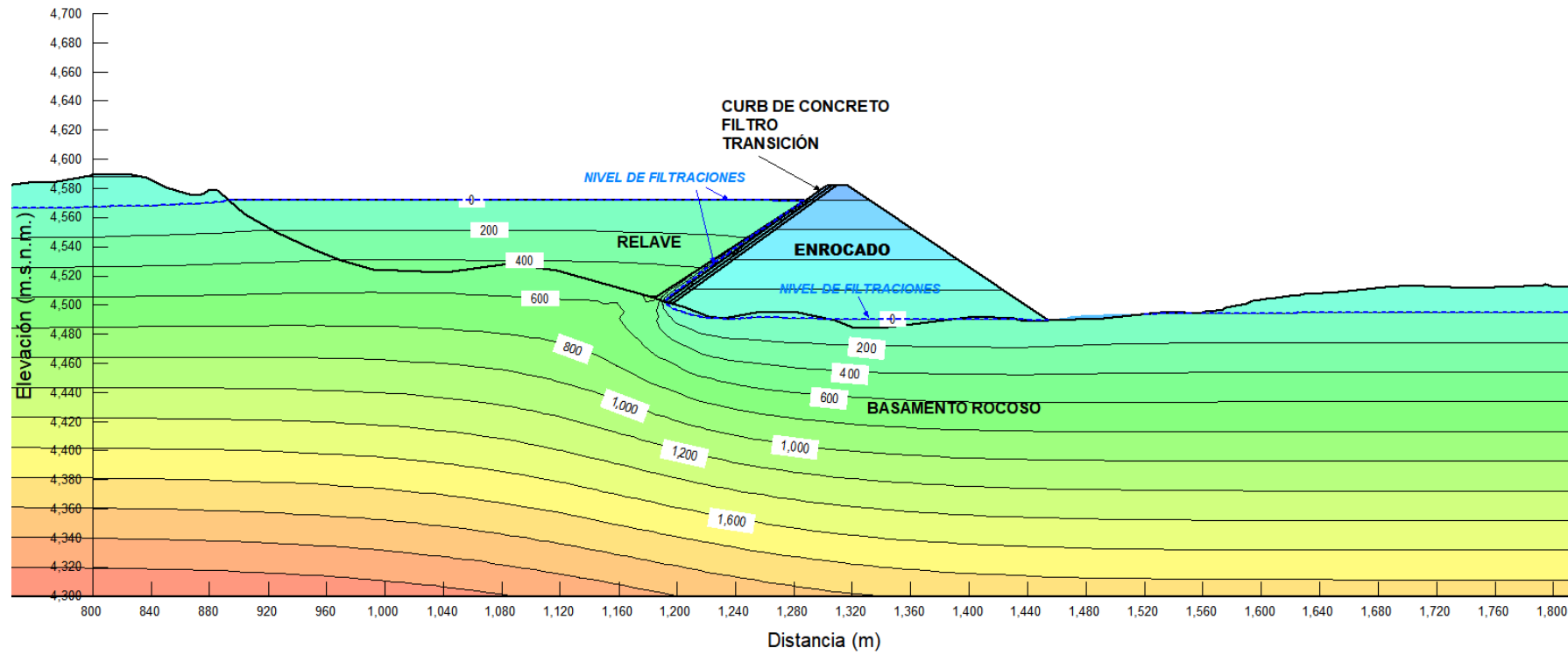


Figura 3: Etapa 2 – Carga Total de Agua

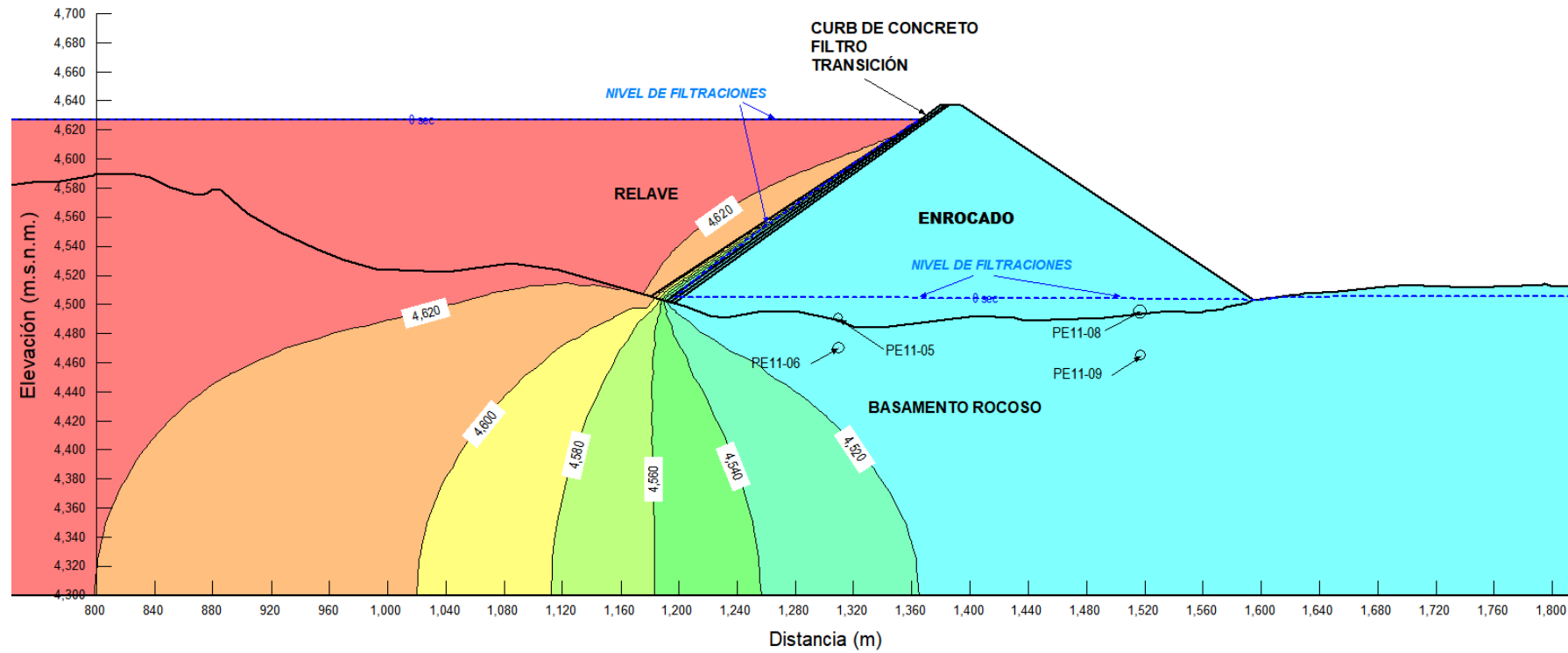


Figura 4: Etapa 2 – Presión de Poros

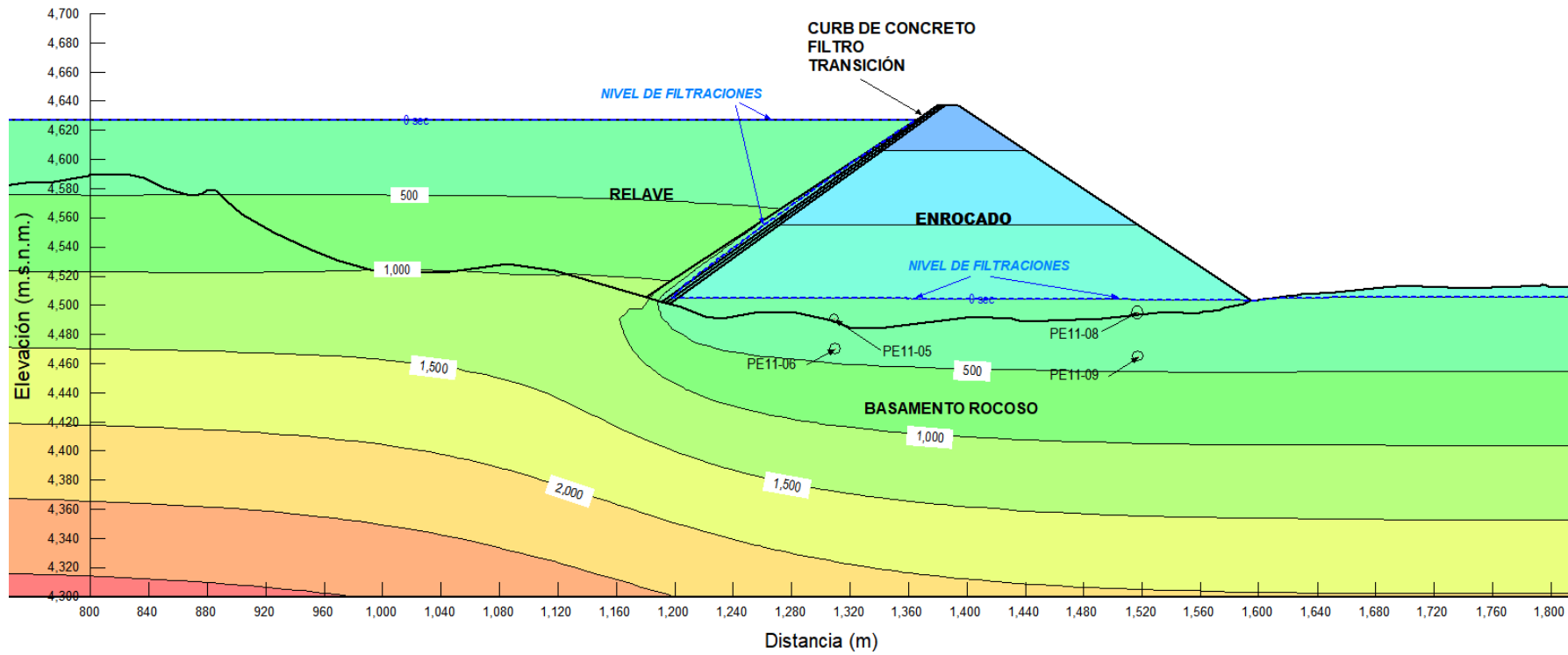


Figura 5: Etapa Final – Carga Total de Agua

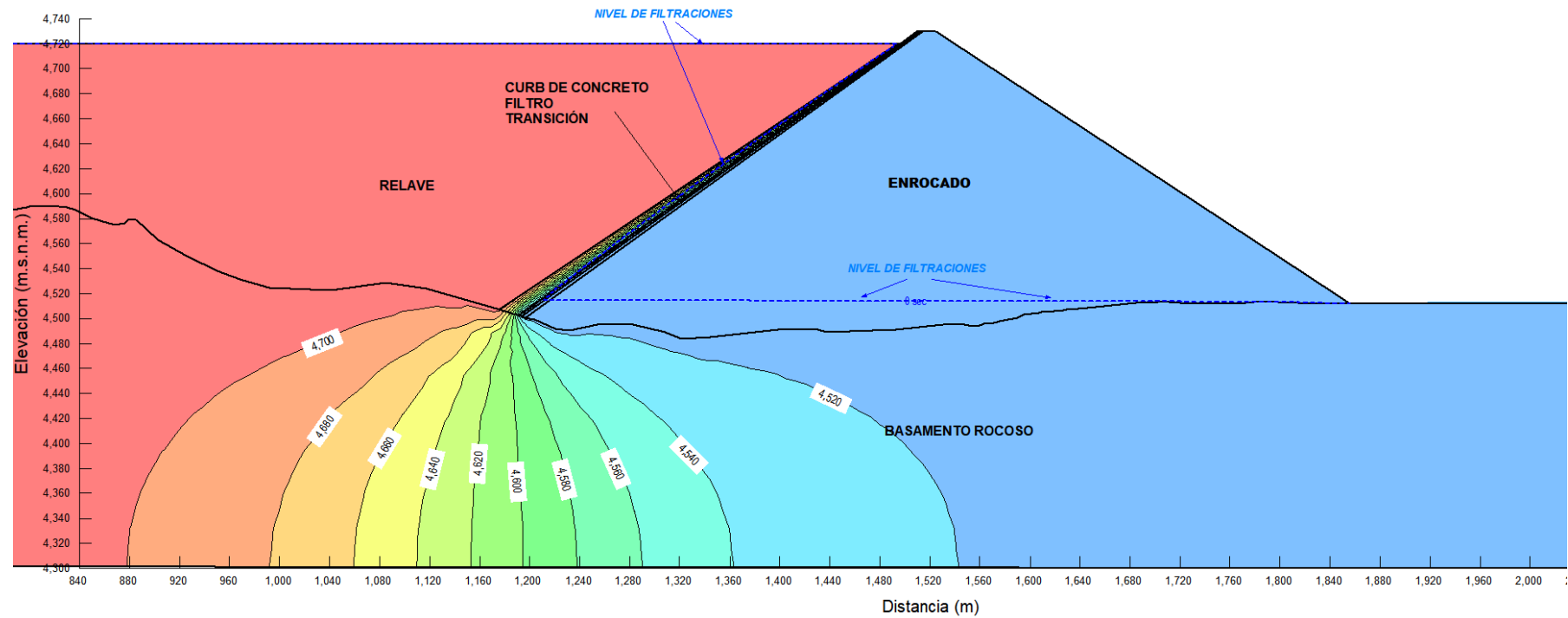
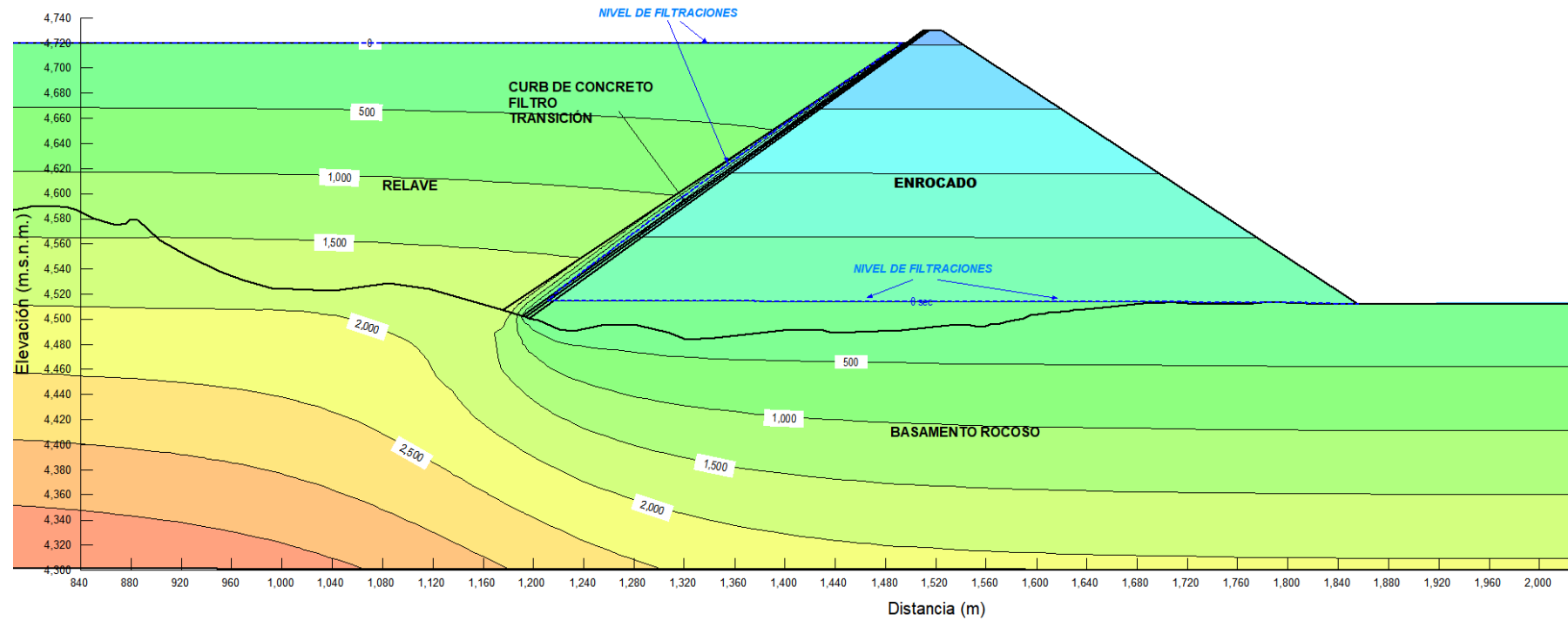


Figura 6: Etapa Final – Presión de Poros



Anexo A.2. Análisis de Estabilidad de Taludes

Figura 7: Presa de Arranque – Análisis Estático

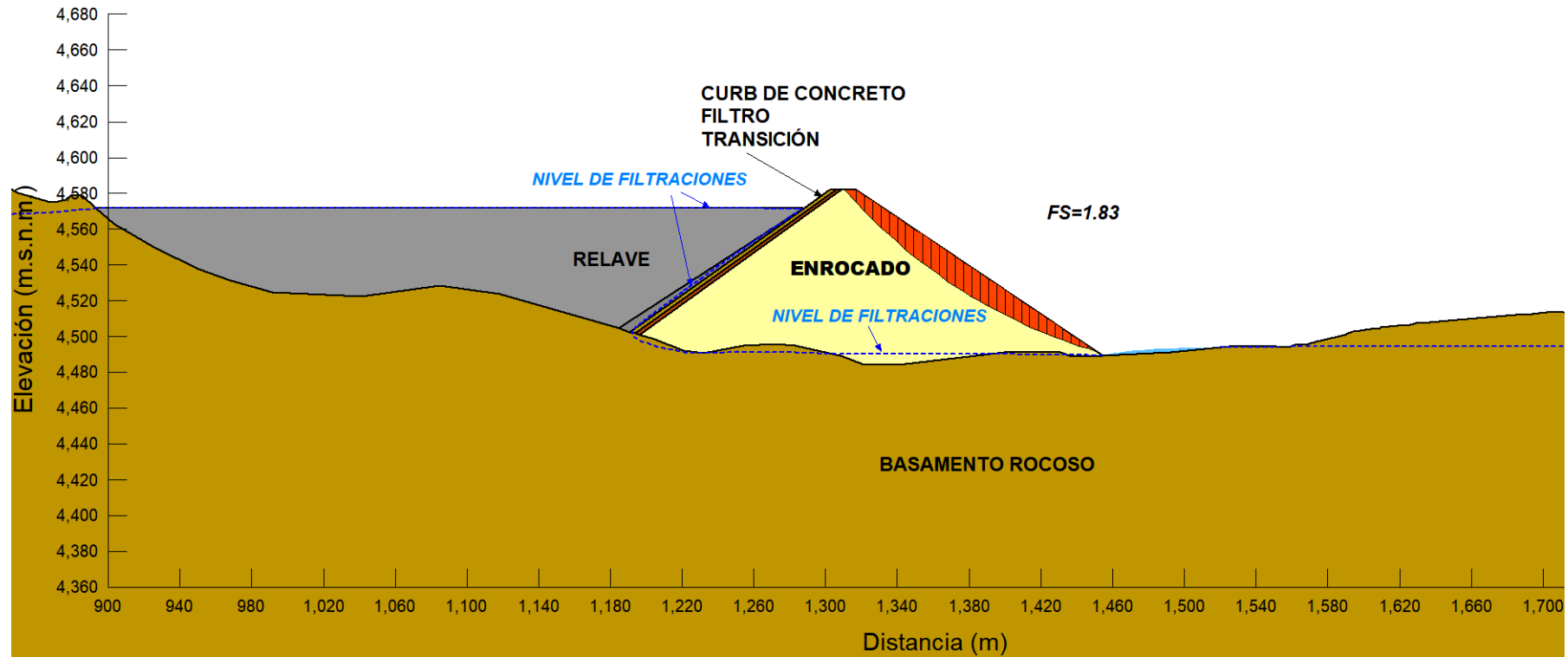


Figura 8: Presa de Arranque – Análisis Pseudo-Estático

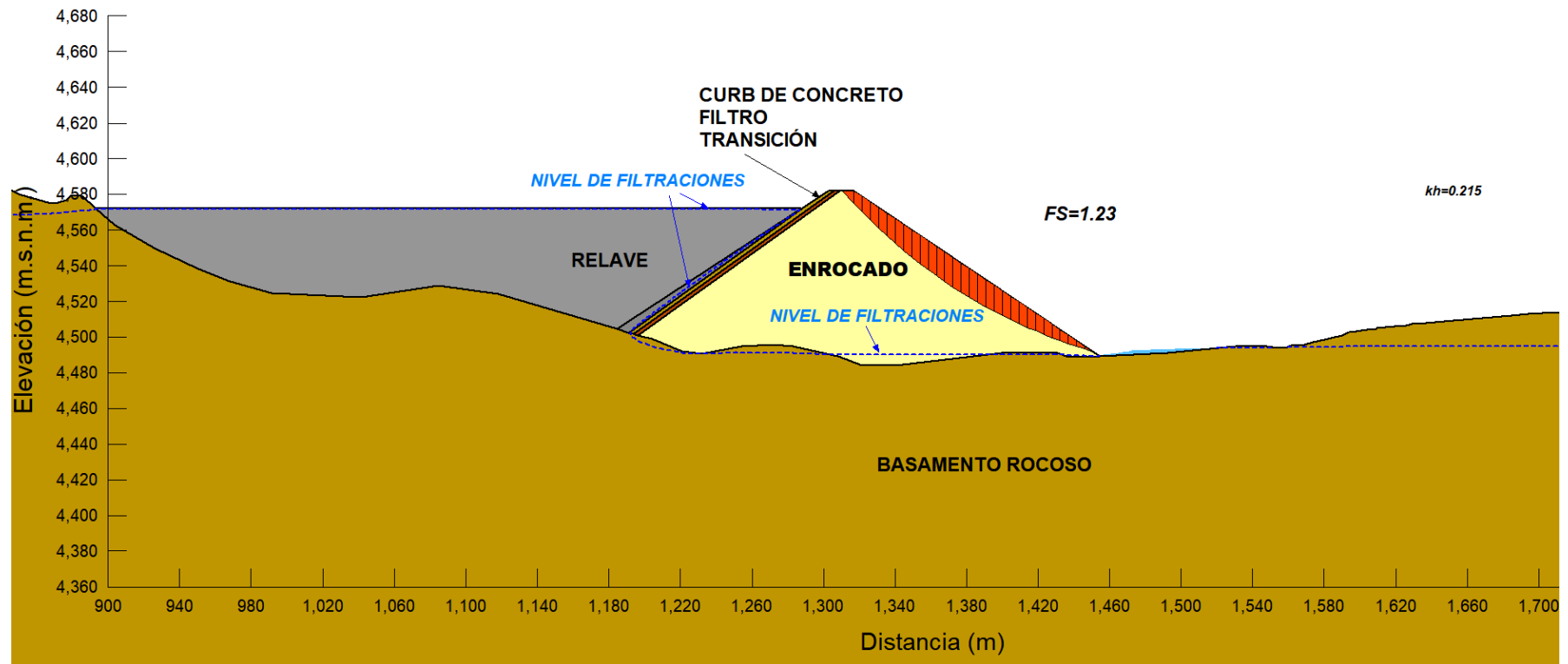


Figura 9: Etapa 2 – Análisis Estático

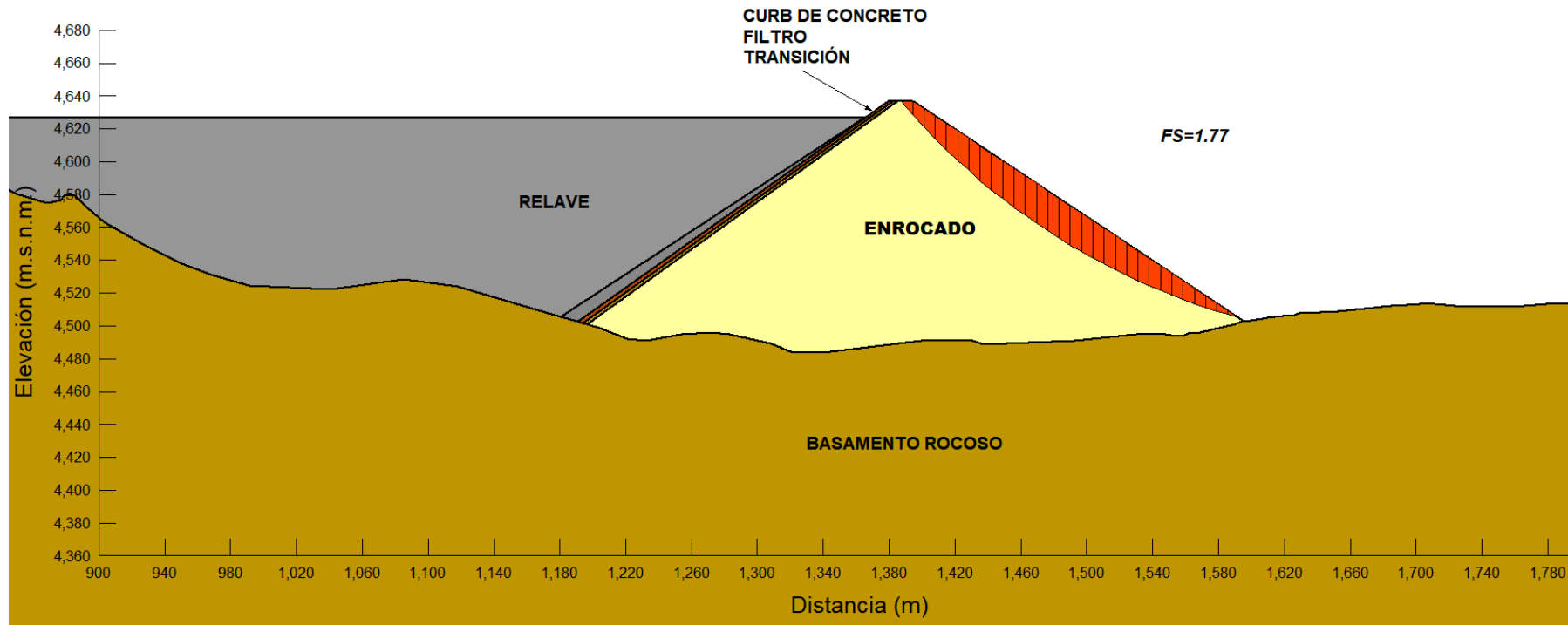


Figura 10: Etapa 2 – Análisis Pseudo-Estático

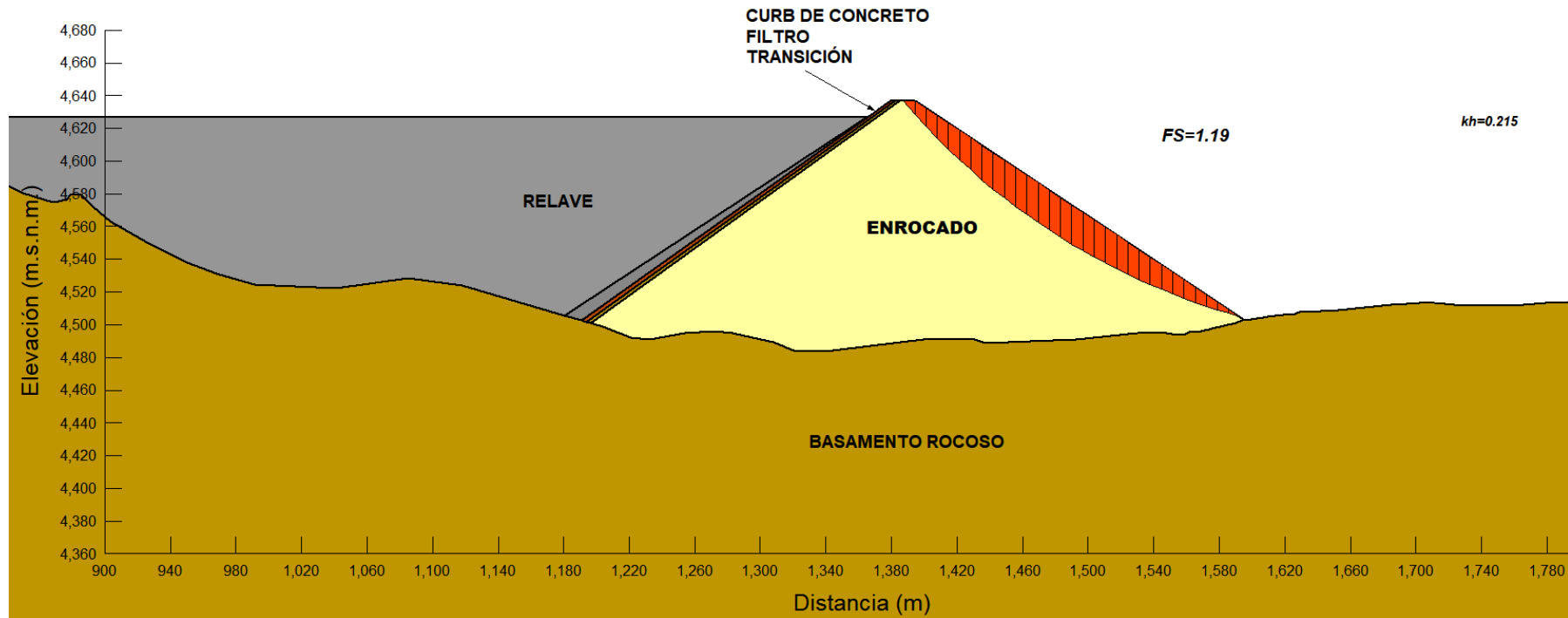


Figura 11: Etapa Final – Análisis Estático

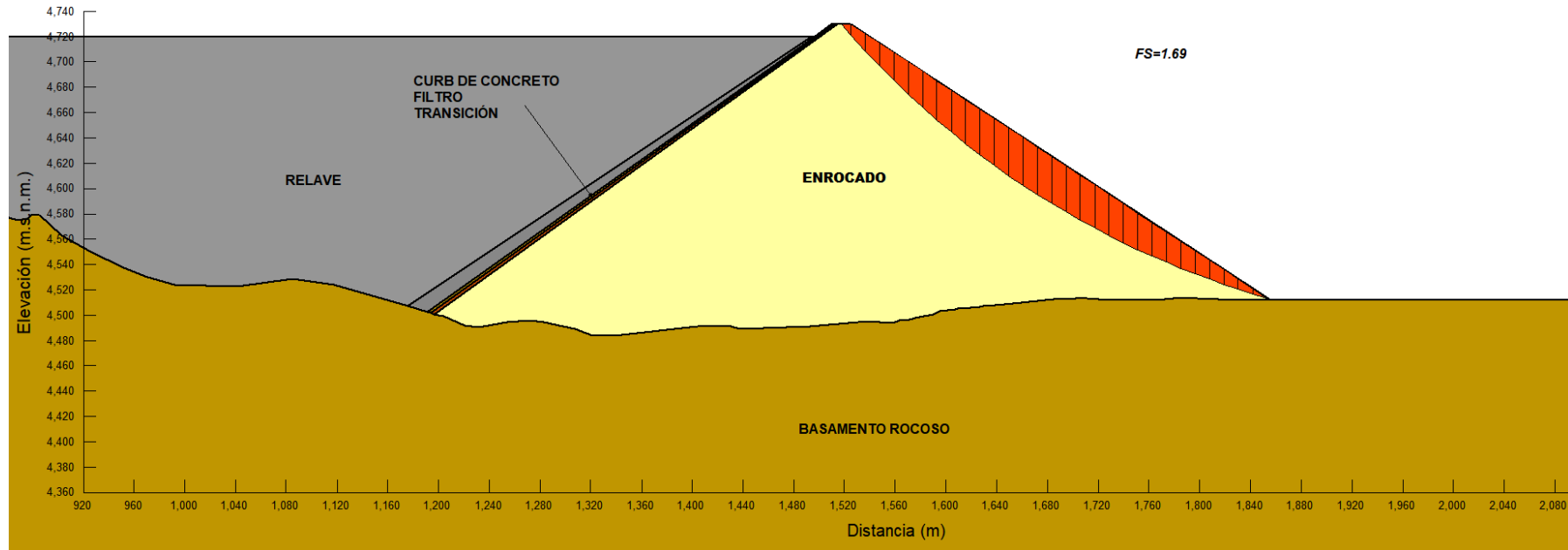
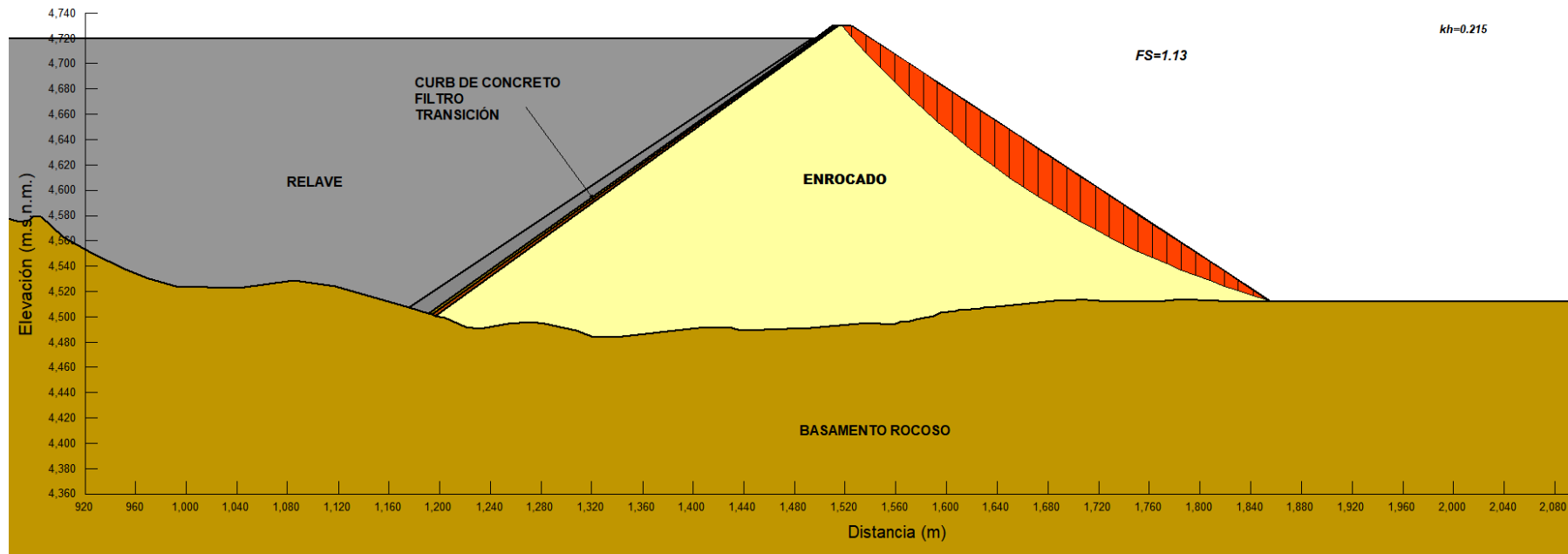


Figura 12: Etapa Final – Análisis Pseudo-Estático



ANEXO B

ENSAYOS DE LABORATORIO

INFORME ENSAYO TRIAXIAL CID

Proyecto	TRIAXIALES GIGANTES
Inf.Ensaye	Nº 1.068.992-A
Orden de Trabajo	82-000005-15-00
Fecha de Inicio	14/04/2016
Fecha de Término	15/04/2016
Muestra	MUESTRA 1
Probeta	PROBETA 1

Altura Inicial de Confección	[cm]=	59,00
Diámetro Inicial de Confección	[cm]=	30,05
Variación Volumen drenado etapa consolidación	[cm³]=	0,00
Densidad Seca de Confección	[gr/cm³]=	2,20
Humedad de Confección	[%]=	0,00
Contrapresión	[kg/cm²]=	2,00
Presión de Cámara Total	[kg/cm²]=	7,00
Velocidad Deformación Unitaria	[% / min]=	--

Observaciones:

$$q = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2$$

$$p = (\sigma_1 + \sigma_3) / 2$$

Ensaye efectuado en probeta REMOLDEADA

Deformación Unitaria [%]	Deform. Volum. %	p [kg/cm²]	q [kg/cm²]
0,00	0,00	5,00	0,00
0,10	-0,08	5,45	0,45
0,24	-0,23	5,86	0,86
0,42	-0,36	6,28	1,28
0,59	-0,50	6,69	1,69
0,75	-0,62	7,10	2,10
0,95	-0,77	7,51	2,51
1,14	-0,89	7,92	2,92
1,34	-1,03	8,34	3,34
1,60	-1,16	8,80	3,80
1,82	-1,27	9,21	4,21
2,07	-1,39	9,61	4,61
2,34	-1,51	10,02	5,02
2,63	-1,63	10,42	5,42
3,04	-1,79	10,81	5,81
3,31	-1,92	11,21	6,21
3,67	-2,05	11,60	6,60
4,16	-2,15	11,97	6,97
4,79	-2,23	12,33	7,33
5,62	-2,27	12,66	7,66
6,34	-2,18	12,99	7,99
7,30	-2,09	12,88	7,88
7,68	-2,03	13,24	8,24
8,31	-1,92	13,16	8,16
9,02	-1,81	13,08	8,08
10,09	-1,67	12,96	7,96
11,38	-1,52	12,82	7,82
12,81	-1,44	12,67	7,67
17,02	-1,14	12,58	7,58
19,98	-1,03	12,27	7,27

Nota:

La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Ensayos Geomecánicos de IDIEM.

Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.

Plaza Ercilla N°883

Informe PRELIMINAR

Página 10 de 21

INFORME ENSAYO TRIAXIAL CID

Proyecto	TRIAXIALES GIGANTES
Inf.Ensayo	Nº 1.068.992-A
Orden de Trabajo	82-000005-15-00
Fecha de Inicio	18/04/2016
Fecha de Término	20/04/2016
Muestra	MUESTRA 1
Probeta	PROBETA 2

Altura Inicial de Confección	[cm]=	59,00
Diámetro Inicial de Confección	[cm]=	30,05
Variación Volumen drenado etapa consolidación	[cm³]=	0,00
Densidad Seca de Confección	[gr/cm³]=	2,20
Humedad de Confección	[%]=	0,00
Contrapresión	[kg/cm²]=	2,00
Presión de Cámara Total	[kg/cm²]=	12,00
Velocidad Deformación Unitaria	[% / min]=	--

Observaciones:

$$q = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2$$

$$p = (\sigma_1 + \sigma_3) / 2$$

Ensayo efectuado en probeta REMOLDEADA

Deformación Unitaria [%]	Deform. Volum. %	p [kg/cm²]	q [kg/cm²]
0,00	0,00	10,00	0,00
0,07	-0,07	10,49	0,49
0,22	-0,19	11,29	1,29
0,39	-0,36	11,92	1,92
0,56	-0,49	12,54	2,54
0,73	-0,64	13,17	3,17
0,90	-0,78	13,79	3,79
1,10	-0,92	14,49	4,49
1,27	-1,06	15,11	5,11
1,44	-1,18	15,73	5,73
1,65	-1,32	16,36	6,36
1,83	-1,44	16,98	6,98
2,02	-1,55	17,60	7,60
2,21	-1,67	18,21	8,21
2,40	-1,78	18,83	8,83
2,62	-1,87	19,44	9,44
2,84	-1,98	20,05	10,05
3,07	-2,08	20,66	10,66
3,33	-2,16	21,26	11,26
3,60	-2,24	21,85	11,85
3,91	-2,34	22,44	12,44
4,28	-2,42	23,09	13,09
4,69	-2,51	23,65	13,65
5,05	-2,56	24,22	14,22
5,50	-2,59	24,76	14,76
6,03	-2,62	25,28	15,28
6,76	-2,62	25,76	15,76
8,00	-2,56	26,12	16,12
8,22	-2,54	26,67	16,67
8,78	-2,51	26,55	16,55
9,41	-2,46	26,42	16,42
9,97	-2,41	26,31	16,31
10,58	-2,35	26,18	16,18
11,70	-2,26	25,95	15,95
13,91	-2,12	26,06	16,06
16,68	-2,02	25,49	15,49
20,01	-1,87	24,81	14,81

Nota:

La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Ensayos Geomecánicos de IDIEM.

Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.

Plaza Ercilla N°883

Informe PRELIMINAR

Página 11 de 21

INFORME ENSAYO TRIAXIAL CID

Proyecto	TRIAXIALES GIGANTES
Inf.Ensaye	Nº 1.068.992-A
Orden de Trabajo	82-000005-15-00
Fecha de Inicio	20/04/2016
Fecha de Término	22/04/2016
Muestra	MUESTRA 1
Probeta	PROBETA 3

Altura Inicial de Confección	[cm]=	59,00
Diámetro Inicial de Confección	[cm]=	30,05
Variación Volumen drenado etapa consolidación	[cm³]=	0,00
Densidad Seca de Confección	[gr/cm³]=	2,20
Humedad de Confección	[%]=	0,00
Contrapresión	[kg/cm²]=	2,00
Presión de Cámara Total	[kg/cm²]=	22,00
Velocidad Deformación Unitaria	[% / min]=	--

Observaciones:

$$q = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2$$

$$p = (\sigma_1 + \sigma_3) / 2$$

Ensaye efectuado en probeta REMOLDEADA

Deformación Unitaria [%]	Deform. Volum. %	p [kg/cm²]	q [kg/cm²]
0,00	0,00	20,00	0,00
0,14	-0,10	21,36	1,36
0,27	-0,23	22,69	2,69
0,49	-0,43	24,01	4,01
0,71	-0,64	25,40	5,40
0,92	-0,83	26,73	6,73
1,14	-1,02	28,05	8,05
1,36	-1,20	29,37	9,37
1,60	-1,37	30,69	10,69
1,83	-1,52	32,00	12,00
2,07	-1,69	33,38	13,38
2,31	-1,84	34,69	14,69
2,57	-1,97	35,99	15,99
2,82	-2,10	37,29	17,29
3,09	-2,23	38,57	18,57
3,24	-2,32	39,88	19,88
3,64	-2,50	41,14	21,14
3,92	-2,62	42,48	22,48
4,26	-2,76	43,74	23,74
4,57	-2,87	44,99	24,99
4,84	-2,95	46,24	26,24
5,23	-3,02	47,45	27,45
5,95	-3,13	48,55	28,55
6,66	-3,20	49,70	29,70
7,12	-3,24	50,83	30,83
7,80	-3,24	51,86	31,86
8,05	-3,23	51,77	31,77
9,22	-3,16	52,57	32,57
10,16	-3,11	52,21	32,21
11,50	-3,02	51,69	31,69
12,74	-2,99	51,22	31,22
14,17	-2,92	50,67	30,67
15,71	-2,82	50,07	30,07
18,09	-2,68	50,27	30,27
19,57	-2,68	49,70	29,70

Nota:

La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Ensayos Geomecánicos de IDIEM.

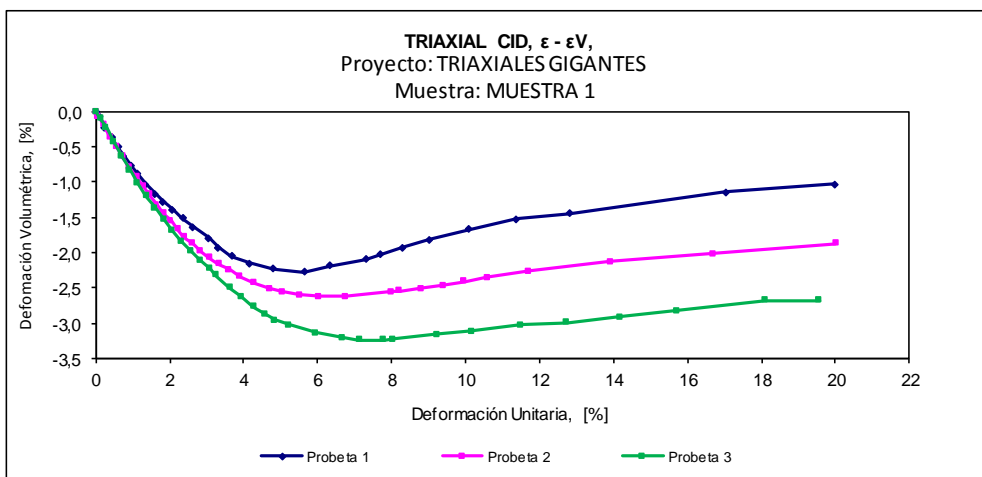
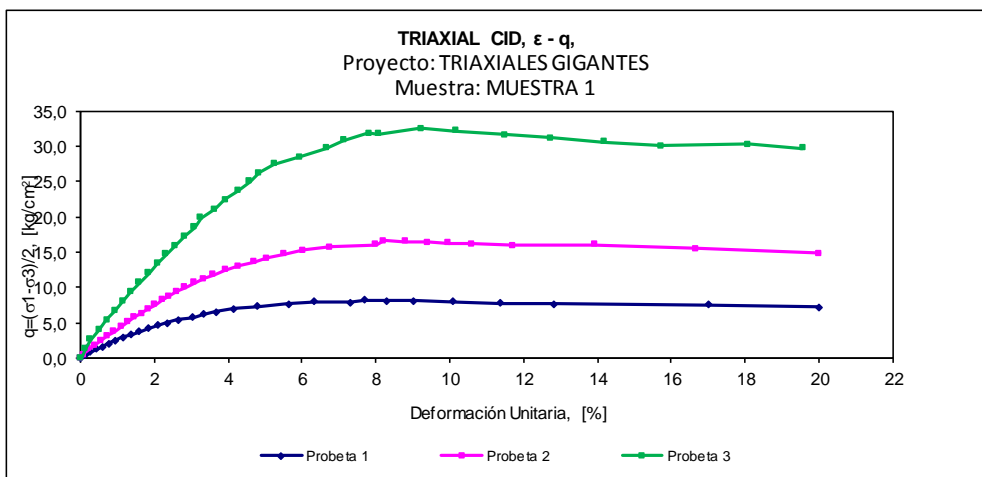
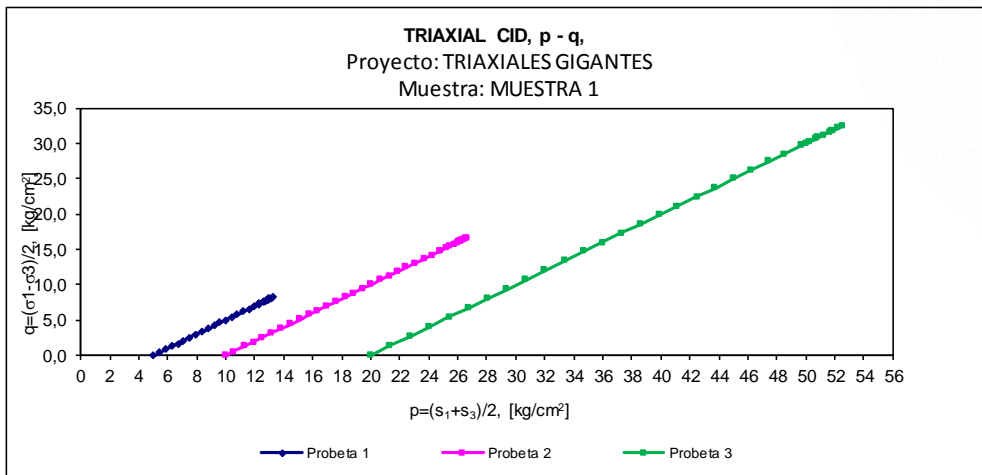
Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.

Plaza Ercilla N°883

Informe PRELIMINAR

Página 12 de 21

SLG – FOR – 153 Versión: 11



Nota:
 La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Ensayos Geomecánicos de IDIEM.
 Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.
 Plaza Ercilla N°883

Informe PRELIMINAR

Página 13 de 21

SLG - FOR - 153 Versión: 11

INFORME ENSAYO TRIAXIAL CID

Proyecto	TRIAXIALES GIGANTES
Inf. Ensayo	Nº 1.068.992-A
Orden de Trabajo	82-000005-15-00
Fecha de Inicio	28/04/2016
Fecha de Término	04/05/2016
Muestra	MUESTRA 1
Probeta	PROBETA 1

Altura Inicial de Confección	[cm]=	180,00
Diámetro Inicial de Confección	[cm]=	100,00
Variación Volumen drenado etapa consolidación	[cm³]=	30047,00
Densidad Seca de Confección	[gr/cm³]=	2,25
Humedad de Confección	[%]=	0,12
Contrapresión	[kg/cm²]=	2,00
Presión de Cámara Total	[kg/cm²]=	7,00
Velocidad Deformación Unitaria	[% / min]=	--

Observaciones:

$$q = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2$$

$$p = (\sigma_1 + \sigma_3) / 2$$

Ensayo efectuado en probeta REMOLDEADA

Deformación Unitaria [%]	Deform. Volum. %	p [kg/cm²]	q [kg/cm²]
0,00	0,00	5,00	0,00
0,15	-0,09	5,45	0,45
0,27	-0,14	5,80	0,80
0,44	-0,33	6,15	1,15
0,61	-0,54	6,50	1,50
0,77	-0,63	6,85	1,85
0,95	-0,84	7,20	2,20
1,11	-0,96	7,55	2,55
1,29	-1,07	7,90	2,90
1,47	-1,26	8,24	3,24
1,68	-1,52	8,59	3,59
1,89	-1,66	8,94	3,94
2,12	-1,85	9,29	4,29
2,37	-1,99	9,63	4,63
2,64	-2,17	9,98	4,98
2,94	-2,36	10,31	5,31
3,28	-2,52	10,65	5,65
3,61	-2,69	10,99	5,99
3,97	-2,87	11,32	6,32
4,37	-3,11	11,66	6,66
4,80	-3,22	11,98	6,98
5,34	-3,39	12,29	7,29
5,90	-3,57	12,60	7,60
6,55	-3,64	12,90	7,90
7,34	-3,81	13,18	8,18
8,19	-3,95	13,45	8,45
9,37	-3,95	13,66	8,66
11,75	-3,95	13,75	8,75
12,49	-3,88	13,99	8,99
13,13	-3,88	13,93	8,93
13,73	-3,85	13,86	8,86
14,54	-3,90	13,78	8,78
15,27	-3,85	13,70	8,70
16,37	-3,83	13,58	8,58
16,99	-3,83	13,52	8,52
18,13	-3,78	13,69	8,69
19,60	-3,81	13,53	8,53

Nota:

La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Ensayos Geomecánicos de IDIEM.

Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.

Plaza Ercilla N°883

Informe PRELIMINAR

Página 14 de 21

SLG – FOR – 153 Versión: 11

INFORME ENSAYO TRIAXIAL CID

Proyecto	TRIAXIALES GIGANTES
Inf.Ensayo	Nº 1.068.992-A
Orden de Trabajo	82-000005-15-00
Fecha de Inicio	05/05/2016
Fecha de Término	12/05/2016
Muestra	MUESTRA 1
Probeta	PROBETA 2

Altura Inicial de Confección	[cm]=	180,00
Diámetro Inicial de Confección	[cm]=	100,00
Variación Volumen drenado etapa consolidación	[cm³]=	39623,00
Densidad Seca de Confección	[gr/cm³]=	2,25
Humedad de Confección	[%]=	0,12
Contrapresión	[kg/cm²]=	2,00
Presión de Cámara Total	[kg/cm²]=	12,00
Velocidad Deformación Unitaria	[% / min]=	--

Observaciones:

$$q = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2$$

$$p = (\sigma_1 + \sigma_3) / 2$$

Ensayo efectuado en probeta REMOLDEADA

Deformación Unitaria [%]	Deform. Volum. %	p [kg/cm²]	q [kg/cm²]
0,00	0,00	10,00	0,00
0,09	-0,08	11,11	1,11
0,31	-0,28	11,72	1,72
0,57	-0,36	12,59	2,59
0,81	-0,90	13,22	3,22
1,06	-1,04	13,83	3,83
1,30	-1,23	14,44	4,44
1,58	-1,51	15,06	5,06
1,82	-1,63	15,66	5,66
2,08	-1,88	16,28	6,28
2,37	-2,13	17,54	7,54
2,61	-2,30	18,15	8,15
2,92	-2,49	18,75	8,75
3,19	-2,69	19,36	9,36
3,49	-2,89	19,96	9,96
3,87	-3,08	20,55	10,55
4,24	-3,28	21,14	11,14
4,56	-3,42	21,73	11,73
4,88	-3,59	22,32	12,32
5,27	-3,73	22,89	12,89
5,65	-3,90	23,47	13,47
5,96	-4,01	24,04	14,04
6,50	-4,09	24,58	14,58
6,92	-4,29	25,14	15,14
7,44	-4,37	25,67	15,67
7,99	-4,54	26,19	16,19
8,97	-4,68	26,01	16,01
9,16	-4,68	25,95	15,95
10,09	-4,76	25,80	15,80
11,37	-4,82	26,15	16,15
11,67	-4,88	26,11	16,11
13,66	-4,85	26,29	16,29
14,42	-4,96	26,72	16,72
14,93	-4,96	26,62	16,62
15,48	-4,93	26,51	16,51
16,39	-4,96	26,33	16,33
17,23	-4,99	26,17	16,17
17,44	-5,04	26,68	16,68
18,56	-5,07	26,45	16,45
19,26	-5,07	26,31	16,31

Nota:

La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Ensayos Geomecánicos de IDIEM.

Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.

Plaza Ercilla N°883

Informe PRELIMINAR

Página 15 de 21

SLG – FOR – 153 Versión: 11

INFORME ENSAYO TRIAXIAL CID

Proyecto	TRIA XIA LES GIGANTES
Inf.Ensaye	Nº 1.068.992-A
Orden de Trabajo	82-000005-15-00
Fecha de Inicio	12/05/2016
Fecha de Término	30/05/2016
Muestra	MUESTRA 1
Probeta	PROBETA 3

Altura Inicial de Confección	[cm]=	180,00
Diámetro Inicial de Confección	[cm]=	100,00
Variación Volumen drenado etapa consolidación	[cm³]=	72642,00
Densidad Seca de Confección	[gr/cm³]=	2,25
Humedad de Confección	[%]=	0,12
Contrapresión	[kg/cm²]=	2,00
Presión de Cámara Total	[kg/cm²]=	22,00
Velocidad Deformación Unitaria	[% / min]=	--

Observaciones:

$$q = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2$$

$$p = (\sigma_1 + \sigma_3) / 2$$

Ensaye efectuado en probeta REMOLDEADA

Deformación Unitaria [%]	Deform. Volum. %	p [kg/cm²]	q [kg/cm²]
0,00	0,00	20,00	0,00
0,33	-0,08	22,99	2,99
0,77	-0,59	25,23	5,23
1,16	-1,18	26,49	6,49
1,73	-2,02	30,41	10,41
2,01	-2,37	31,69	11,69
2,39	-2,52	34,24	14,24
2,69	-2,79	35,49	15,49
3,00	-2,86	36,70	16,70
3,31	-3,13	37,94	17,94
3,64	-3,46	39,20	19,20
4,00	-3,54	40,32	20,32
4,21	-3,61	40,29	20,29
4,55	-3,76	41,50	21,50
4,88	-4,04	42,74	22,74
5,18	-4,25	43,96	23,96
5,51	-4,46	45,17	25,17
5,75	-4,62	46,39	26,39
6,17	-4,79	47,56	27,56
6,46	-4,88	48,73	28,73
6,66	-5,00	48,71	28,71
7,18	-5,26	49,21	29,21
7,77	-5,47	50,31	30,31
8,19	-5,55	51,43	31,43
8,54	-5,63	51,34	31,34
9,24	-5,76	52,35	32,35
9,44	-5,80	52,30	32,30
10,04	-5,80	53,28	33,28
10,56	-5,97	53,15	33,15
11,21	-5,97	53,46	33,46
11,31	-6,01	53,44	33,44
13,02	-6,10	53,99	33,99
13,63	-6,14	53,76	33,76
14,44	-6,18	53,46	33,46
15,27	-6,31	53,18	33,18
15,57	-6,31	53,06	33,06
17,60	-6,43	53,24	33,24
17,93	-6,52	53,14	33,14
18,55	-6,60	52,92	32,92
19,70	-6,73	52,50	32,50

Nota:

La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Ensayos Geomecánicos de IDIEM.

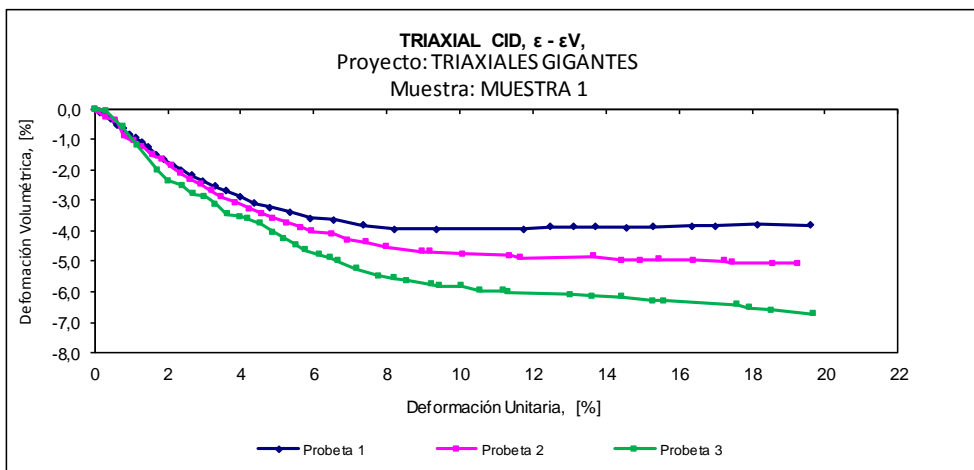
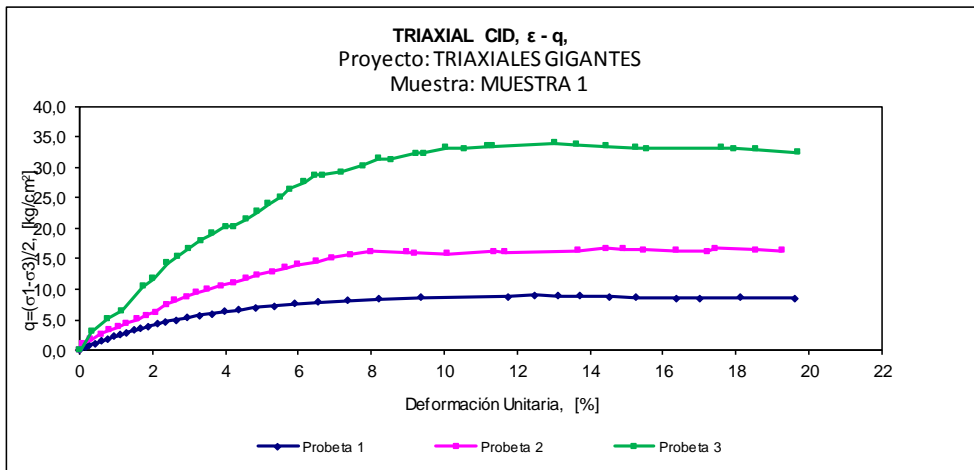
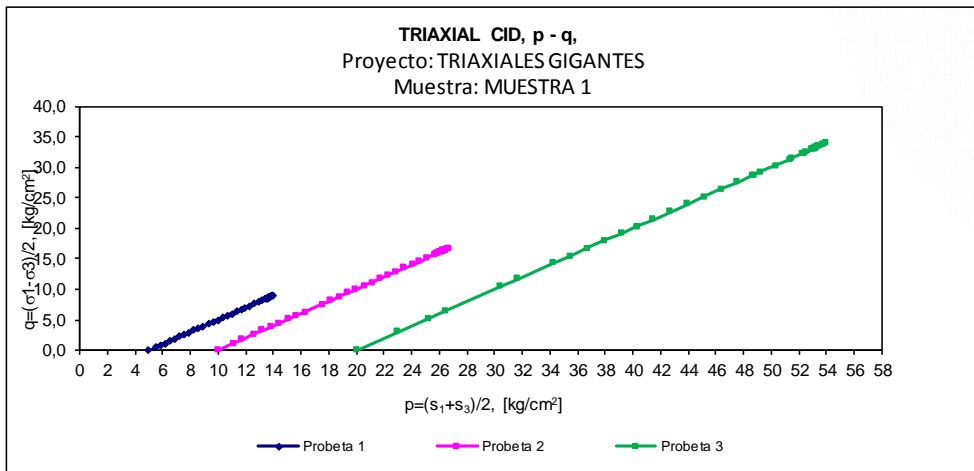
Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.

Plaza Ercilla N°883

Informe PRELIMINAR

Página 16 de 21

SLG – FOR – 153 Versión: 11



Nota:

La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Ensayos Geomecánicos de IDIEM. Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.

Plaza Ercilla N°883

Informe PRELIMINAR

Página 17 de 21

Nombre del Proyecto:	181359 - Ingeniería de registro	
Cliente:	AMEC FOSTER WHEELER PERU S.A.	
Nº de muestra / Prof. (m):	Material 1	Nº Informe Lab : AP-029-16E
Descripción / Zona:	Presa de Relaves Toromocho	Nº de Proyecto: 101104-02
Solicitado por:	Carlos Guerra	Fecha: 14-mar-16
Ubicación:	Tunshuruco, Proyecto Toromocho, Junín, Perú.	

Partículas >3" (%) : ---

Grava (%) : 53,4

Arena (%) : 40,2

Limos y Arcillas (%) : 6,4

Límites de Atterberg:

LL (%) : NP

LP (%) : NP

IP (%) : NP

Humedad (%) : 0,7

Clasificación SUCS : GP-GM

Grava pobremente gradada con limo y arena

D10 : 0,26

D30: 1,55

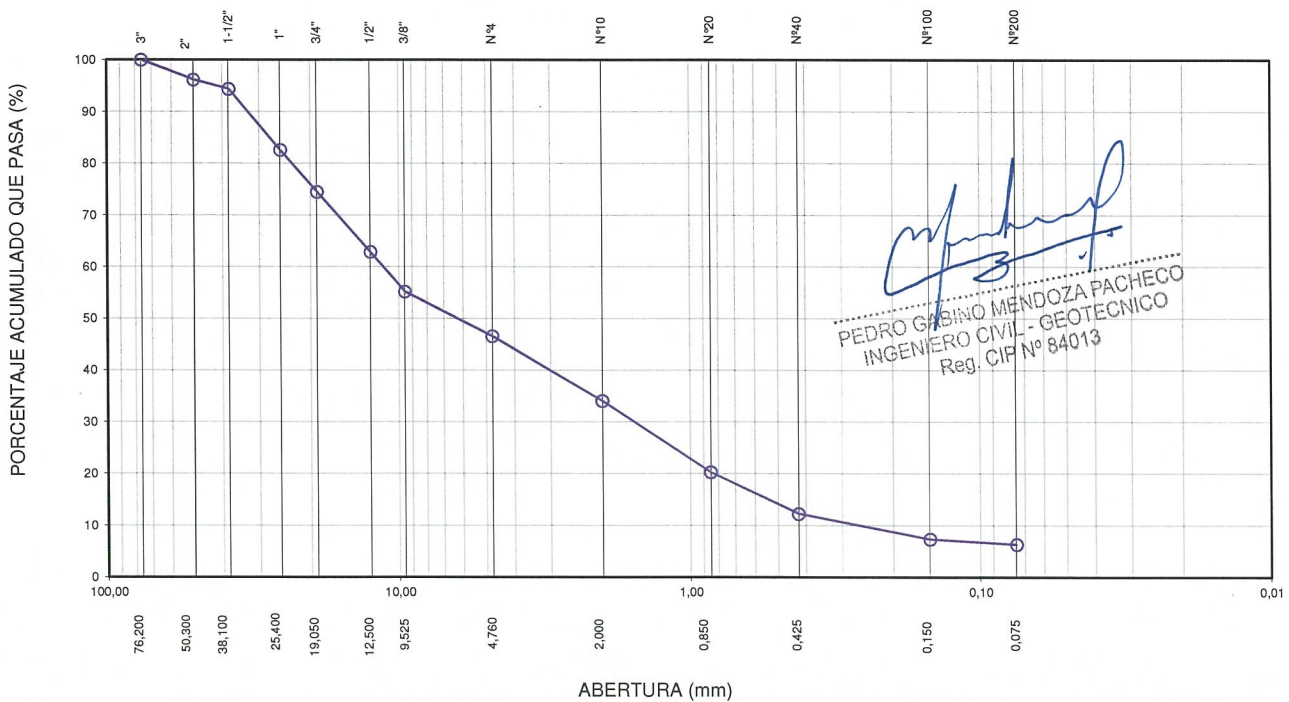
D60: 11,40

Cu: 43,72

Cc: 0,81

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,300	96,2
1 1/2"	38,100	94,4
1"	25,400	82,6
3/4"	19,050	74,5
1/2"	12,500	62,9
3/8"	9,525	55,2
Nº4	4,760	46,6
Nº10	2,000	34,1
Nº20	0,850	20,3
Nº40	0,425	12,3
Nº100	0,150	7,4
Nº200	0,075	6,4

CURVA GRANULOMÉTRICA



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 Ausenco 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 Ausenco 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: DCF Ingresado por: HEV Revisado por: TOM Nº Informe Lab : AP-029-16E

Nombre del Proyecto:	181359 - Ingeniería de registro		
Cliente:	AMEC FOSTER WHEELER PERU S.A.		
Nº de muestra / Prof. (m):	Material 1	Nº Informe Lab : AP-029-16E	
Descripción / Zona:	Presa de Relaves Toromocho	Nº de Proyecto: 101104-02	
Solicitado por:	Carlos Guerra	Fecha: 14-mar-16	
Ubicación:	Tunshuruco, Proyecto Toromocho, Junín, Perú.		

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA Nº 4					
% Retenido en la Malla Nº 4	P_1	53,4			
Nº de Prueba		1	2		
1) Peso de grava en agua S.S.S. en aire (gr)		1304,4	1648,9		
2) Peso de grava en agua S.S.S. en agua (gr)		838,2	1059,7		
3) Peso de grava seca (gr)		1298,4	1640,0	Promedio	
4) Gravedad Específica de Sólidos Aparente	$(3) / [(3)-(2)]$	G_{s1}	2,82	2,83	2,82
5) Gravedad Específica de Sólidos Seca	$(3) / [(1)-(2)]$		2,79	2,78	2,78
6) Gravedad Específica de Sólidos S.S.S.	$(1) / [(1)-(2)]$		2,80	2,80	2,80
7) Absorción (%)	$[(1)-(3)] / (3) * 100$		0,46	0,54	0,50

MATERIAL PASA LA MALLA Nº 4					
% Pasa la Malla Nº 4	P_2	46,6			
1) Nº de Fiola		1	2		
2) Peso de Fiola (gr)		163,1	163,5		
3) Peso de Muestra Seca (gr)		100,0	100,0		
4) Peso de Muestra Seca + Fiola (gr)		263,1	263,5		
5) Peso de Muestra Seca + Fiola + Agua (gr)		724,0	724,5		
6) Peso de Fiola + Peso de agua		661,5	662,2		
7) Gravedad Específica de Sólidos	$(3)/[(3)+(6)-(5)]$	G_{s2}	2,67	2,65	
8) Temperatura (°C)			21	21	
9) Corrección por Temperatura (K)			0,9998	0,9998	
10) Gravedad Específica de Sólidos Corregido	$(7)*(9)$	$G_{s2 (20°C)}$	2,66		

$$G_{s_{prom}} = \frac{1}{\frac{P_1}{100 \times G_{s1}} + \frac{P_2}{100 \times G_{s2 (20°C)}}}$$

$G_{s_{prom}} =$	2,74
------------------	-------------


PEDRO GABINO MENDOZA PACHECO
 INGENIERO CIVIL - GEOTECNICO
 Reg. CIP Nº 84013

Notas: Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.
 El G_{prom} reportado está dado en función al Peso Especifico de Sólidos Aparente.

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 Ausenco 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 Ausenco 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:	Nº Informe Lab :
DCF	HEV	TOM	AP-029-16E

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:	181359 - Ingeniería de registro		
Cliente:	AMEC FOSTER WHEELER PERU S.A.		
N° de muestra / Prof. (m):	Material 1	N° Informe Lab : AP-029-16E	
Descripción / Zona:	Presa de Relaves Toromocho	N° de Proyecto: 101104-02	
Solicitado por:	Carlos Guerra	Fecha: 23-mar-16	
Ubicación:	Tunshuruco, Proyecto Toromocho, Junín, Perú.		

Estado de la muestra: Remoldeado a D.S.=2,2g/cm³
Clasificación SUCS: **GP-GM**

(*) El promedio corresponde a 10 lecturas pero solo se reportan 4 de éstas.

Datos del Ensayo

Diámetro (cm)	30,70	Densidad inicial seca(gr/cm ³)	2,20	Densidad final seca(gr/cm ³)	2,37
Altura (cm)	36,04	Humedad Inicial (%)	0,7	Humedad final (%)	5,9
Gravedad de Sólidos	2,74	Saturación inicial (%)	7,7	Saturación final (%)	99

Medición del Coeficiente de Permeabilidad

Carga

Gradiente hidráulico promedio				0,10					
H1 (cm)	H2 (cm)	Δη (cm)	Tiempo (s)	Volumen (cm ³)	Caudal (cm ³ /s)	K T (cm/s)	Temp. (°C)	K T20°C (cm/s)	
26,80	23,30	3,50	170,71	1 092,00	6,40	0,09	26,00	7,7E-02	
26,80	23,30	3,50	113,17	725,00	6,41	0,09	26,00	7,7E-02	
26,80	23,30	3,50	146,59	940,00	6,41	0,09	26,00	7,8E-02	
26,80	23,30	3,50	95,48	611,00	6,40	0,09	26,00	7,7E-02	

Promedio (cm/s) : 7,8E-02 (*)

Medición del Coeficiente de Permeabilidad

Carga

Gradiente hidráulico promedio				0,13					
H1 (cm)	H2 (cm)	Δη (cm)	Tiempo (s)	Volumen (cm ³)	Caudal (cm ³ /s)	K T (cm/s)	Temp. (°C)	K T20°C (cm/s)	
28,00	23,30	4,70	88,45	712,00	8,05	0,08	26,00	7,1E-02	
28,00	23,30	4,70	91,36	734,00	8,03	0,08	26,00	7,1E-02	
28,00	23,30	4,70	93,78	755,00	8,05	0,08	26,00	7,1E-02	
28,00	23,30	4,70	97,42	782,00	8,03	0,08	26,00	7,1E-02	

Promedio (cm/s) : 7,1E-02 (*)

Medición del Coeficiente de Permeabilidad

Carga

Gradiente hidráulico promedio				0,19					
H1 (cm)	H2 (cm)	Δη (cm)	Tiempo (s)	Volumen (cm ³)	Caudal (cm ³ /s)	K T (cm/s)	Temp. (°C)	K T20°C (cm/s)	
29,80	23,30	6,50	89,25	945,00	10,59	0,08	26,00	6,7E-02	
29,80	23,30	6,50	97,07	1 026,00	10,57	0,08	26,00	6,7E-02	
29,80	23,30	6,50	79,89	842,00	10,54	0,08	26,00	6,6E-02	
29,80	23,30	6,50	83,14	876,00	10,54	0,08	26,00	6,6E-02	

Promedio (cm/s) : 6,6E-02 (*)

Medición del Coeficiente de Permeabilidad

Carga

Gradiente hidráulico promedio				0,18					
H1 (cm)	H2 (cm)	Δη (cm)	Tiempo (s)	Volumen (cm ³)	Caudal (cm ³ /s)	K T (cm/s)	Temp. (°C)	K T20°C (cm/s)	
29,50	23,30	6,20	70,37	578,00	8,21	0,06	26,00	5,3E-02	
29,50	23,30	6,20	82,12	649,00	7,90	0,06	26,00	5,1E-02	
29,50	23,30	6,20	79,01	623,00	7,89	0,06	26,00	5,1E-02	
29,50	23,30	6,20	81,73	644,00	7,88	0,06	26,00	5,1E-02	

Promedio (cm/s) : 5,1E-02 (*)

Notas: Ensayo de carga constante.

Remoldeado a D.S.=2,2g/cm³ y humedad natural a pedido del cliente.
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 Ausenco 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 Ausenco 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: **CGC** Ingresado por: **HEV** Revisado por: **TOM** N° Informe Lab : **AP-029-16E**

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:	181359 - Ingeniería de registro		
Cliente:	AMEC FOSTER WHEELER PERU S.A.		
Nº de muestra / Prof. (m):	Material 1	Nº Informe Lab :	AP-029-16E
Descripción / Zona:	Presa de Relaves Toromocho	Nº de Proyecto:	101104-02
Solicitado por:	Carlos Guerra	Fecha:	23-mar-16
Ubicación:	Tunshuruco, Proyecto Toromocho, Junín, Perú.		

Estado de la muestra: Colocada con ligera compactación
 Clasificación SUCS: **GP-GM**

(*) El promedio corresponde a 10 lecturas pero solo se reportan 4 de éstas.

Datos del Ensayo

Díámetro (cm)	30,70	Densidad inicial seca(gr/cm ³)	2,20	Densidad final seca(gr/cm ³)	2,37
Altura (cm)	36,04	Humedad Inicial (%)	0,7	Humedad final (%)	5,9
Gravedad de Sólidos	2,74	Saturación inicial (%)	7,7	Saturación final (%)	99

Medición del Coeficiente de Permeabilidad

Carga

Gradiente hidráulico promedio				3000 kPa				
H1 (cm)	H2 (cm)	$\Delta\eta$ (cm)	Tiempo (s)	Volumen (cm ³)	Caudal (cm ³ /s)	K T (cm/s)	Temp. (°C)	K T20°C (cm/s)
32,1	23,3	8,8	100,40	857,0	8,5	0,0	26,0	3,9E-02
32,1	23,3	8,8	100,76	861,0	8,5	0,0	26,0	3,9E-02
32,1	23,3	8,8	110,39	942,0	8,5	0,0	26,0	3,9E-02
32,1	23,3	8,8	102,10	868,0	8,5	0,0	26,0	3,8E-02

Promedio (cm/s) : 3,8E-02 (*)

Medición del Coeficiente de Permeabilidad

Carga

Gradiente hidráulico promedio				4000 kPa				
H1 (cm)	H2 (cm)	$\Delta\eta$ (cm)	Tiempo (s)	Volumen (cm ³)	Caudal (cm ³ /s)	K T (cm/s)	Temp. (°C)	K T20°C (cm/s)
34,1	23,3	10,8	88,13	735,0	8,3	0,0	26,0	3,0E-02
34,1	23,3	10,8	88,62	740,0	8,4	0,0	26,0	3,0E-02
34,1	23,3	10,8	75,50	630,0	8,3	0,0	26,0	3,0E-02
34,1	23,3	10,8	78,75	657,0	8,3	0,0	26,0	3,0E-02

Promedio (cm/s) : 3,0E-02 (*)


 PEDRO GABINO MENDOZA PACHECO
 INGENIERO CIVIL - GEOTECNICO
 Reg. CIP Nº 84013

Notas: Ensayo de carga constante.

Remoldeado a D.S.=2,2g/cm³ y humedad natural a pedido del cliente.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

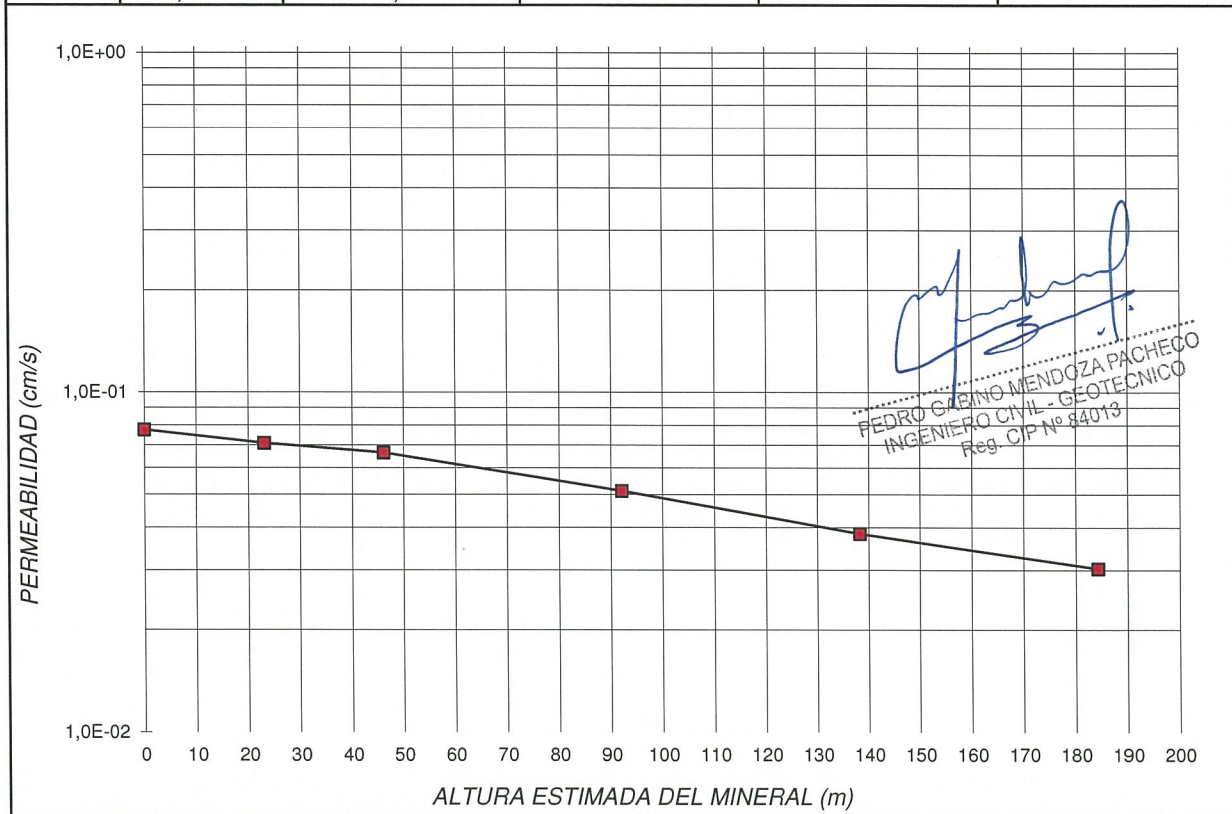
Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Ausenco Perú S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Ausenco 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:	Nº Informe Lab :
CGC	HEV	TOM	AP-029-16E

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:	181359 - Ingeniería de registro	N° Informe Lab :	AP-029-16E
Cliente:	AMEC FOSTER WHEELER PERU S.A.	N° de Proyecto:	101104-02
N° de muestra / Prof. (m):	Material 1	Fecha:	23-mar-16
Descripción / Zona:	Presa de Relaves Toromocho		
Solicitado por:	Carlos Guerra		
Ubicación:	Tunshuruco, Proyecto Toromocho, Junín, Perú.		

N° ENSAYO	CONTENIDO DE AGUA %	DENSIDAD SECA (g/cm³)	ALTURA ESTIMADA DEL MINERAL (m)	ESFUERZO NORMAL (kPa)	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (cm/s)
Inicial	0,69	-	-	-	-
1		2,20	0	0	7,8E-02
2		2,25	23	500	7,1E-02
3		2,27	46	1 000	6,6E-02
4		2,31	92	2 000	5,1E-02
5		2,34	138	3 000	3,8E-02
6		2,37	184	4 000	3,0E-02
Final	5,93	2,37			



NOTAS:

- Ensayo a carga constante.
- Altura, basada en la densidad húmeda inicial promedio .
- 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 Ausenco 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 Ausenco 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:	N° Informe Lab :
CGC	HEV	TOM	AP-029-16E



GOLDER ASSOCIATES PERÚ S.A.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Manual de Aseguramiento de Calidad de Procedimientos de Ensayo

Registro de Calidad del Laboratorio

LAB-MS-R-017

Rev. 4

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL CONSOLIDADO DRENADO (CD)

(ASTM D7181-11)

Proyecto :
Solicitante : Amec Foster Wheeler Perú S.A.C.
Ubicación :
Fecha : 13.05.2016
N° Solicitud: LGGA-SE-16-0012

N° Informe : E0391
N° Proyecto :
Sondaje : -
Muestra : AP-029-16E-Tipo 1
Prof. (m) : -

Clasificación SUCS: SW-SM LL: NP LP: NP IP: NP
Observaciones: Remoldeado a la Densidad seca de 2.20 g/cm³ y 5.0% de humedad, según solicitud del cliente.
Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados por un profesional competente en geotecnia.
Los parámetros finalmente adoptados en los diseños geotécnicos serán de responsabilidad del diseñador.

ESPECIMEN 1

Parámetro B: 0.97

ETAPA DE CONSOLIDACIÓN

Presión de Celda: 941 kPa					Contrapresión: 538 kPa			
Esfuerzo Efectivo Inicial (σ_3): 403 kPa								
	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Humedad (%)	Densidad Seca (g/cm ³)	Relación de Vacíos	Saturación (%)	G. Específica Promedio
INICIAL	30.51	15.24	182.41	5.0	2.200	0.282	50.0	2.820
FINAL	30.02	14.99	176.52	7.5	2.310	0.221	95.1	

Nota: La altura y diámetro iniciales son medidos, todas las demás dimensiones son calculadas.

ETAPA DE CORTE

Razón de Deformación (%/min): 0.083		Esfuerzo Principal en la Falla (kPa)			
Deformación Axial en la Falla (%): 9.7		σ_1	σ_1'	σ_3	σ_3'
Criterios de Falla: Esfuerzo Desv. Máximo		2114	2109	403	398

Nota: Se aplicaron correcciones por membrana.

Deformación (%)	Esf. Desv. (kPa)	Def. Vol. (%)	σ_3 (kPa)	σ_1' (kPa)	p' (kPa)	q (kPa)	q/p'	Oblicuidad (σ_1'/σ_3')
0.00	1.23	0.00	402.65	403.88	403.26	0.61	0.00	1.00
0.05	1.30	0.00	402.61	403.91	403.26	0.65	0.00	1.00
0.10	47.40	0.00	402.61	450.01	426.31	23.70	0.06	1.12
0.15	133.71	-0.02	402.62	536.33	469.47	66.86	0.14	1.33
0.26	270.07	-0.06	402.42	672.49	537.46	135.04	0.25	1.67
0.51	497.37	-0.20	401.60	898.97	650.29	248.69	0.38	2.24
0.74	674.98	-0.35	400.97	1075.95	738.46	337.49	0.46	2.68
1.00	848.60	-0.49	403.10	1251.70	827.40	424.30	0.51	3.11
1.23	980.51	-0.61	402.32	1382.83	892.57	490.25	0.55	3.44
1.54	1130.98	-0.71	401.96	1532.94	967.45	565.49	0.58	3.81
1.74	1224.61	-0.82	403.81	1628.43	1016.12	612.31	0.60	4.03
2.05	1323.97	-0.89	404.21	1728.19	1066.20	661.99	0.62	4.28
2.55	1458.45	-1.01	415.91	1874.36	1145.13	729.23	0.64	4.51
3.06	1542.85	-1.08	402.95	1945.80	1174.37	771.43	0.66	4.83
3.47	1588.21	-1.14	405.52	1993.73	1199.63	794.11	0.66	4.92
3.98	1620.26	-1.17	402.31	2022.56	1212.43	810.13	0.67	5.03
4.49	1632.68	-1.19	402.70	2035.37	1219.03	816.34	0.67	5.05
5.00	1652.29	-1.20	403.41	2055.70	1229.56	826.15	0.67	5.10
6.12	1671.09	-1.20	399.55	2070.64	1235.09	835.55	0.68	5.18
7.13	1705.67	-1.20	399.15	2104.82	1251.99	852.84	0.68	5.27
8.15	1709.39	-1.21	399.19	2108.57	1253.88	854.69	0.68	5.28
9.16	1709.40	-1.22	398.52	2107.92	1253.22	854.70	0.68	5.29
10.18	1706.60	-1.24	398.84	2105.44	1252.14	853.30	0.68	5.28
10.94	1706.41	-1.26	397.35	2103.76	1250.55	853.20	0.68	5.29
11.96	1706.46	-1.29	397.33	2103.80	1250.56	853.23	0.68	5.29
12.98	1704.39	-1.32	395.35	2099.74	1247.54	852.19	0.68	5.31
13.99	1694.82	-1.35	395.34	2090.16	1242.75	847.41	0.68	5.29
15.01	1697.44	-1.39	395.52	2092.96	1244.24	848.72	0.68	5.29



GOLDER ASSOCIATES PERÚ S.A.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Manual de Aseguramiento de Calidad de Procedimientos de Ensayo

Registro de Calidad del Laboratorio

LAB-MS-R-017

Rev. 4

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL CONSOLIDADO DRENADO (CD)

(ASTM D7181-11)

Proyecto :
Solicitante : Amec Foster Wheeler Perú S.A.C.
Ubicación :
Fecha : 13.05.2016
N° Solicitud: LGGA-SE-16-0012

N° Informe : E0391
N° Proyecto :
Sondaje : -
Muestra : AP-029-16E-Tipo 1
Prof. (m) : -

Clasificación SUCS: SW-SM LL: NP LP: NP IP: NP
Observaciones: Remoldeado a la Densidad seca de 2.20 g/cm³ y 5.0% de humedad, según solicitud del cliente.
Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados por un profesional competente en geotecnia.
Los parámetros finalmente adoptados en los diseños geotécnicos serán de responsabilidad del diseñador.

ESPECIMEN 2

Parámetro B: 0.95

ETAPA DE CONSOLIDACIÓN

Presión de Celda: 1012 kPa					Contrapresión: 207 kPa			
Esfuerzo Efectivo Inicial (σ_3): 805 kPa								
	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Humedad (%)	Densidad Seca (g/cm ³)	Relación de Vacíos	Saturación (%)	G. Específica Promedio
INICIAL	30.51	15.24	182.41	5.0	2.200	0.282	50.0	2.820
FINAL	29.92	14.94	175.33	7.0	2.333	0.209	95.1	

Nota: La altura y diámetro iniciales son medidos, todas las demás dimensiones son calculadas.

ETAPA DE CORTE

Razón de Deformación (%/min):	0.083	Esfuerzo Principal en la Falla (kPa)			
Deformación Axial en la Falla (%):	15.8	σ_1	σ_1'	σ_3	σ_3'
Criterios de Falla:	Esfuerzo Desv. Máximo	3898	3896	805	802

Nota: Se aplicaron correcciones por membrana.

Deformación (%)	Esf. Desv. (kPa)	Def. Vol. (%)	σ_3 (kPa)	σ_1' (kPa)	p' (kPa)	q (kPa)	q/p'	Oblicuidad (σ_1'/σ_3')
0.00	0.41	0.00	804.63	805.04	804.84	0.21	0.00	1.00
0.05	6.95	0.00	804.62	811.57	808.10	3.48	0.00	1.01
0.10	136.83	-0.01	804.53	941.37	872.95	68.42	0.08	1.17
0.15	251.83	-0.02	804.41	1056.25	930.33	125.92	0.14	1.31
0.26	417.60	-0.07	804.01	1221.61	1012.81	208.80	0.21	1.52
0.51	727.36	-0.24	803.05	1530.41	1166.73	363.68	0.31	1.91
0.74	963.24	-0.42	802.23	1765.48	1283.86	481.62	0.38	2.20
1.00	1195.91	-0.60	803.77	1999.68	1401.72	597.96	0.43	2.49
1.23	1377.41	-0.75	802.87	2180.28	1491.57	688.70	0.46	2.72
1.54	1577.95	-0.87	798.64	2376.59	1587.61	788.98	0.50	2.98
1.74	1723.43	-1.06	803.93	2527.36	1665.65	861.72	0.52	3.14
2.05	1898.77	-1.19	803.05	2701.83	1752.44	949.39	0.54	3.36
2.56	2148.65	-1.43	804.11	2952.76	1878.44	1074.33	0.57	3.67
3.07	2341.03	-1.74	802.75	3143.79	1973.27	1170.52	0.59	3.92
3.48	2472.81	-1.92	804.28	3277.09	2040.68	1236.40	0.61	4.07
3.99	2595.72	-2.06	803.52	3399.24	2101.38	1297.86	0.62	4.23
4.50	2691.31	-2.19	804.62	3495.93	2150.28	1345.65	0.63	4.34
5.01	2765.50	-2.28	804.09	3569.59	2186.84	1382.75	0.63	4.44
6.13	2881.38	-2.44	803.06	3684.45	2243.75	1440.69	0.64	4.59
7.15	2958.91	-2.57	803.75	3762.66	2283.21	1479.46	0.65	4.68
8.16	2999.42	-2.66	802.73	3802.15	2302.44	1499.71	0.65	4.74
9.18	3031.10	-2.73	802.10	3833.20	2317.65	1515.55	0.65	4.78
9.95	3057.23	-2.79	801.65	3858.87	2330.26	1528.61	0.66	4.81
10.97	3067.55	-2.84	801.12	3868.68	2334.90	1533.78	0.66	4.83
11.98	3082.20	-2.91	803.25	3885.45	2344.35	1541.10	0.66	4.84
13.00	3086.21	-2.95	803.03	3889.24	2346.14	1543.11	0.66	4.84
14.02	3092.95	-2.99	802.65	3895.60	2349.12	1546.47	0.66	4.85
15.04	3090.61	-3.03	803.45	3894.06	2348.76	1545.31	0.66	4.85



GOLDER ASSOCIATES PERÚ S.A.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Manual de Aseguramiento de Calidad de Procedimientos de Ensayo

Registro de Calidad del Laboratorio

LAB-MS-R-017

Rev. 4

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL CONSOLIDADO DRENADO (CD)

(ASTM D7181-11)

Proyecto :
Solicitante : Amec Foster Wheeler Perú S.A.C.
Ubicación :
Fecha : 13.05.2016
N° Solicitud: LGGA-SE-16-0012

N° Informe : E0391
N° Proyecto :
Sondaje : -
Muestra : AP-029-16E-Tipo 1
Prof. (m) : -

Clasificación SUCS:	SW-SM	LL: NP	LP: NP	IP: NP
Observaciones: Remoldeado a la Densidad seca de 2.20 g/cm ³ y 5.0% de humedad, según solicitud del cliente.				
Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados por un profesional competente en geotecnia.				
Los parámetros finalmente adoptados en los diseños geotécnicos serán de responsabilidad del diseñador.				

ESPECIMEN 3

Parámetro B:	0.95
--------------	------

ETAPA DE CONSOLIDACIÓN

Presión de Celda:	1679 kPa				Contrapresión: 56 kPa			
Esfuerzo Efectivo Inicial (σ_3):	1623 kPa							
	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Humedad (%)	Densidad Seca (g/cm ³)	Relación de Vacíos	Saturación (%)	G. Específica Promedio
INICIAL	30.51	15.24	182.41	5.0	2.200	0.282	50.0	2.820
FINAL	29.83	14.89	174.15	7.0	2.356	0.197	95.0	

Nota: La altura y diámetro iniciales son medidos, todas las demás dimensiones son calculadas.

ETAPA DE CORTE

Razón de Deformación (%/min):	0.083	Esfuerzo Principal en la Falla (kPa)			
Deformación Axial en la Falla (%):	15.9	σ_1	σ_1'	σ_3	σ_3'
Criterios de Falla:	Esfuerzo Desv. Máximo	7329	7325	1623	1620

Nota: Se aplicaron correcciones por membrana.

Deformación (%)	Esf. Desv. (kPa)	Def. Vol. (%)	σ_3 (kPa)	σ_1' (kPa)	p' (kPa)	q (kPa)	q/p'	Oblicuidad (σ_1'/σ_3')
0.00	1.47	0.00	1623.09	1624.55	1623.82	0.73	0.00	1.00
0.05	1.38	0.00	1623.09	1624.47	1623.78	0.69	0.00	1.00
0.10	16.92	0.00	1622.75	1639.67	1631.21	8.46	0.01	1.01
0.15	107.37	0.00	1622.56	1729.93	1676.25	53.68	0.03	1.07
0.26	366.18	-0.02	1622.49	1988.67	1805.58	183.09	0.10	1.23
0.51	844.34	-0.14	1621.60	2465.94	2043.77	422.17	0.21	1.52
0.75	1151.10	-0.33	1621.06	2772.16	2196.61	575.55	0.26	1.71
1.00	1473.88	-0.51	1622.02	3095.90	2358.96	736.94	0.31	1.91
1.23	1745.46	-0.69	1621.28	3366.74	2494.01	872.73	0.35	2.08
1.54	2083.86	-0.86	1621.48	3705.35	2663.42	1041.93	0.39	2.29
1.75	2296.00	-1.02	1620.38	3916.38	2768.38	1148.00	0.41	2.42
2.05	2599.53	-1.18	1621.06	4220.58	2920.82	1299.76	0.44	2.60
2.56	3053.77	-1.46	1619.27	4673.04	3146.15	1526.88	0.49	2.89
3.08	3448.26	-1.90	1620.97	5069.22	3345.09	1724.13	0.52	3.13
3.49	3728.70	-2.00	1622.61	5351.32	3486.97	1864.35	0.53	3.30
4.00	4028.60	-2.22	1620.63	5649.23	3634.93	2014.30	0.55	3.49
4.51	4078.50	-2.56	1620.70	5699.20	3659.95	2039.25	0.56	3.52
5.02	4482.66	-2.73	1622.30	6104.96	3863.63	2241.33	0.58	3.76
6.14	4862.33	-3.03	1622.95	6485.28	4054.12	2431.16	0.60	4.00
7.16	5106.82	-3.32	1620.84	6727.66	4174.25	2553.41	0.61	4.15
8.19	5284.42	-3.44	1620.39	6904.80	4262.59	2642.21	0.62	4.26
8.95	5411.33	-3.57	1619.54	7030.87	4325.20	2705.66	0.63	4.34
9.97	5508.36	-3.76	1620.13	7128.49	4374.31	2754.18	0.63	4.40
11.00	5564.37	-3.82	1619.42	7183.79	4401.61	2782.19	0.63	4.44
12.02	5617.08	-3.89	1621.48	7238.56	4430.02	2808.54	0.63	4.46
13.04	5659.93	-3.93	1620.26	7280.19	4450.23	2829.97	0.64	4.49
14.06	5686.91	-3.97	1619.53	7306.44	4462.98	2843.45	0.64	4.51
15.08	5700.75	-4.01	1619.18	7319.93	4469.55	2850.38	0.64	4.52



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Manual de Aseguramiento de Calidad de Procedimientos de Ensayo

Registro de Calidad del Laboratorio

LAB-MS-R-017

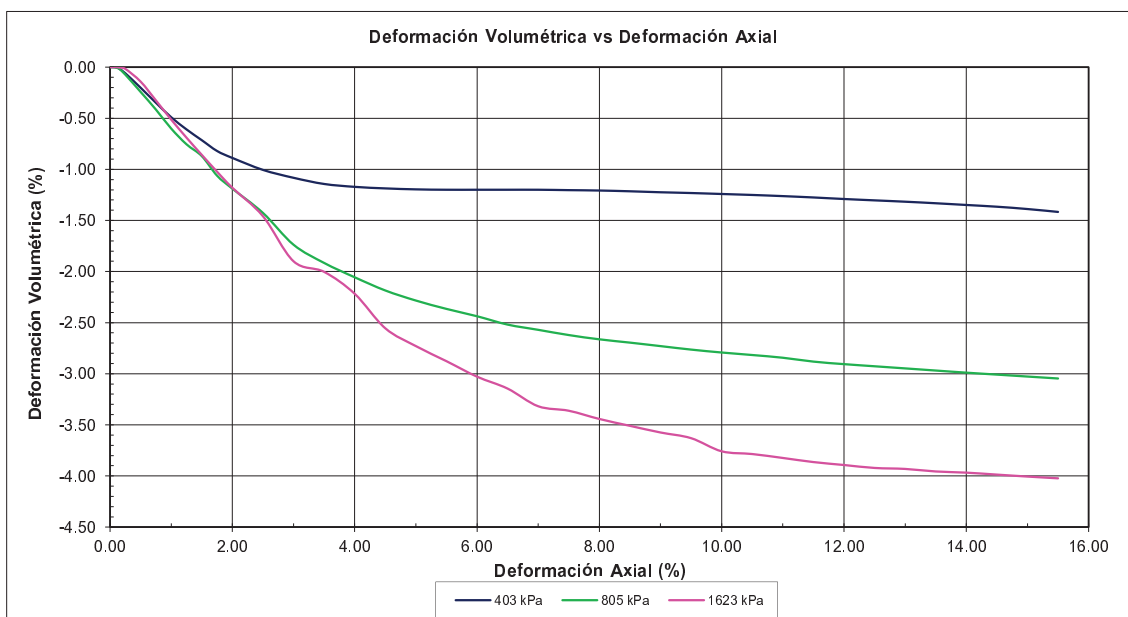
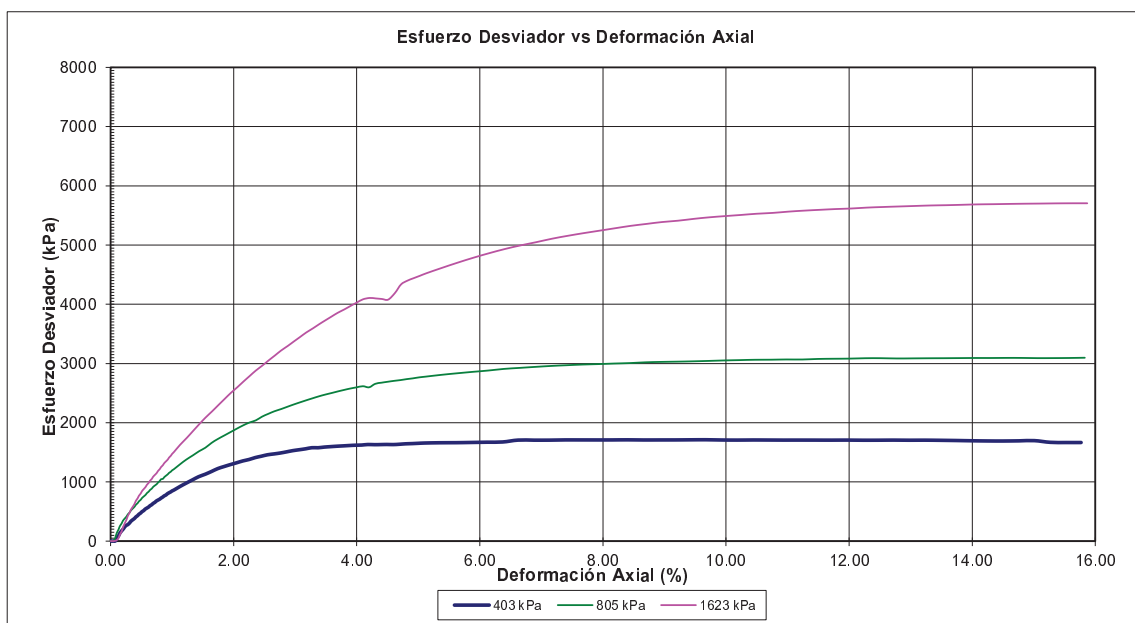
Rev. 4

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL CONSOLIDADO DRENADO (CD)
(ASTM D7181-11)

Proyecto :
Solicitante : Amec Foster Wheeler Perú S.A.C.
Ubicación :
Fecha : 13.05.2016
N° Solicitud : LGGA-SE-16-0012

N° Informe : E0391
N° Proyecto :
Sondaje : -
Muestra : AP-029-16E-Tipo 1
Prof. (m) : -

Clasificación SUCS: SW-SM LL: NP LP: NP IP: NP
Observaciones: Remoldeado a la Densidad seca de 2.20 g/cm³ y 5.0% de humedad, según solicitud del cliente.
Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados por un profesional competente en geotecnia.
Los parámetros finalmente adoptados en los diseños geotécnicos serán de responsabilidad del diseñador.



Ensayado por: M.R.

Revisado y aprobado por: C.H.



GOLDER ASSOCIATES PERÚ S.A.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Manual de Aseguramiento de Calidad de Procedimientos de Ensayo

Registro de Calidad del Laboratorio

LAB-MS-R-017

Rev. 4

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL CONSOLIDADO DRENADO (CD)
(ASTM D7181-11)

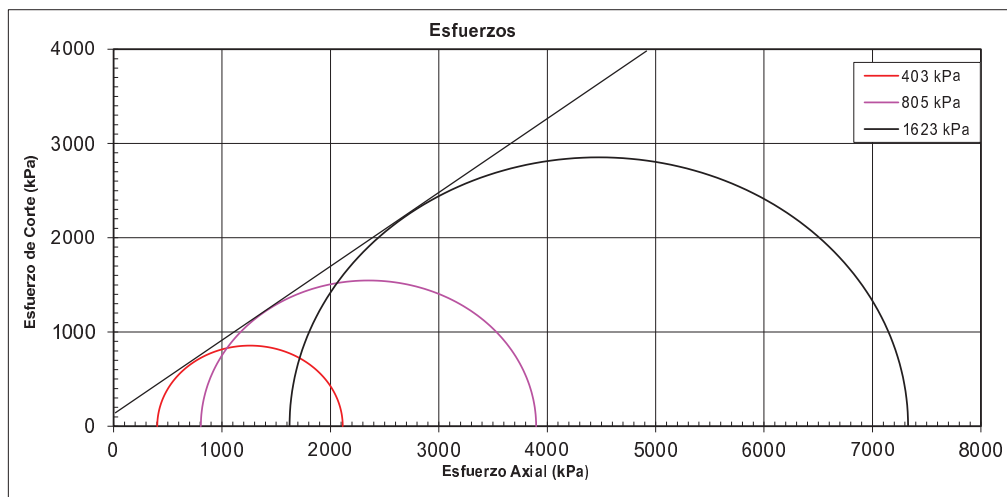
Proyecto :
Solicitante : Amec Foster Wheeler Perú S.A.C.
Ubicación :
Fecha : 13.05.2016
N° Solicitud : LGG-SE-16-0012

N° Informe : E0391
N° Proyecto : -
Sondaje : -
Muestra : AP-029-16E-Tipo 1
Prof. (m) : -

Clasificación SUCS: SW-SM LL: NP LP: NP IP: NP
Observaciones: Remoldeado a la Densidad seca de 2.20 g/cm³ y 5.0% de humedad, según solicitud del cliente.
Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados por un profesional competente en geotecnia.
Los parámetros finalmente adoptados en los diseños geotécnicos serán de responsabilidad del diseñador.

CIRCULOS DE ESFUERZOS DE MOHR

PARAMETROS DE RESISTENCIA	
COHESIÓN (kPa)	ANG. DE FRICCIÓN (°)
103	38



Ensayado Por: M.R.

Revisado y Aprobado Por: C.H.

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:	181359 - Ingeniería de registro	N° Informe Lab :	AP-029-16E
Cliente:	AMEC FOSTER WHEELER PERU S.A.	N° de Proyecto:	101104-02
N° de muestra / Prof. (m):	Material 2	Fecha:	14-mar-16
Descripción / Zona:	Presa de Relaves Toromocho		
Solicitado por:	Carlos Guerra		
Ubicación:	Tunshuruco, Proyecto Toromocho, Junín, Perú.		

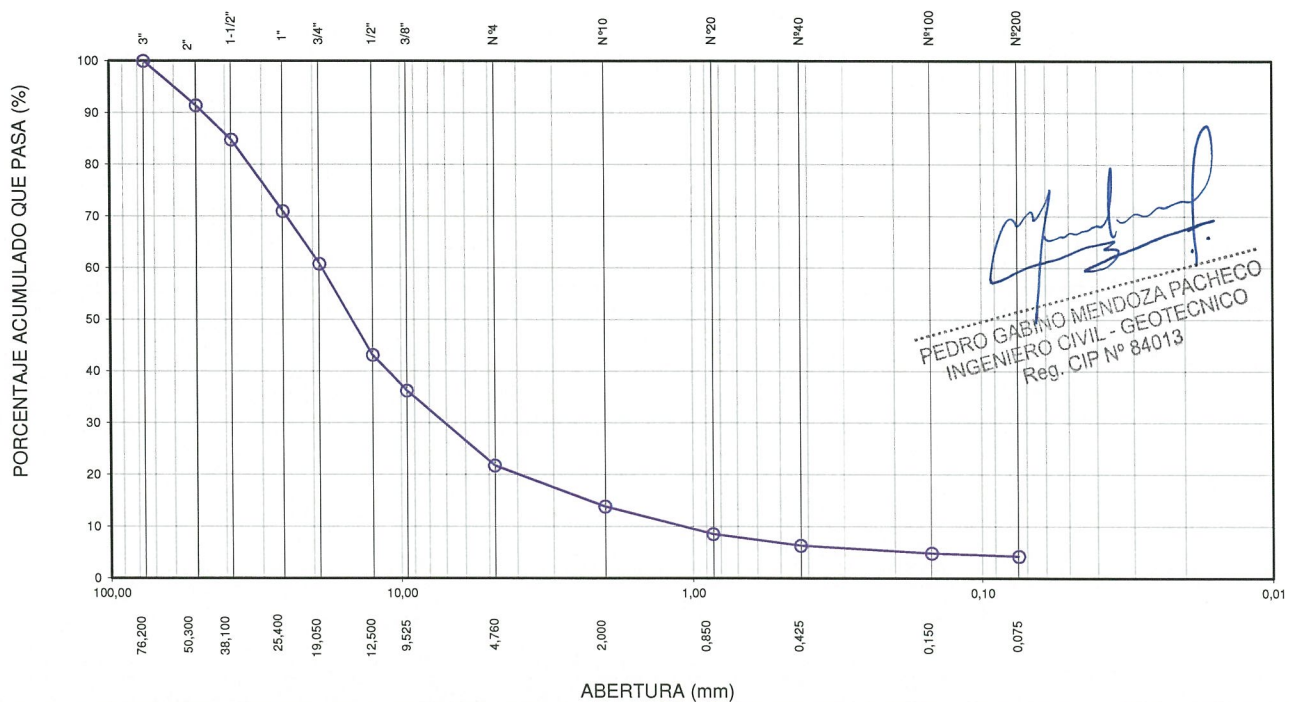
Partículas >3" (%) : ---
 Grava (%) : 78,2
 Arena (%) : 17,5
 Limos y Arcillas (%) : 4,3
 Límites de Atterberg:
 LL (%) : NP
 LP (%) : NP
 IP (%) : NP

Humedad (%) : 0,1
 Clasificación SUCS : GW
 Grava bien gradada con arena

D10 : 1,07
 D30 : 7,05
 D60 : 18,70
 Cu : 17,55
 Cc : 2,49

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,300	91,4
1 1/2"	38,100	84,8
1"	25,400	71,0
3/4"	19,050	60,8
1/2"	12,500	43,2
3/8"	9,525	36,3
Nº4	4,760	21,8
Nº10	2,000	13,9
Nº20	0,850	8,6
Nº40	0,425	6,4
Nº100	0,150	4,9
Nº200	0,075	4,3

CURVA GRANULOMÉTRICA



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 Ausenco 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 Ausenco 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: DCF Ingresado por: HEV Revisado por: TOM N° Informe Lab : AP-029-16E


Nombre del Proyecto:	181359 - Ingeniería de registro		
Cliente:	AMEC FOSTER WHEELER PERU S.A.		
Nº de muestra / Prof. (m):	Material 2	Nº Informe Lab : AP-029-16E	
Descripción / Zona:	Presa de Relaves Toromocho	Nº de Proyecto: 101104-02	
Solicitado por:	Carlos Guerra	Fecha: 14-mar-16	
Ubicación:	Tunshuruco, Proyecto Toromocho, Junín, Perú.		

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA Nº 4					
% Retenido en la Malla Nº 4		P ₁	78,2		
Nº de Prueba			1	2	
1) Peso de grava en agua S.S.S. en aire (gr)			1538,9	1419,3	
2) Peso de grava en agua S.S.S. en agua (gr)			985,7	910,2	
3) Peso de grava seca (gr)			1530,0	1411,0	Promedio
4) Gravedad Específica de Sólidos Aparente	(3) / [(3)-(2)]	G _{s1}	2,81	2,82	2,81
5) Gravedad Específica de Sólidos Seca	(3) / [(1)-(2)]		2,77	2,77	2,77
6) Gravedad Específica de Sólidos S.S.S.	(1) / [(1)-(2)]		2,78	2,79	2,78
7) Absorción (%)	[(1)-(3)] / (3) * 100		0,58	0,59	0,58

MATERIAL PASA LA MALLA Nº 4					
% Pasa la Malla Nº 4		P ₂	21,8		
1) Nº de Fiola			1	2	
2) Peso de Fiola (gr)			158,1	155,5	
3) Peso de Muestra Seca (gr)			100,0	100,0	
4) Peso de Muestra Seca + Fiola (gr)			258,1	255,5	
5) Peso de Muestra Seca + Fiola + Agua (gr)			719,3	716,6	
6) Peso de Fiola + Peso de agua			656,7	654,1	
7) Gravedad Específica de Sólidos	(3)/[(3)+(6)-(5)]	G _{s2}	2,67	2,67	
8) Temperatura (°C)			21	21	
9) Corrección por Temperatura (K)			0,9998	0,9998	
10) Gravedad Específica de Sólidos Corregido	(7)*(9)	G _{s2 (20°C)}	2,67		

$$G_{s_{prom}} = \frac{1}{\frac{P_1}{100 \times G_{s1}} + \frac{P_2}{100 \times G_{s2 (20^\circ C)}}}$$

G _{s_{prom}} =	2,78
---------------------------------	------


 PEDRO GABINO MENDOZA PACHECO
 INGENIERO CIVIL - GEOTECNICO
 Reg. CIP Nº 84013

Notas: Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.
 El G_{prom} reportado está dado en función al Peso Especifico de Sólidos Aparente.

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 Ausenco 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 Ausenco 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:	Nº Informe Lab :
DCF	HEV	TOM	AP-029-16E

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:	181359 - Ingeniería de registro	
Cliente:	AMEC FOSTER WHEELER PERU S.A.	
Nº de muestra / Prof. (m):	Material 2	Nº Informe Lab : AP-029-16E
Descripción / Zona:	Presa de Relaves Toromocho	Nº de Proyecto: 101104-02
Solicitado por:	Carlos Guerra	Fecha: 23-mar-16
Ubicación:	Tunshuruco, Proyecto Toromocho, Junín, Perú.	

Estado de la muestra: Remoldeado a D.S.=2,10g/cm³
Clasificación SUCS: **GW**

(*) El promedio corresponde a 10 lecturas pero solo se reportan 4 de éstas.

Datos del Ensayo

Diámetro (cm)	30,30	Densidad inicial seca(gr/cm ³)	2,11	Densidad final seca(gr/cm ³)	2,28
Altura (cm)	36,74	Humedad Inicial (%)	0,1	Humedad final (%)	9,9
Gravedad de Sólidos	2,78	Saturación inicial (%)	1,2	Saturación final (%)	99

Medición del Coeficiente de Permeabilidad

Carga

Gradiente hidráulico promedio				Carga				
0,02				--				
H1 (cm)	H2 (cm)	$\Delta\eta$ (cm)	Tiempo (s)	Volumen (cm ³)	Caudal (cm ³ /s)	K T (cm/s)	Temp. (°C)	K T20°C (cm/s)
30,70	30,00	0,70	73,73	1 165,00	15,80	1,15	26,00	1,0E+00
30,70	30,00	0,70	79,09	1 249,00	15,79	1,15	26,00	1,0E+00
30,70	30,00	0,70	68,53	1 082,00	15,79	1,15	26,00	1,0E+00
30,70	30,00	0,70	76,30	1 204,00	15,78	1,15	26,00	1,0E+00

Promedio (cm/s) : 1,0E+00 (*)

Medición del Coeficiente de Permeabilidad

Carga

Gradiente hidráulico promedio				Carga				
0,02				500 kPa				
H1 (cm)	H2 (cm)	$\Delta\eta$ (cm)	Tiempo (s)	Volumen (cm ³)	Caudal (cm ³ /s)	K T (cm/s)	Temp. (°C)	K T20°C (cm/s)
30,70	30,00	0,70	63,80	827,00	12,96	0,93	26,00	8,1E-01
30,70	30,00	0,70	70,05	907,00	12,95	0,93	26,00	8,1E-01
30,70	30,00	0,70	72,23	933,00	12,92	0,93	26,00	8,1E-01
30,70	30,00	0,70	64,57	835,00	12,93	0,93	26,00	8,1E-01

Promedio (cm/s) : 8,1E-01 (*)

Medición del Coeficiente de Permeabilidad

Carga

Gradiente hidráulico promedio				Carga				
0,02				1000 kPa				
H1 (cm)	H2 (cm)	$\Delta\eta$ (cm)	Tiempo (s)	Volumen (cm ³)	Caudal (cm ³ /s)	K T (cm/s)	Temp. (°C)	K T20°C (cm/s)
30,70	30,00	0,70	69,16	806,00	11,65	0,83	26,00	7,2E-01
30,70	30,00	0,70	102,65	1 202,00	11,71	0,83	26,00	7,2E-01
30,70	30,00	0,70	74,89	876,00	11,70	0,83	26,00	7,2E-01
30,70	30,00	0,70	72,27	847,00	11,72	0,83	26,00	7,2E-01

Promedio (cm/s) : 7,2E-01 (*)

Medición del Coeficiente de Permeabilidad

Carga

Gradiente hidráulico promedio				Carga				
0,02				2000 kPa				
H1 (cm)	H2 (cm)	$\Delta\eta$ (cm)	Tiempo (s)	Volumen (cm ³)	Caudal (cm ³ /s)	K T (cm/s)	Temp. (°C)	K T20°C (cm/s)
30,60	29,90	0,70	71,90	634,00	8,82	0,61	26,00	5,3E-01
30,60	29,90	0,70	79,36	701,00	8,83	0,62	26,00	5,4E-01
30,60	29,90	0,70	81,19	716,00	8,82	0,61	26,00	5,3E-01
30,60	29,90	0,70	77,25	680,00	8,80	0,61	26,00	5,3E-01

Promedio (cm/s) : 5,3E-01 (*)

Notas: Ensayo de carga constante.

Remoldeado a D.S.=2,10g/cm³ y humedad natural a pedido del cliente.
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 Ausenco 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 Ausenco 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: **CGC** Ingresado por: **HEV** Revisado por: **TOM** N° Informe Lab : **AP-029-16E**

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto:	181359 - Ingeniería de registro		
Cliente:	AMEC FOSTER WHEELER PERU S.A.		
N° de muestra / Prof. (m):	Material 2	N° Informe Lab :	AP-029-16E
Descripción / Zona:	Presa de Relaves Toromocho	N° de Proyecto:	101104-02
Solicitado por:	Carlos Guerra	Fecha:	23-mar-16
Ubicación:	Tunshuruco, Proyecto Toromocho, Junín, Perú.		

Estado de la muestra: Remoldeado a D.S.=2,10g/cm³
Clasificación SUCS: **GW**

(*) El promedio corresponde a 10 lecturas pero solo se reportan 4 de éstas.

Datos del Ensayo

Diámetro (cm)	30,30	Densidad inicial seca(gr/cm ³)	2,11	Densidad final seca(gr/cm ³)	2,28
Altura (cm)	36,74	Humedad Inicial (%)	0,1	Humedad final (%)	9,9
Gravedad de Sólidos	2,78	Saturación inicial (%)	1,2	Saturación final (%)	99

Medición del Coeficiente de Permeabilidad

Carga

Gradiente hidráulico promedio				0,02		3000 kPa			
H1 (cm)	H2 (cm)	$\Delta\eta$ (cm)	Tiempo (s)	Volumen (cm ³)	Caudal (cm ³ /s)	K T (cm/s)	Temp. (°C)	K T20°C (cm/s)	
30,7	29,9	0,8	71,57	681,0	9,5	0,6	26,0	5,0E-01	
30,7	29,9	0,8	85,89	817,0	9,5	0,6	26,0	5,0E-01	
30,7	29,9	0,8	65,95	631,0	9,6	0,6	26,0	5,0E-01	
30,7	29,9	0,8	85,72	816,0	9,5	0,6	26,0	5,0E-01	

Promedio (cm/s) : 5,0E-01 (*)

Medición del Coeficiente de Permeabilidad

Carga

Gradiente hidráulico promedio				0,02		4000 kPa			
H1 (cm)	H2 (cm)	$\Delta\eta$ (cm)	Tiempo (s)	Volumen (cm ³)	Caudal (cm ³ /s)	K T (cm/s)	Temp. (°C)	K T20°C (cm/s)	
30,6	29,9	0,7	78,59	613,0	7,8	0,5	26,0	4,6E-01	
30,6	29,9	0,7	125,38	982,0	7,8	0,5	26,0	4,6E-01	
30,6	29,9	0,7	71,99	563,0	7,8	0,5	26,0	4,6E-01	
30,6	29,9	0,7	79,15	618,0	7,8	0,5	26,0	4,6E-01	

Promedio (cm/s) : 4,6E-01 (*)


PEDRO GABINO MENDOZA PACHECO
INGENIERO CIVIL - GEOTECNICO
Reg. CIP N° 84013

Notas: Ensayo de carga constante.

Remoldeado a D.S.=2,10g/cm³ y humedad natural a pedido del cliente.
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 Ausenco 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 Ausenco 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: **CGC** Ingresado por: **HEV** Revisado por: **TOM** N° Informe Lab : **AP-029-16E**

PARED RÍGIDA

ASTM D- 2434, Modificado

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto: **181359 - Ingeniería de registro**

Cliente: **AMEC FOSTER WHEELER PERU S.A.**

Nº de muestra / Prof. (m): **Material 2**

Nº Informe Lab : **AP-029-16E**

Descripción / Zona: **Presa de Relaves Toromocho**

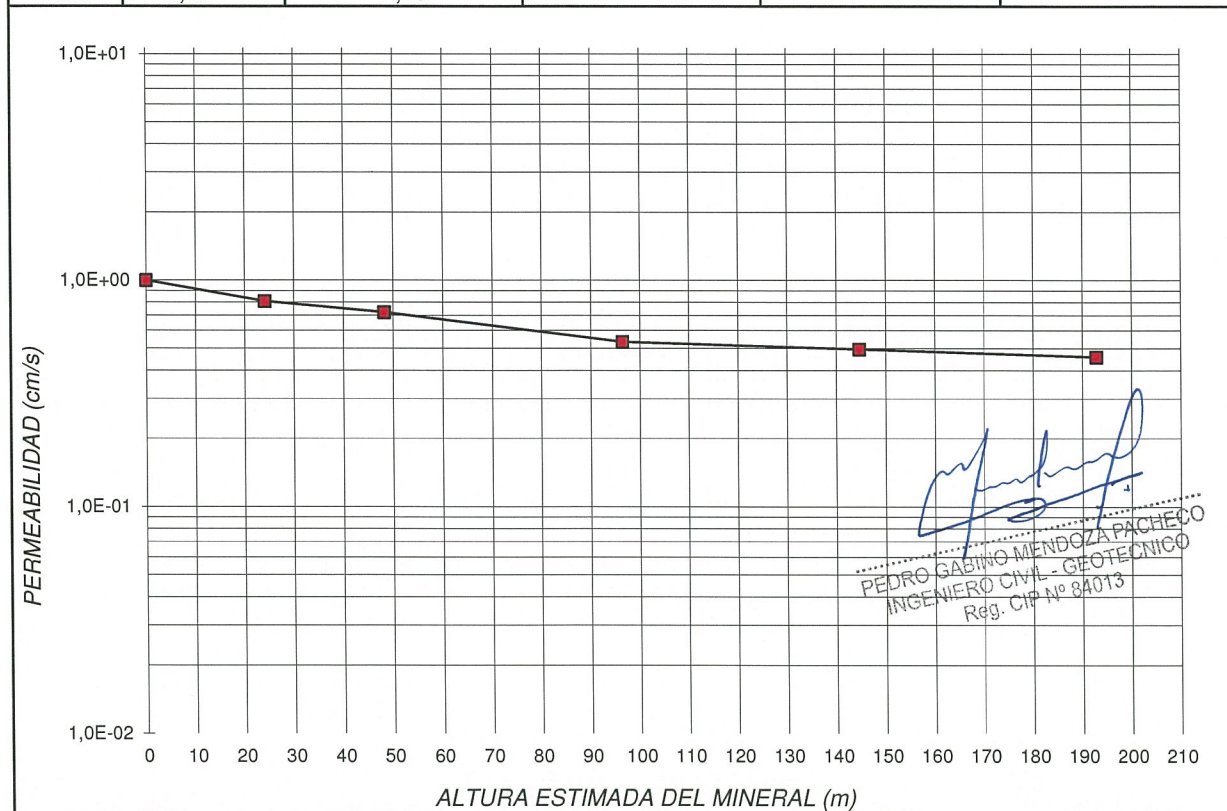
Nº de Proyecto: **101104-02**

Solicitado por: **Carlos Guerra**

Fecha: **23-mar-16**

Ubicación: **Tunshuruco, Proyecto Toromocho, Junín, Perú.**

Nº ENSAYO	CONTENIDO DE AGUA %	DENSIDAD SECA (g/cm³)	ALTURA ESTIMADA DEL MINERAL (m)	ESFUERZO NORMAL (kPa)	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (cm/s)
Inicial	0,14	-	-	-	-
1		2,11	0	0	1,0E+00
2		2,14	24	500	8,1E-01
3		2,16	48	1 000	7,2E-01
4		2,20	96	2 000	5,3E-01
5		2,25	145	3 000	5,0E-01
6		2,28	193	4 000	4,6E-01
Final	9,88	2,28			



NOTAS:

Ensayo a carga constante.

Altura, basada en la densidad húmeda inicial promedio .

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 Ausenco 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 Ausenco 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:
CGC

Ingresado por:
HEV

Revisado por:
TOM

Nº Informe Lab :
AP-029-16E



GOLDER ASSOCIATES PERÚ S.A.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Manual de Aseguramiento de Calidad de Procedimientos de Ensayo

Registro de Calidad del Laboratorio

LAB-MS-R-017

Rev. 4

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL CONSOLIDADO DRENADO (CD)

(ASTM D7181-11)

Proyecto :
Solicitante : Amec Foster Wheeler Perú S.A.C.
Ubicación :
Fecha : 13.05.2016
N° Solicitud: LGGA-SE-16-0012

N° Informe : E0392
N° Proyecto :
Sondaje : -
Muestra : AP-029-16E-Tipo 2
Prof. (m) :

Clasificación SUCS: SW-SM LL: NP LP: NP IP: NP
Observaciones: Remoldeado a la Densidad seca de 2.10 g/cm³ y 5.0% de humedad, según solicitud del cliente.
Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados por un profesional competente en geotecnia.
Los parámetros finalmente adoptados en los diseños geotécnicos serán de responsabilidad del diseñador.

ESPECIMEN 1

Parámetro B: 0.98

ETAPA DE CONSOLIDACIÓN

Presión de Celda: 1021 kPa					Contrapresión: 610 kPa			
Esfuerzo Efectivo Inicial (σ_3): 412 kPa								
	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Humedad (%)	Densidad Seca (g/cm ³)	Relación de Vacíos	Saturación (%)	G. Específica Promedio
INICIAL	30.51	15.24	182.41	5.0	2.100	0.338	41.5	2.810
FINAL	30.09	15.03	177.36	7.6	2.189	0.283	75.0	

Nota: La altura y diámetro iniciales son medidos, todas las demás dimensiones son calculadas.

ETAPA DE CORTE

Razón de Deformación (%/min): 0.083		Esfuerzo Principal en la Falla (kPa)			
Deformación Axial en la Falla (%): 10.2		σ_1	σ_1'	σ_3	σ_3'
Criterios de Falla: Esfuerzo Desv. Máximo		2075	2072	412	408

Nota: Se aplicaron correcciones por membrana.

Deformación (%)	Esf. Desv. (kPa)	Def. Vol. (%)	σ_3 (kPa)	σ_1' (kPa)	p' (kPa)	q (kPa)	q/p'	Oblicuidad (σ_1'/σ_3')
0.00	1.59	0.00	411.50	413.09	412.30	0.79	0.00	1.00
0.05	1.83	0.00	411.45	413.28	412.37	0.92	0.00	1.00
0.10	9.49	0.00	411.62	421.11	416.36	4.74	0.01	1.02
0.15	30.79	0.00	411.57	442.36	426.96	15.40	0.04	1.07
0.25	149.51	-0.01	411.39	560.89	486.14	74.75	0.15	1.36
0.51	424.06	-0.11	408.31	832.38	620.34	212.03	0.34	2.04
0.74	607.00	-0.22	406.86	1013.87	710.36	303.50	0.43	2.49
1.00	776.08	-0.35	408.43	1184.50	796.46	388.04	0.49	2.90
1.23	904.17	-0.47	406.98	1311.14	859.06	452.08	0.53	3.22
1.53	1042.56	-0.58	407.07	1449.63	928.35	521.28	0.56	3.56
1.74	1122.46	-0.68	409.06	1531.51	970.28	561.23	0.58	3.74
2.04	1221.37	-0.77	408.71	1630.09	1019.40	610.69	0.60	3.99
2.55	1344.33	-0.90	407.48	1751.82	1079.65	672.17	0.62	4.30
3.06	1438.35	-1.01	409.26	1847.62	1128.44	719.18	0.64	4.51
3.57	1509.04	-1.08	411.59	1920.64	1166.11	754.52	0.65	4.67
4.07	1553.06	-1.14	411.91	1964.97	1188.44	776.53	0.65	4.77
4.48	1578.12	-1.17	412.51	1990.62	1201.57	789.06	0.66	4.83
4.99	1602.58	-1.20	412.10	2014.68	1213.39	801.29	0.66	4.89
6.10	1643.63	-1.24	412.62	2056.25	1234.44	821.81	0.67	4.98
7.12	1656.45	-1.26	412.23	2068.67	1240.45	828.22	0.67	5.02
8.13	1659.67	-1.28	413.68	2073.35	1243.52	829.84	0.67	5.01
9.15	1659.41	-1.30	413.28	2072.68	1242.98	829.70	0.67	5.02
10.16	1665.62	-1.33	408.22	2073.84	1241.03	832.81	0.67	5.08
10.92	1662.78	-1.35	414.55	2077.33	1245.94	831.39	0.67	5.01
11.94	1664.52	-1.39	410.07	2074.59	1242.33	832.26	0.67	5.06
12.95	1653.90	-1.43	409.42	2063.32	1236.37	826.95	0.67	5.04
13.97	1648.07	-1.48	408.44	2056.51	1232.47	824.04	0.67	5.04
14.98	1654.84	-1.53	414.50	2069.33	1241.91	827.42	0.67	4.99



GOLDER ASSOCIATES PERÚ S.A.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Manual de Aseguramiento de Calidad de Procedimientos de Ensayo

Registro de Calidad del Laboratorio

LAB-MS-R-017

Rev. 4

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL CONSOLIDADO DRENADO (CD)

(ASTM D7181-11)

Proyecto :
Solicitante : Amec Foster Wheeler Perú S.A.C.
Ubicación :
Fecha : 13.05.2016
N° Solicitud: LGGA-SE-16-0012

N° Informe : E0392
N° Proyecto :
Sondaje : -
Muestra : AP-029-16E-Tipo 2
Prof. (m) :

Clasificación SUCS: SW-SM LL: NP LP: NP IP: NP
Observaciones: Remoldeado a la Densidad seca de 2.10 g/cm³ y 5.0% de humedad, según solicitud del cliente.
Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados por un profesional competente en geotecnia.
Los parámetros finalmente adoptados en los diseños geotécnicos serán de responsabilidad del diseñador.

ESPECIMEN 2

Parámetro B: 0.97

ETAPA DE CONSOLIDACIÓN

Presión de Celda:		1013 kPa			Contrapresión: 209 kPa			
Esfuerzo Efectivo Inicial (σ_3):		804 kPa						
	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Humedad (%)	Densidad Seca (g/cm ³)	Relación de Vacíos	Saturación (%)	G. Específica Promedio
INICIAL	30.51	15.24	182.41	5.0	2.100	0.338	41.5	2.810
FINAL	29.88	14.92	174.82	7.1	2.237	0.256	78.2	

Nota: La altura y diámetro iniciales son medidos, todas las demás dimensiones son calculadas.

ETAPA DE CORTE

Razón de Deformación (%/min):	0.083	Esfuerzo Principal en la Falla (kPa)			
Deformación Axial en la Falla (%):	16.4	σ_1	σ_1'	σ_3	σ_3'
Criterios de Falla:	Esfuerzo Desv. Máximo	3704	3705	804	805

Nota: Se aplicaron correcciones por membrana.

Deformación (%)	Esf. Desv. (kPa)	Def. Vol. (%)	σ_3 (kPa)	σ_1' (kPa)	p' (kPa)	q (kPa)	q/p'	Oblicuidad (σ_1'/σ_3')
0.00	0.72	0.00	804.20	804.91	804.55	0.36	0.00	1.00
0.05	115.26	0.00	803.79	919.05	861.42	57.63	0.07	1.14
0.10	224.76	-0.02	803.99	1028.75	916.37	112.38	0.12	1.28
0.15	318.18	-0.04	803.84	1122.02	962.93	159.09	0.17	1.40
0.26	446.06	-0.10	803.40	1249.46	1026.43	223.03	0.22	1.56
0.51	669.49	-0.28	802.31	1471.80	1137.05	334.75	0.29	1.83
0.75	855.19	-0.46	802.99	1658.18	1230.59	427.59	0.35	2.07
1.00	1034.40	-0.64	801.88	1836.28	1319.08	517.20	0.39	2.29
1.23	1177.82	-0.82	802.63	1980.46	1391.55	588.91	0.42	2.47
1.54	1348.80	-0.98	801.87	2150.67	1476.27	674.40	0.46	2.68
1.74	1452.44	-1.15	803.66	2256.10	1529.88	726.22	0.47	2.81
2.05	1592.78	-1.30	802.45	2395.22	1598.83	796.39	0.50	2.98
2.56	1794.08	-1.57	802.73	2596.81	1699.77	897.04	0.53	3.23
3.07	1958.48	-1.83	803.11	2761.59	1782.35	979.24	0.55	3.44
3.48	2067.55	-2.06	803.91	2871.46	1837.69	1033.77	0.56	3.57
4.00	2185.77	-2.27	804.01	2989.79	1896.90	1092.89	0.58	3.72
4.51	2281.35	-2.45	802.44	3083.79	1943.12	1140.67	0.59	3.84
5.02	2365.42	-2.63	803.55	3168.97	1986.26	1182.71	0.60	3.94
6.14	2506.81	-2.93	803.25	3310.06	2056.65	1253.41	0.61	4.12
6.91	2578.01	-3.17	804.43	3382.44	2093.44	1289.00	0.62	4.20
7.93	2660.94	-3.40	806.46	3467.40	2136.93	1330.47	0.62	4.30
8.95	2717.07	-3.57	802.70	3519.77	2161.24	1358.53	0.63	4.38
9.97	2767.05	-3.75	803.99	3571.04	2187.52	1383.53	0.63	4.44
10.99	2805.20	-3.88	804.96	3610.16	2207.56	1402.60	0.64	4.48
12.01	2833.11	-4.02	806.00	3639.11	2222.56	1416.55	0.64	4.52
13.03	2851.05	-4.13	805.53	3656.58	2231.05	1425.52	0.64	4.54
14.06	2862.38	-4.23	803.58	3665.96	2234.77	1431.19	0.64	4.56
15.08	2866.15	-4.31	802.87	3669.02	2235.94	1433.07	0.64	4.57



GOLDER ASSOCIATES PERU S.A.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Manual de Aseguramiento de Calidad de Procedimientos de Ensayo

Registro de Calidad del Laboratorio

LAB-MS-R-017

Rev. 4

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL CONSOLIDADO DRENADO (CD)

(ASTM D7181-11)

Proyecto :
Solicitante : Amec Foster Wheeler Perú S.A.C.
Ubicación :
Fecha : 13.05.2016
N° Solicitud: LGGA-SE-16-0012

N° Informe : E0392
N° Proyecto :
Sondaje : -
Muestra : AP-029-16E-Tipo 2
Prof. (m) :

Clasificación SUCS: SW-SM LL: NP LP: NP IP: NP
Observaciones: Remoldeado a la Densidad seca de 2.10 g/cm³ y 5.0% de humedad, según solicitud del cliente.
Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados por un profesional competente en geotecnia.
Los parámetros finalmente adoptados en los diseños geotécnicos serán de responsabilidad del diseñador.

ESPECIMEN 3

Parámetro B: 0.95

ETAPA DE CONSOLIDACIÓN

Presión de Celda: 1666 kPa		Contrapresión: 56 kPa						
Esfuerzo Efectivo Inicial (σ_3): 1609 kPa								
	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Humedad (%)	Densidad Seca (g/cm ³)	Relación de Vacíos	Saturación (%)	G. Específica Promedio
INICIAL	30.51	15.24	182.41	5.0	2.100	0.338	41.5	2.810
FINAL	29.78	14.87	173.55	6.7	2.261	0.243	77.6	

Nota: La altura y diámetro iniciales son medidos, todas las demás dimensiones son calculadas.

ETAPA DE CORTE

Razón de Deformación (%/min): 0.083	Esfuerzo Principal en la Falla (kPa)		
Deformación Axial en la Falla (%): 16.2	σ_1	σ_1'	σ_3
Criterios de Falla: Esfuerzo Desv. Máximo	6862	6862	1609

Nota: Se aplicaron correcciones por membrana.

Deformación (%)	Esf. Desv. (kPa)	Def. Vol. (%)	σ_3 (kPa)	σ_1' (kPa)	p' (kPa)	q (kPa)	q/p'	Oblicuidad (σ_1'/σ_3')
0.00	0.33	0.00	1609.46	1609.78	1609.62	0.16	0.00	1.00
0.05	16.63	0.00	1609.23	1625.87	1617.55	8.32	0.01	1.01
0.10	102.11	0.00	1608.99	1711.10	1660.05	51.05	0.03	1.06
0.15	207.98	0.00	1608.86	1816.84	1712.85	103.99	0.06	1.13
0.26	482.41	-0.01	1607.02	2089.42	1848.22	241.20	0.13	1.30
0.52	932.24	-0.19	1608.56	2540.79	2074.68	466.12	0.22	1.58
0.75	1210.05	-0.36	1608.30	2818.35	2213.33	605.02	0.27	1.75
1.01	1466.56	-0.51	1609.42	3075.97	2342.69	733.28	0.31	1.91
1.24	1594.48	-0.64	1609.14	3203.61	2406.38	797.24	0.33	1.99
1.55	1912.82	-0.81	1608.06	3520.87	2564.47	956.41	0.37	2.19
1.75	2092.64	-1.06	1610.08	3702.73	2656.40	1046.32	0.39	2.30
2.06	2344.10	-1.20	1609.02	3953.12	2781.07	1172.05	0.42	2.46
2.57	2715.13	-1.55	1609.27	4324.40	2966.84	1357.57	0.46	2.69
2.98	2975.77	-1.88	1609.75	4585.52	3097.63	1487.88	0.48	2.85
3.50	3262.30	-2.18	1610.27	4872.57	3241.42	1631.15	0.50	3.03
4.01	3510.35	-2.46	1609.49	5119.84	3364.67	1755.17	0.52	3.18
4.52	3705.19	-2.89	1609.32	5314.52	3461.92	1852.60	0.54	3.30
5.03	3925.44	-3.14	1608.76	5534.20	3571.48	1962.72	0.55	3.44
5.90	4205.94	-3.57	1608.06	5814.00	3711.03	2102.97	0.57	3.62
6.93	4468.94	-3.95	1608.44	6077.38	3842.91	2234.47	0.58	3.78
7.95	4673.27	-4.28	1608.99	6282.26	3945.62	2336.64	0.59	3.90
8.98	4835.65	-4.57	1609.70	6445.35	4027.53	2417.83	0.60	4.00
10.00	4967.69	-4.83	1609.91	6577.60	4093.76	2483.84	0.61	4.09
11.03	5065.43	-5.02	1608.25	6673.69	4140.97	2532.72	0.61	4.15
12.05	5080.96	-5.23	1609.46	6690.42	4149.94	2540.48	0.61	4.16
13.08	5194.49	-5.37	1608.69	6803.18	4205.94	2597.24	0.62	4.23
14.10	5222.71	-5.50	1609.02	6831.73	4220.38	2611.36	0.62	4.25
15.13	5243.75	-5.65	1610.19	6853.95	4232.07	2621.88	0.62	4.26



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Manual de Aseguramiento de Calidad de Procedimientos de Ensayo

Registro de Calidad del Laboratorio

LAB-MS-R-017

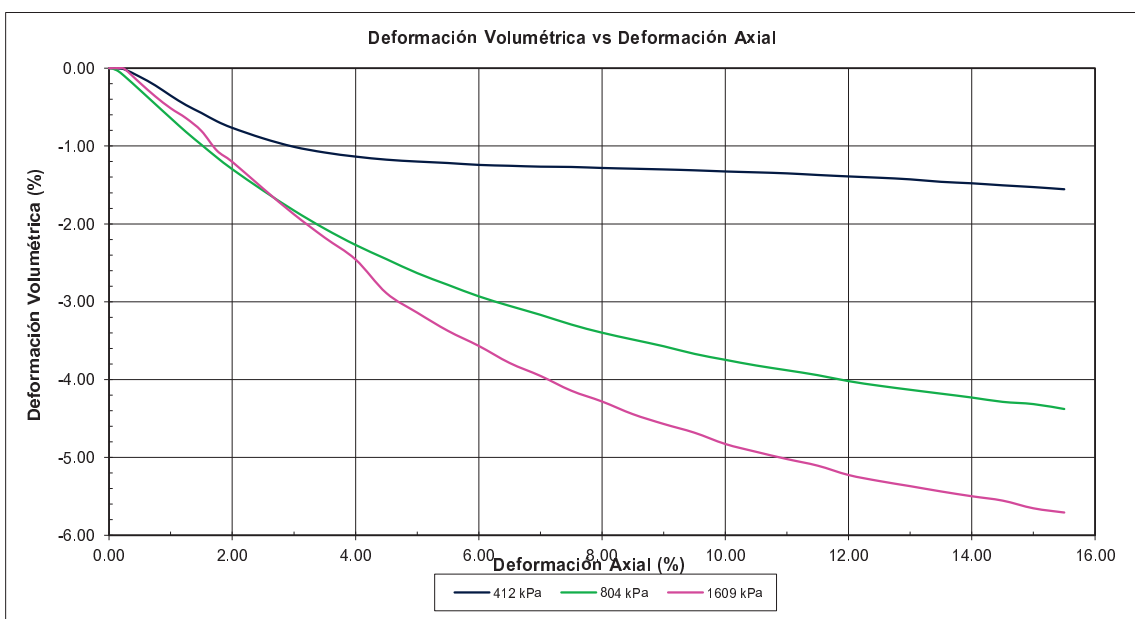
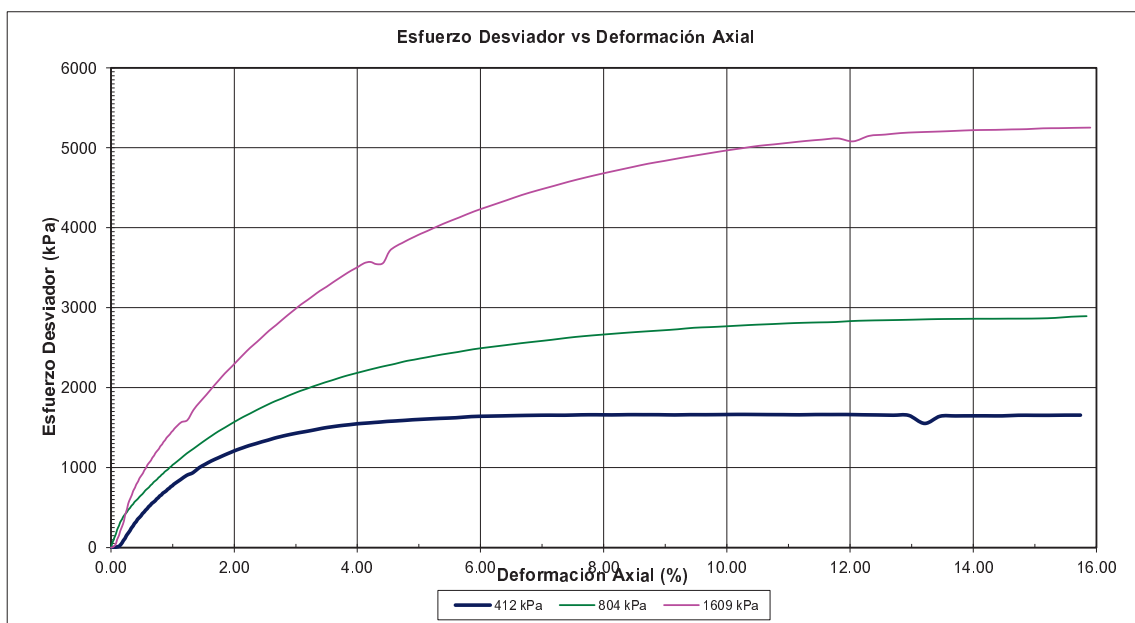
Rev. 4

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL CONSOLIDADO DRENADO (CD)
(ASTM D7181-11)

Proyecto :
Solicitante : Amec Foster Wheeler Perú S.A.C.
Ubicación :
Fecha : 13.05.2016
N° Solicitud : LGGA-SE-16-0012

N° Informe : E0392
N° Proyecto :
Sondaje : -
Muestra : AP-029-16E-Tipo 2
Prof. (m) :

Clasificación SUCS: SW-SM LL: NP LP: NP IP: NP
Observaciones: Remoldeado a la Densidad seca de 2.10 g/cm³ y 5.0% de humedad, según solicitud del cliente.
Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados por un profesional competente en geotecnia.
Los parámetros finalmente adoptados en los diseños geotécnicos serán de responsabilidad del diseñador.



Ensayado por: M.R.

Revisado y aprobado por: C.H.



GOLDER ASSOCIATES PERÚ S.A.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Manual de Aseguramiento de Calidad de Procedimientos de Ensayo

Registro de Calidad del Laboratorio

LAB-MS-R-017

Rev. 4

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL CONSOLIDADO DRENADO (CD)
(ASTM D7181-11)

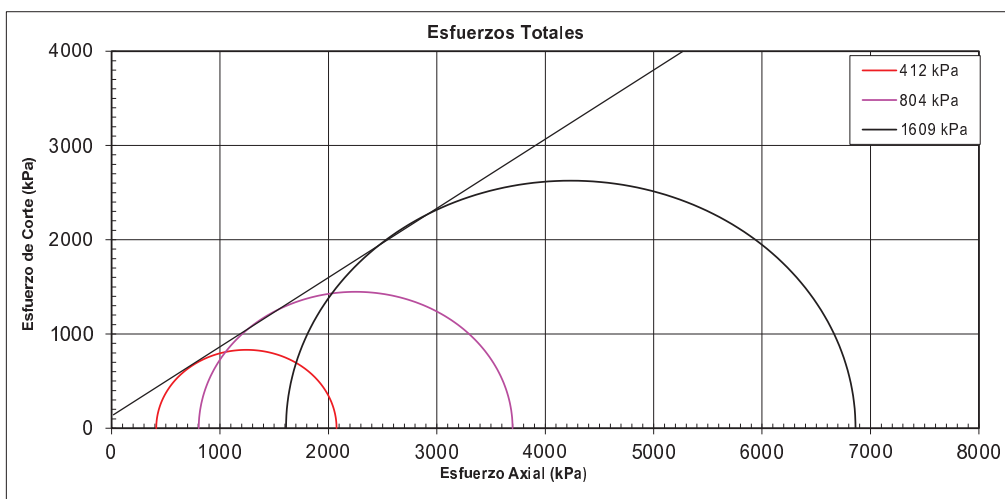
Proyecto :
Solicitante : Amec Foster Wheeler Perú S.A.C.
Ubicación :
Fecha : 13.05.2016
N° Solicitud : LGG-SE-16-0012

N° Informe : E0392
N° Proyecto : -
Sondaje : -
Muestra : AP-029-16E-Tipo 2
Prof. (m) :

Clasificación SUCS: SW-SM LL: NP LP: NP IP: NP
Observaciones: Remoldeado a la Densidad seca de 2.10 g/cm³ y 5.0% de humedad, según solicitud del cliente.
Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados por un profesional competente en geotecnia.
Los parámetros finalmente adoptados en los diseños geotécnicos serán de responsabilidad del diseñador.

CIRCULOS DE ESFUERZOS DE MOHR

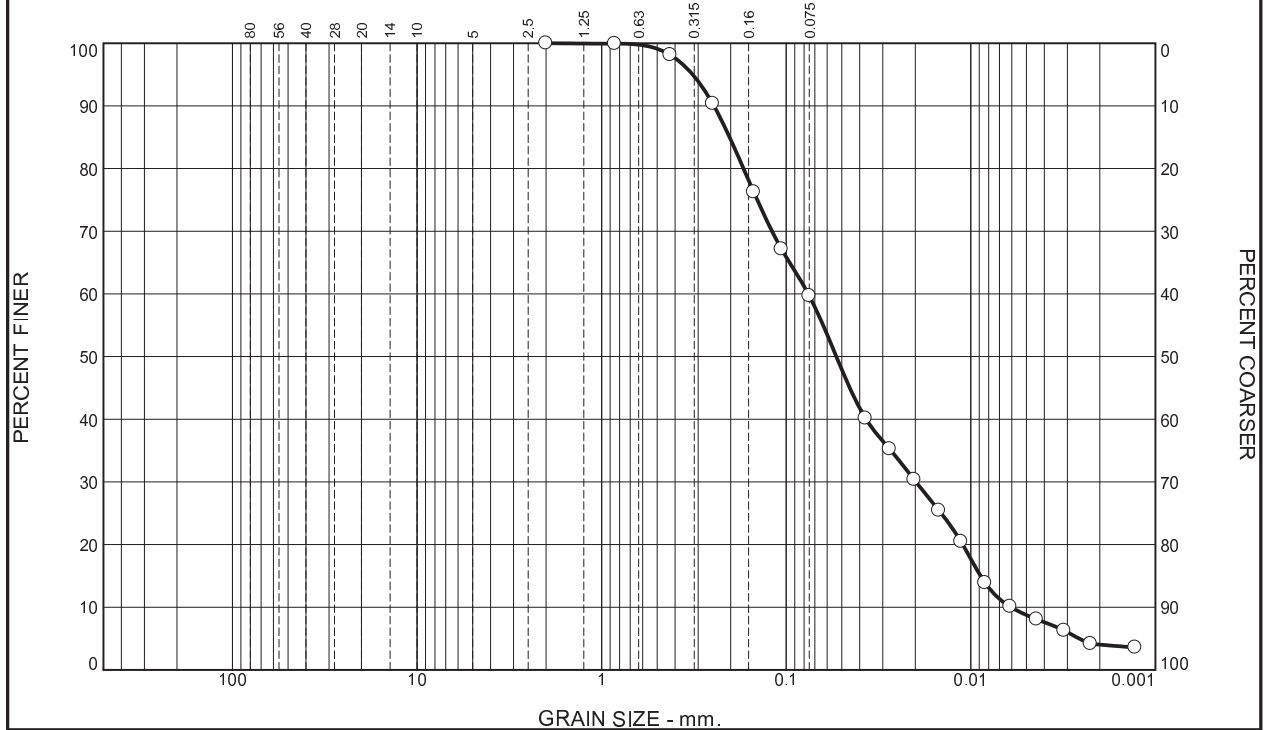
PARAMETROS DE RESISTENCIA	
COHESIÓN (kPa)	ANG. DE FRICCIÓN (°)
114	37



Ensayado Por: M.R.

Revisado y Aprobado Por: C.H.

Particle Size Distribution Report



% +3"	% Gravel		% Sand			% Fines	
	Coarse	Fine	Coarse	Medium	Fine	Silt	Clay
0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	38.4	50.9	8.8

SIEVE SIZE	PERCENT FINER	SPEC.* PERCENT	PASS? (X=NO)
#10	100.0		
#20	99.9		
#40	98.1		
#60	90.3		
#100	76.3		
#140	67.1		
#200	59.7		
0.0372 mm.	40.1		
0.0275 mm.	35.2		
0.0203 mm.	30.3		
0.0149 mm.	25.4		
0.0113 mm.	20.5		
0.0084 mm.	13.9		
0.0061 mm.	10.1		
0.0044 mm.	8.1		
0.0031 mm.	6.3		
0.0022 mm.	4.2		
0.0013 mm.	3.6		

* (no specification provided)

Soil Description
sandy silty clay

Atterberg Limits
PL= 17 LL= 24 PI= 7

Coefficients
 D₉₀= 0.2463 D₈₅= 0.2028 D₆₀= 0.0759
 D₅₀= 0.0535 D₃₀= 0.0198 D₁₅= 0.0089
 D₁₀= 0.0060 C_u= 12.56 C_c= 0.86

Classification
USCS= CL-ML AASHTO= A-4(2)

Remarks
Ubicación: Tunshuruco, Proyecto Toromocho, Junín, Perú

Source of Sample: Relave Depth: -
Sample Number: E0345

Date: 08/04/2016

Golder Associates Perú S.A.

Lima, Perú

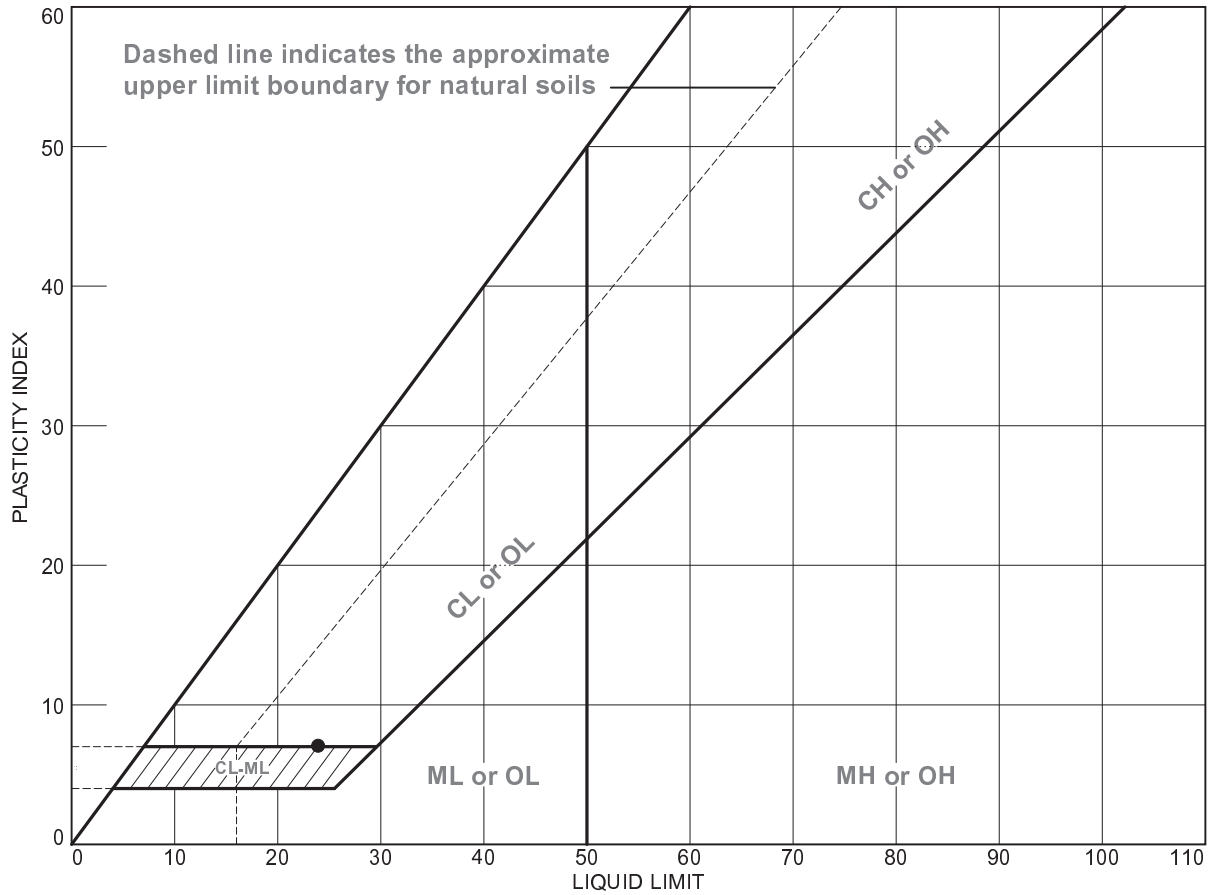
Client: Amec Foster Wheeler Perú S.A.C.
Project: Ingeniería de Registro Toromocho

Project No: 181359

Figure 01

Tested By: Tec. José Carlos Barrera Checked By: Ing. Carlos Huamán

LIQUID AND PLASTIC LIMITS TEST REPORT



SOIL DATA								
SYMBOL	SOURCE	SAMPLE NO.	DEPTH	NATURAL WATER CONTENT (%)	PLASTIC LIMIT (%)	LIQUID LIMIT (%)	PLASTICITY INDEX (%)	USCS
●	Relave	E0345	-		17	24	7	CL-ML

Golder Associates Perú S.A.

Lima, Perú

Client: Amec Foster Wheeler Perú S.A.C.
Project: Ingeniería de Registro Toromocho.

Project No.: 181359

Figure 01

Tested By: Tec. José Carlos Barrera **Checked By:** Ing. Carlos Huamán



GOLDER ASSOCIATES PERÚ S.A

Manual de Aseguramiento de Calidad	Control de documentos	
Registro de Calidad Mecánica de Suelos	149-41G-13LRS07	Rev. 1

GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS ASTM D854-10/ AASHTO T 100

Proyecto	: Ingeniería de Registro Toromocho	N° Solicitud	: LGGA-SE-16-0011
N° Proyecto	: 181359	Solicitante	: Ing. Carlos Guerra
Cliente	: Amec Foster Wheeler Perú S.A.C	Ejecutado por	: Tec. Jorge Pulido
Ubicación	: Tunshuruco, Proyecto Toromocho, Junín, Perú.	Revisado por	: Ing. Carlos Huamán
Fecha	: 08/04/2016	Muestra	: Relave
ID Laboratorio	: E0345	Profundidad (m)	: -

					Promedio
N° de picnómetro		Fiola 2	Fiola 17		
Peso de tara	(g)	106.79	98.32		
Peso de tara + muestra seca	(g)	157.91	149.31		
Peso de la muestra seca	(g)	51.12	50.99		
Peso del picnómetro lleno de agua	(g)	355.59	347.20		
Peso picnómetro+muestra +agua hasta el enrase	(g)	388.99	380.55		
Coefficiente de Temperatura ⁽¹⁾		0.99842	0.99847		
Gravedad Especifica	Gs	2.880	2.886		2.88
Temperatura del agua	° C	26.6	26.4		

⁽¹⁾ Tabla 2 Norma ASTM D854

Observaciones :



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

Manual de Aseguramiento de Calidad de Procedimientos de Ensayo

Registro de Calidad Mecánica de Suelos

149-41G-13LRS06

Rev. 1

ENSAYO DE MEDICION DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA DE MATERIALES POROSOS SATURADOS USANDO UN PERMEAMETRO DE PARED FLEXIBLE METODO C (ASTM D5084-03)

Proyecto : Ingeniería de Registro Toromocho **N° de Solicitud** : LGGA-SE-16-0011
N° Proyecto : 181359 **Solicitante** : Ing. Carlos Guerra
Ciente : Amec Foster Wheeler Perú S.A. **Ejecutado por** : Marco Rivera
Ubicación : Tunshuruco, Proyecto Toromocho, Junín, Perú **Revisado por** : Ing. Carlos Huaman
Fecha : 28.04.16 **Muestra** : Relave
ID Laboratorio : E345-3 **Profundidad:** : -

Clasificación SUCS: CL-ML LL: 24 LP: 17 IP: 7

Observaciones:

Espécimen remoldeado a la densidad seca de 1.460 g/cm³, con una humedad de 10.0%. Ensayo realizado de acuerdo a indicaciones del solicitante. Parámetro "B" : 0.98

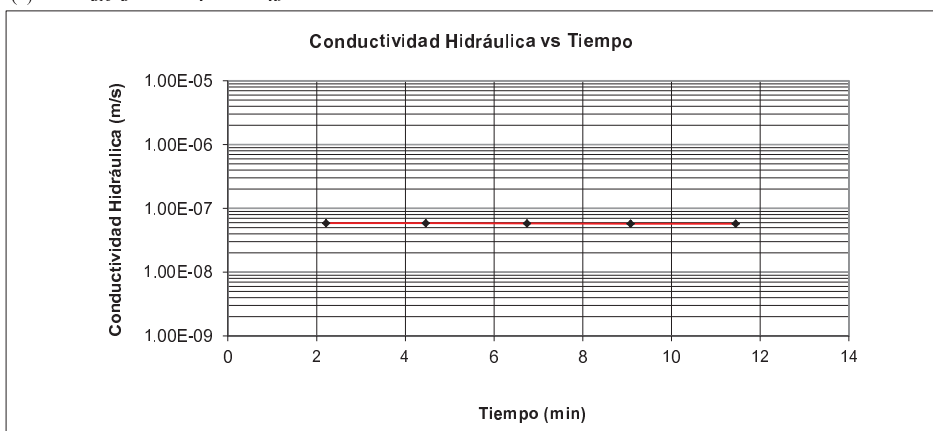
DATOS DEL ENSAYO

	Humedad (%)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Densidad Seca g/cm ³	Saturación (%)
Inicial:	10.0	7.2	7.2	1.460	30
Final:	19.5	6.6	6.6	1.832	98

Presión de Celda (kPa):	992	Contra Presión Total (kPa):	193
Presión Efectiva (kPa):	799	Temperatura del Agua (°C):	27.9

Tiempo (min.)	G. Hidráulico	Volumen Acumulado (ml)	K ₂₀ (m/s)
0.00	15.1	0.0	
2.22	15.0	0.5	5.9E-08
4.47	14.8	1.0	5.8E-08
6.75	14.7	1.5	5.8E-08
9.08	14.5	2.0	5.8E-08
11.45	14.4	2.5	5.7E-08
Conductividad Hidráulica⁽¹⁾			5.8E-08

(1) Promedio de las 5 últimas lecturas





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Manual de Aseguramiento de Calidad de Procedimientos de Ensayo

Registro de Calidad del Laboratorio

LAB-MS-R-017

Rev. 4

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO (CU)
(ASTM D4767-00)

Proyecto : Ingeniería de Registro Toromocho
Solicitante : Amec Foster Wheeler S.A.C.
Ubicación : Tunshuruco, Proyecto, Toromocho, Junín, Perú.
Fecha : 4 de mayo de 2016
Nº Solicitud : LGGA-SE-16-0011

Nº Informe : E0345
Nº Proyecto : 181359
Sondaje : -
Muestra : Relave
Prof. (m) : -

Clasificación SUCS: CL-ML LL: 24 LP: 17 IP: 7
 Observaciones: Remoldeado a la densidad seca de 1.46 g/cm³ y 10.0% de humedad, según solicitud del cliente.
 Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados por un profesional competente en geotecnia.
 Los parámetros finalmente adoptados en los diseños geotécnicos serán de responsabilidad del diseñador.

ESPECIMEN 1

Parámetro B: 0.98

ETAPA DE CONSOLIDACIÓN

Presión de Celda: 790 kPa					Contrapresión: 544 kPa			
Esfuerzo Efectivo Inicial (σ_3): 247 kPa								
	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Humedad (%)	Densidad Seca (g/cm ³)	Relación de Vacíos	Saturación (%)	G. Especifica Promedio
INICIAL	14.20	7.14	40.01	10.1	1.464	0.967	30.1	2.880
FINAL	13.62	6.83	36.63	25.0	1.666	0.728	98.8	

Nota: La altura y diámetro iniciales son medidos, todas las demás dimensiones son calculadas.

ETAPA DE CORTE

Razón de Deformación (%/min): 0.083		Esfuerzo Principal en la Falla (kPa)			
Deformación Axial en la Falla (%): 1.0		σ_1	σ_1'	σ_3	σ_3'
Criterios de Falla: Esfuerzo Desv. Máximo		377	211	247	80

Nota: Se aplicaron correcciones por membrana.

Deformación (%)	Esf. Desv. (kPa)	P. Poros (kPa)	σ_3' (kPa)	σ_1' (kPa)	p' (kPa)	q (kPa)	q/p'	Oblicuidad (σ_1'/σ_3')
0.00	3.30	0.00	246.51	249.81	248.16	1.65	0.01	1.01
0.05	45.01	13.76	232.75	277.76	255.25	22.50	0.09	1.19
0.10	69.66	32.42	214.09	283.75	248.92	34.83	0.14	1.33
0.24	98.51	71.76	174.75	273.26	224.00	49.26	0.22	1.56
0.31	108.06	94.98	151.52	259.59	205.56	54.03	0.26	1.71
0.50	122.19	126.93	119.57	241.76	180.67	61.09	0.34	2.02
0.74	128.74	150.91	95.60	224.34	159.97	64.37	0.40	2.35
1.00	130.95	166.77	79.73	210.69	145.21	65.48	0.45	2.64
1.26	130.31	177.31	69.20	199.51	134.36	65.16	0.48	2.88
1.57	129.97	185.76	60.74	190.71	125.73	64.98	0.52	3.14
1.78	129.02	189.87	56.64	185.66	121.15	64.51	0.53	3.28
2.10	128.24	194.72	51.79	180.02	115.90	64.12	0.55	3.48
2.51	126.30	199.41	47.09	173.40	110.24	63.15	0.57	3.68
2.93	125.19	202.82	43.68	168.88	106.28	62.60	0.59	3.87
3.56	123.41	206.34	40.17	163.58	101.88	61.71	0.61	4.07
4.08	121.81	208.38	38.12	159.93	99.03	60.90	0.62	4.20
4.50	120.97	209.81	36.70	157.66	97.18	60.48	0.62	4.30
5.02	120.22	211.22	35.28	155.50	95.39	60.11	0.63	4.41
6.01	118.51	213.15	33.35	151.86	92.60	59.25	0.64	4.55
7.05	117.76	214.20	32.30	150.07	91.18	58.88	0.65	4.65
8.09	115.53	215.28	31.23	146.76	88.99	57.76	0.65	4.70
9.13	114.78	215.77	30.74	145.51	88.12	57.39	0.65	4.73
10.18	114.49	216.15	30.36	144.85	87.61	57.25	0.65	4.77
11.22	113.86	216.30	30.21	144.06	87.14	56.93	0.65	4.77
12.00	113.19	216.39	30.11	143.31	86.71	56.60	0.65	4.76
13.04	111.84	216.63	29.87	141.71	85.79	55.92	0.65	4.74
14.09	109.76	217.13	29.38	139.14	84.26	54.88	0.65	4.74
15.13	107.84	217.00	29.50	137.34	83.42	53.92	0.65	4.66



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Manual de Aseguramiento de Calidad de Procedimientos de Ensayo

Registro de Calidad del Laboratorio

LAB-MS-R-017

Rev. 4

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO (CU)
(ASTM D4767-00)

Proyecto : Ingeniería de Registro Toromocho
Solicitante : Amec Foster Wheeler S.A.C.
Ubicación : Tunshuruco, Proyecto, Toromocho, Junín, Perú.
Fecha : 04 de mayo de 2016
Nº Solicitud: LGGA-SE-16-0011

Nº Informe : E0345
Nº Proyecto : 181359
Sondaje : -
Muestra : Relave
Prof. (m) : -

Clasificación SUCS:	CL-ML	LL: 24	LP: 17	IP: 7
Observaciones: Remoldeado a la densidad seca de 1.46 g/cm ³ y 10.0% de humedad, según solicitud del cliente.				
Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados por un profesional competente en geotecnia.				
Los parámetros finalmente adoptados en los diseños geotécnicos serán de responsabilidad del diseñador.				

ESPECIMEN 2

Parámetro B: 0.97

ETAPA DE CONSOLIDACIÓN

Presión de Celda: 1044 kPa				Contrapresión: 544 kPa				
Esfuerzo Efectivo Inicial (σ_3): 500 kPa								
	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Humedad (%)	Densidad Seca (g/cm ³)	Relación de Vacíos	Saturación (%)	G. Especifica Promedio
INICIAL	14.20	7.14	40.01	10.2	1.462	0.969	30.4	2.880
FINAL	13.45	6.73	35.56	22.5	1.737	0.658	98.4	

Nota: La altura y diámetro iniciales son medidos, todas las demás dimensiones son calculadas.

ETAPA DE CORTE

Razón de Deformación (%/min):	0.083	Esfuerzo Principal en la Falla (kPa)			
Deformación Axial en la Falla (%):	1.3	σ_1	σ_1'	σ_3	σ_3'
Criterios de Falla:	Esfuerzo Desv. Máximo	783	454	500	171

Nota: Se aplicaron correcciones por membrana.

Deformación (%)	Esf. Desv. (kPa)	P. Poros (kPa)	σ_3' (kPa)	σ_1' (kPa)	p' (kPa)	q (kPa)	q/p'	Oblicuidad (σ_1'/σ_3')
0.00	3.34	0.00	500.11	503.46	501.79	1.67	0.00	1.01
0.05	60.94	14.42	485.69	546.63	516.16	30.47	0.06	1.13
0.11	121.47	38.43	461.69	583.16	522.42	60.74	0.12	1.26
0.21	184.15	96.90	403.22	587.36	495.29	92.07	0.19	1.46
0.35	227.16	159.59	340.52	567.69	454.10	113.58	0.25	1.67
0.51	255.54	214.65	285.47	541.00	413.23	127.77	0.31	1.90
0.75	274.50	267.60	232.52	507.01	369.77	137.25	0.37	2.18
1.01	281.85	305.39	194.73	476.58	335.65	140.93	0.42	2.45
1.28	282.51	328.94	171.17	453.68	312.43	141.26	0.45	2.65
1.59	281.86	348.46	151.65	433.51	292.58	140.93	0.48	2.86
1.81	280.39	357.59	142.53	422.92	282.72	140.19	0.50	2.97
2.02	279.39	365.05	135.07	414.46	274.76	139.70	0.51	3.07
2.55	277.64	378.00	122.12	399.75	260.94	138.82	0.53	3.27
3.07	274.55	386.32	113.79	388.34	251.07	137.28	0.55	3.41
3.50	272.74	391.33	108.79	381.53	245.16	136.37	0.56	3.51
3.50	272.74	391.33	108.79	381.53	245.16	136.37	0.56	3.51
4.03	271.11	395.78	104.33	375.44	239.88	135.55	0.57	3.60
4.55	269.80	399.34	100.77	370.57	235.67	134.90	0.57	3.68
5.08	269.38	401.83	98.28	367.66	232.97	134.69	0.58	3.74
6.09	268.65	405.26	94.85	363.51	229.18	134.33	0.59	3.83
7.14	268.58	407.52	92.59	361.17	226.88	134.29	0.59	3.90
8.20	269.00	408.75	91.36	360.36	225.86	134.50	0.60	3.94
9.25	269.07	409.43	90.69	359.76	225.22	134.54	0.60	3.97
10.05	269.05	409.97	90.15	359.20	224.67	134.53	0.60	3.98
11.10	268.90	410.22	89.90	358.80	224.35	134.45	0.60	3.99
12.16	269.42	410.22	89.89	359.32	224.60	134.71	0.60	4.00
14.01	267.99	410.21	89.91	357.90	223.90	133.99	0.60	3.98
15.06	267.45	410.02	90.09	357.54	223.82	133.72	0.60	3.97



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Manual de Aseguramiento de Calidad de Procedimientos de Ensayo

Registro de Calidad del Laboratorio

LAB-MS-R-017

Rev. 4

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO (CU)
(ASTM D4767-00)

Proyecto : Ingeniería de Registro Toromocho
Solicitante : Amec Foster Wheeler S.A.C.
Ubicación : Tunshuruco, Proyecto, Toromocho, Junín, Perú.
Fecha : 42494
Nº Solicitud : LGGA-SE-16-0011

Nº Informe : E0345
Nº Proyecto : 18359
Sondaje : -
Muestra : Relave
Prof. (m) : -

Clasificación SUCS: CL-ML LL: 24 LP: 17 IP: 7
 Observaciones: Remoldeado a la densidad seca de 1.46 g/cm³ y 10.0% de humedad, según solicitud del cliente.
 Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados por un profesional competente en geotecnia.
 Los parámetros finalmente adoptados en los diseños geotécnicos serán de responsabilidad del diseñador.

ESPECIMEN 3

Parámetro B: 0.98

ETAPA DE CONSOLIDACIÓN

Presión de Celda: 1551 kPa					Contrapresión: 544 kPa			
Esfuerzo Efectivo Inicial (σ_3): 1006 kPa								
	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Humedad (%)	Densidad Seca (g/cm ³)	Relación de Vacíos	Saturación (%)	G. Especifica Promedio
INICIAL	14.20	7.14	40.01	10.3	1.462	0.970	30.5	2.880
FINAL	13.32	6.65	34.74	20.6	1.794	0.605	98.1	

Nota: La altura y diámetro iniciales son medidos, todas las demás dimensiones son calculadas.

ETAPA DE CORTE

Razón de Deformación (%/min): 0.083		Esfuerzo Principal en la Falla (kPa)			
Deformación Axial en la Falla (%): 12.9		σ_1	σ_1'	σ_3	σ_3'
Criterios de Falla: Esfuerzo Desv. Máximo		1609	798	1006	195

Nota: Se aplicaron correcciones por membrana.

Deformación (%)	Esf. Desv. (kPa)	P. Poros (kPa)	σ_3' (kPa)	σ_1' (kPa)	p' (kPa)	q (kPa)	q/p'	Oblicuidad (σ_1'/σ_3')
0.00	3.11	0.00	1006.42	1009.53	1007.98	1.56	0.00	1.00
0.05	5.95	0.87	1005.55	1011.50	1008.52	2.97	0.00	1.01
0.11	110.93	19.46	986.96	1097.90	1042.43	55.47	0.05	1.11
0.21	257.86	88.88	917.54	1175.39	1046.46	128.93	0.12	1.28
0.35	367.71	192.34	814.08	1181.79	997.93	183.86	0.18	1.45
0.51	458.99	307.54	698.88	1157.87	928.37	229.49	0.25	1.66
0.75	539.49	445.38	561.04	1100.52	830.78	269.74	0.32	1.96
1.02	577.52	550.70	455.72	1033.24	744.48	288.76	0.39	2.27
1.28	591.02	617.00	389.42	980.44	684.93	295.51	0.43	2.52
1.50	593.83	654.49	351.93	945.76	648.84	296.91	0.46	2.69
1.71	594.18	682.49	323.93	918.11	621.02	297.09	0.48	2.83
2.03	592.69	713.45	292.97	885.66	589.32	296.34	0.50	3.02
2.57	588.14	744.51	261.91	850.05	555.98	294.07	0.53	3.25
3.00	586.03	759.70	246.72	832.76	539.74	293.02	0.54	3.38
3.53	583.63	775.18	231.24	814.87	523.05	291.81	0.56	3.52
4.06	582.73	787.92	218.50	801.23	509.87	291.36	0.57	3.67
4.49	582.38	794.59	211.83	794.21	503.02	291.19	0.58	3.75
5.03	583.19	799.06	207.36	790.54	498.95	291.59	0.58	3.81
6.15	585.48	806.59	199.83	785.31	492.57	292.74	0.59	3.93
7.21	590.07	811.34	195.08	785.15	490.12	295.04	0.60	4.02
8.01	592.45	813.39	193.03	785.48	489.25	296.23	0.61	4.07
9.08	593.71	811.04	195.38	789.09	492.24	296.85	0.60	4.04
10.15	597.26	810.09	196.33	793.59	494.96	298.63	0.60	4.04
11.21	600.13	811.61	194.81	794.93	494.87	300.06	0.61	4.08
12.01	602.50	813.09	193.33	795.83	494.58	301.25	0.61	4.12
13.08	602.97	814.25	192.17	795.15	493.66	301.49	0.61	4.14
14.15	601.88	811.66	194.76	796.64	495.70	300.94	0.61	4.09
15.21	601.03	810.49	195.93	796.95	496.44	300.51	0.61	4.07

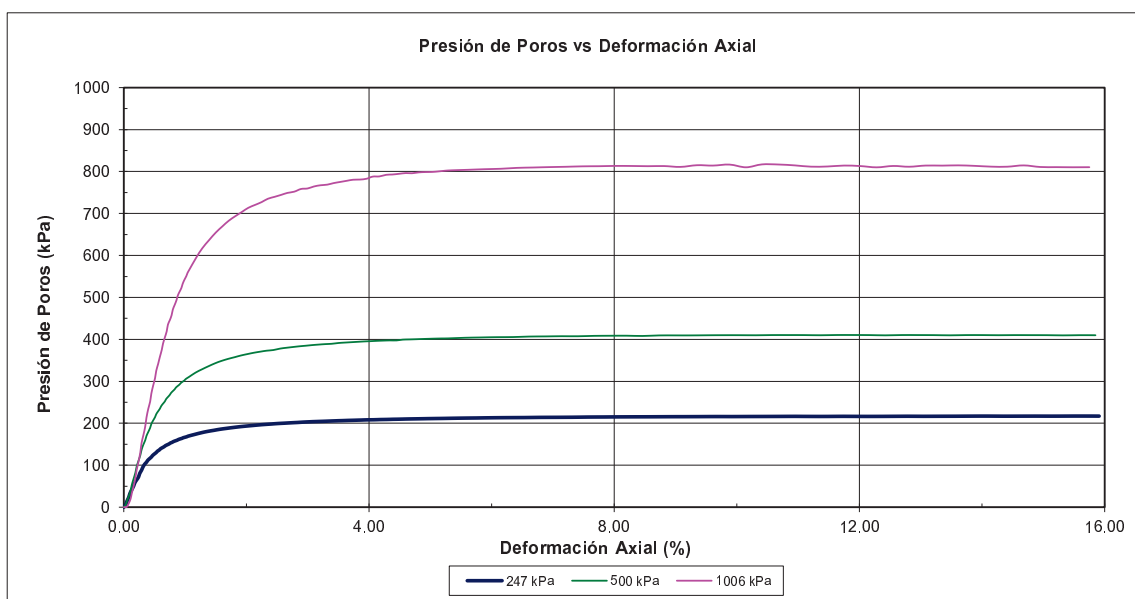
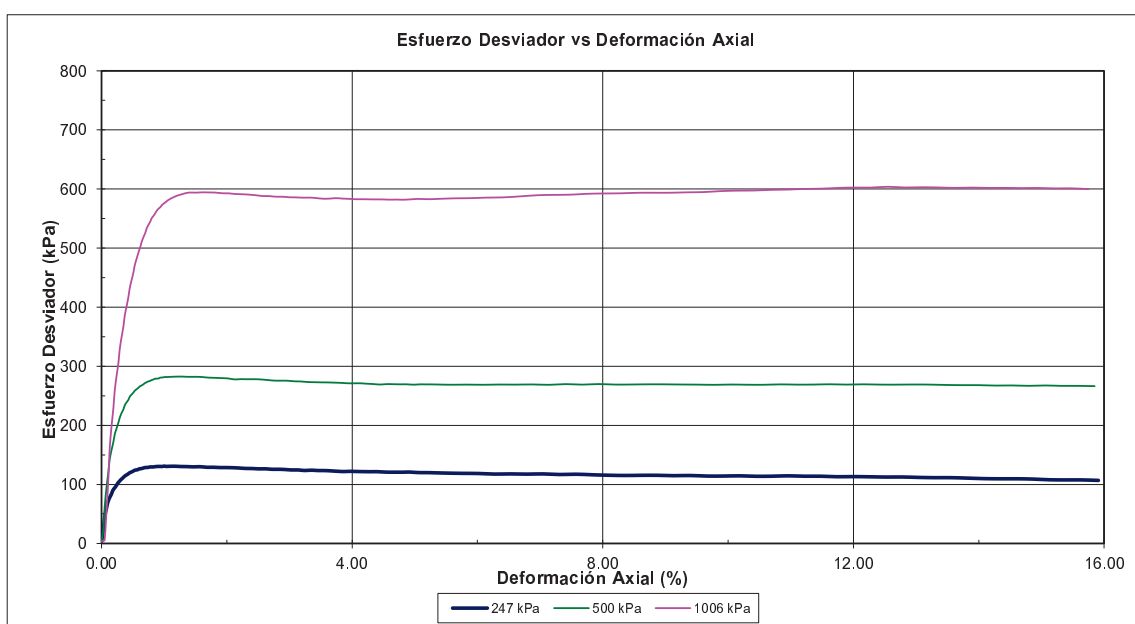


ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO (CU)
(ASTM D4767-00)

Proyecto : Ingeniería de Registro Toromocho
Solicitante : Amec Foster Wheeler S.A.C.
Ubicación : Tunshuruco, Proyecto, Toromocho, Junín, Perú.
Fecha : 04 de mayo de 2016
N° Solicitud : LGGA-SE-16-0011

N° Informe : E0345
N° Proyecto : 181359
Sondaje : -
Muestra : Relave
Prof. (m) : -

Clasificación SUCS: CL-ML LL: 24 LP: 17 IP: 7
Observaciones: Remoldeado a la densidad seca de 1.46 g/cm³ y 10.0% de humedad, según solicitud del cliente.
Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados por un profesional competente en geotecnia.
Los parámetros finalmente adoptados en los diseños geotécnicos serán de responsabilidad del diseñador.





GOLDER ASSOCIATES PERÚ S.A.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Manual de Aseguramiento de Calidad de Procedimientos de Ensayo

Registro de Calidad del Laboratorio

LAB-MS-R-017

Rev. 4

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO (CU)
(ASTM D4767-00)

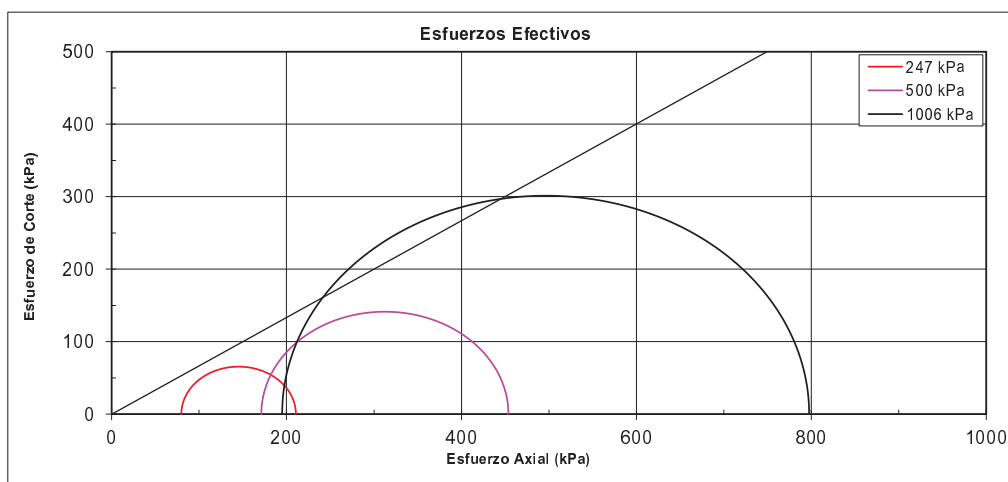
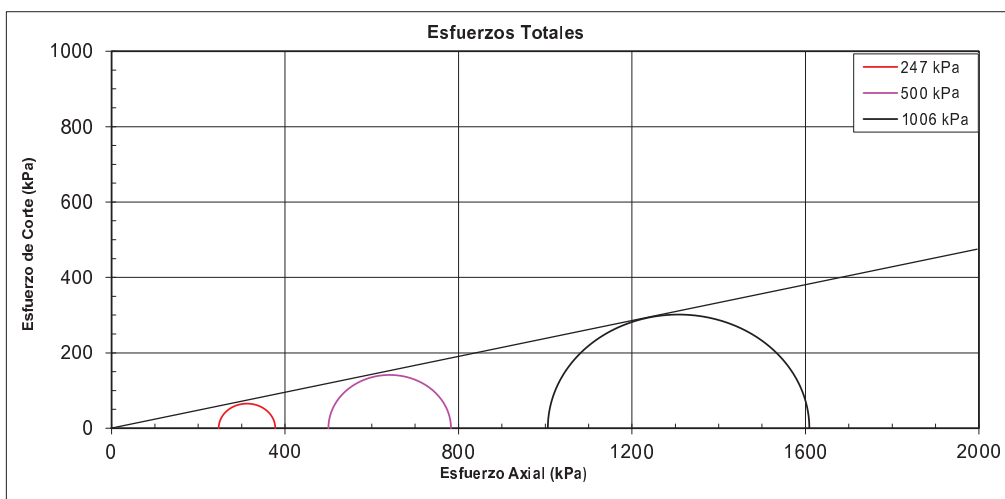
Proyecto : Ingeniería de Registro Toromocho
Solicitante : Amec Foster Wheeler S.A.C.
Ubicación : Tunshuruco, Proyecto, Toromocho, Junín, Perú.
Fecha : 4 de mayo de 2016
N° Solicitud: LGG-SE-16-0011

N° Informe : E0345
N° Proyecto : 181359
Sondaje : -
Muestra : Relave
Prof. (m) : -

Clasificación SUCS: CL-ML LL: 24 LP: 17 IP: 7
Observaciones: Remoldeado a la densidad seca de 1.46 g/cm³ y 10.0% de humedad, según solicitud del cliente.
Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados por un profesional competente en geotecnia.
Los parámetros finalmente adoptados en los diseños geotécnicos serán de responsabilidad del diseñador.

CIRCULOS DE ESFUERZOS DE MOHR

ESFUERZO	PARAMETROS DE RESISTENCIA	
	COHESIÓN (kPa)	ANG. DE FRICCIÓN (°)
TOTAL	0	13
EFFECTIVO	0	34



Ensayado Por: M.R.

Revisado y Aprobado Por: C.H.



GOLDER ASSOCIATES PERÚ S.A.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Manual de Aseguramiento de Calidad de Procedimientos de Ensayo

Registro de Calidad del Laboratorio

LAB-MS-R-017

Rev. 4

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO (CU)
(ASTM D4767-00)

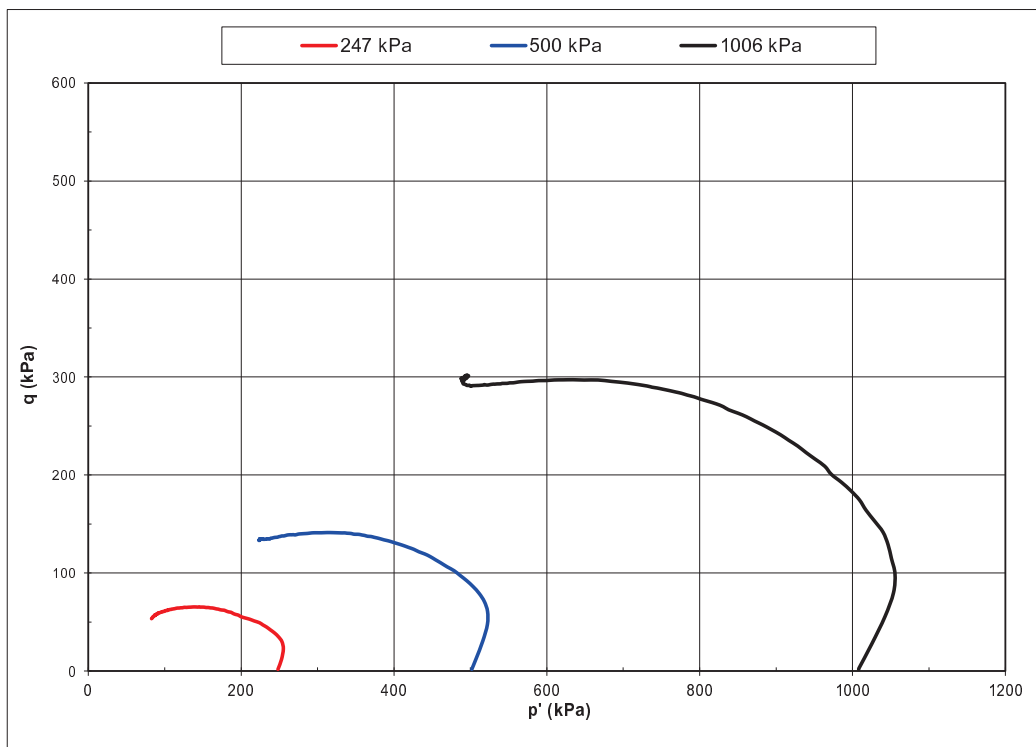
Proyecto : Ingeniería de Registro Toromocho
Solicitante : Amec Foster Wheeler S.A.C.
Ubicación : Tunshuruco, Proyecto, Toromocho, Junín, Perú.
Fecha : 04 de mayo de 2016
N° Solicitud : LGGA-SE-16-0011

N° Informe : E0345
N° Proyecto : 181359
Sondaje : -
Muestra : Relave
Prof. (m) : -

Clasificación SUCS: CL-ML LL: 24 LP: 17 IP: 7

Observaciones: Remoldeado a la densidad seca de 1.46 g/cm³ y 10.0% de humedad, según solicitud del cliente.
Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados por un profesional competente en geotecnia.
Los parámetros finalmente adoptados en los diseños geotécnicos serán de responsabilidad del diseñador.

Diagrama p' q



Ensayado por: M.R.

Revisado y aprobado por: C.H.

ANEXO C

REGISTRO DE PERFORACIONES



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710878.316
 Coordenada Este: 376023.939
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4733.882
 Profundidad Total (m): 160.00

Registrado por: MA / IM
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 22/03/2016
 Fecha de Término: 01/04/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-01
 Nivel de Agua Final de Sonda: 158.810
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 158.810

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (UL), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (IS50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación	RQD %	Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro
0 - 0.4		Caliza				R3				0	10	22 MALA	
0.4 - 1.4		Caliza con venillas de calcita			PLT-1 1.81	R3				25	10	69 BUENA	
1.4 - 2.75		Caliza con venillas de calcita				R3				10	10	45 REGULAR	Bentonita
2.75 - 3.75		Caliza con venillas de calcita				R3				10	10	40 MALA	
3.75 - 5.3		Caliza con venillas de calcita				R5				20	10	67 BUENA	Tubería lisa
5.3 - 6.6		Caliza muy alterada y fracturada			PLT-2 4.07	R3				0	10	35 MALA	
6.6 - 7		Caliza muy alterada y fracturada				R3				0	10	22 MALA	
7 - 8.2		Caliza muy alterada y fracturada				R3				10	10	40 MALA	
8.2 - 8.8		Caliza muy alterada y fracturada				R3				10	10	32 MALA	Grouting
8.8 - 9.8		Caliza				R3				10	10	35 MALA	
9.8 - 10		Caliza				R3				10	10	32	

LUGEON 1
 (De 4.8 a 9.80m)
 Tipo de Flujo:
 Flujo Turbulento
 Unidades Lugeon:
195.56
 Permeabilidad:
2.41E-03

LEYENDA

RQD (Rock Quality Designation)		GRADO DE RESISTENCIA		MPa	CONDICIÓN DE JUNTA		CONDICIÓN DE AGUA		RMR (Rock Mass Rating)		
0 - 25 %	Muy pobre	R0	Roca extremadamente debil	0.25 - 1	0	Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	4	Agua fluyendo	0	0 - 20	Muy mala
25 - 50 %	Pobre	R1	Roca muy debil	1.0 - 5.0	10	Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	0	Agua goteando	4	21 - 40	Mala
50 - 75 %	Regular	R2	Roca debil	5.0 - 25	20	Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, muy meteorizada	1	Mojado	7	41 - 60	Regular
75 - 90 %	Buena	R3	Roca medianamente dura	25 - 50	25	Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, ligeramente meteorizada	2	Humedo	10	61 - 80	Buena
90 - 100 %	Excelente	R4	Roca dura	50 - 100	30	Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	3	Totalmente Seco	15	81 - 100	Muy buena
		R5	Roca muy dura	100 - 250							
		R6	Roca extremadamente dura	>250							



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710878.316
 Coordenada Este: 376023.939
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4733.882
 Profundidad Total (m): 160.00

Registrado por: MA / IM
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 22/03/2016
 Fecha de Término: 01/04/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-01
 Nivel de Agua Final de Sonda: 158.810
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 158.810

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (UL), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (IS50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación	RQD %	Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro
11		(10 m - 10.6 m) Caliza				R3				10	10	32 MALA	
		(10.6 m - 10.9 m) Caliza				R3				10	10	32 MALA	
		(10.9 m - 11.3 m) Caliza				R3				10	10	35 MALA	
		(11.3 m - 11.9 m) Caliza				R3				10	10	35 MALA	
12		(11.9 m - 12.9 m) Caliza				R3				10	10	35 MALA	
13		(12.9 m - 13.4 m) Caliza				R3				10	10	32 MALA	
		(13.4 m - 14.15 m) Caliza				R3				10	10	32 MALA	
14		(14.15 m - 14.65 m) Caliza				R3				10	10	32 MALA	
		(14.65 m - 15.05 m) Caliza				R3				10	10	32 MALA	
15		(15.05 m - 15.7 m) Caliza				R3				10	10	32 MALA	
		(15.7 m - 16.8 m) Caliza				R3				10	10	32 MALA	
17		(16.8 m - 18.3 m) Caliza		M-4 (16.8-16.9m) Densidad seca: 2.673 gr/cm³ Densidad Saturada: 2.691 gr/cm³ Porosidad Aparente: 1.754% Absorción: 0.657%		R5				20	10	69 BUENA	
18		(18.3 m - 19.85 m) Caliza		M-6 (17.03-17.24m) PROPIEDADES ELÁSTICAS Módulo de Elasticidad: 13.3 GPa Constante de Poisson: 0.26 Resistencia última: 66.87 MPa	PLT-3 6.47	R5				20	10	72 BUENA	
19		(19.85 m - 21.25 m) Caliza				R5				10	10		

LEYENDA

RQD (Rock Quality Designation)	GRADO DE RESISTENCIA	MPa	CONDICIÓN DE JUNTA	CONDICIÓN DE AGUA	RMR (Rock Mass Rating)
0 - 25 % Muy pobre	R0 Roca extremadamente debil	0.25 - 1	0 Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	Agua fluyendo 0	0 - 20 Muy mala
25 - 50 % Pobre	R1 Roca muy débil	1.0 - 5.0	10 Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	Agua goteando 4	21 - 40 Mala
50 - 75 % Regular	R2 Roca débil	5.0 - 25	20 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, muy meteorizada	Mojado 7	41 - 60 Regular
75 - 90 % Buena	R3 Roca medianamente dura	25 - 50	25 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, ligeramente meteorizada	Húmedo 10	61 - 80 Buena
90 - 100 % Excelente	R4 Roca dura	50 -100	30 Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	Totalmente Seco 15	81 - 100 Muy buena
	R5 Roca muy dura	100 -250			
	R6 Roca extremadamente dura	>250			



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710878.316
 Coordenada Este: 376023.939
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4733.882
 Profundidad Total (m): 160.00

Registrado por: MA / IM
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 22/03/2016
 Fecha de Término: 01/04/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-01
 Nivel de Agua Final de Sondaje: 158.810
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 158.810

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (UL), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (IS50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación	RQD %	Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro
21	[Gráfico de Caliza]	(21.25 m - 22.8 m) Caliza	LUGEON 2 (De 17.8 a 22.80m) Tipo de Flujo: Lavado de Fisuras Unidades Lugeon: 0.38 Permeabilidad: 4.63E-06		PLT-4 7.25	R5	[Gráfico de Recuperación]	[Gráfico de RQD %]	[Gráfico de Espaciamiento]	10	10	55 REGULAR	[Diagrama de piezómetro]
22						R5						20	
23	[Gráfico de Limolita con óxido de hierro]	(22.8 m - 23.3 m) Limolita con óxido de hierro				R5				10	10	40 MALA	← Tubería lisa
24		(23.3 m - 24.8 m) Limolita				R5						20	
25	[Gráfico de Caliza]	(24.8 m - 26.3 m) Caliza	LUGEON 3 (De 23 a 29.70m) Tipo de Flujo: Dilatación Unidades Lugeon: 0.0001 Permeabilidad: 1.84E-09		PLT-5 3.55	R4				20	10	58 REGULAR	← Grouting
26						R4						20	
27	[Gráfico de Limolita]	(26.3 m - 27.8 m) Limolita				R4				20	10	60 REGULAR	
28		(27.8 m - 28.7 m) Caliza				R4						10	
29	[Gráfico de Caliza]	(28.7 m - 29.7 m) Caliza				R4				25	10	72 BUENA	
		(29.7 m - 30.8 m) Caliza				R4						20	

LEYENDA

RQD (Rock Quality Designation)	GRADO DE RESISTENCIA	MPa	CONDICIÓN DE JUNTA	CONDICIÓN DE AGUA	RMR (Rock Mass Rating)
0 - 25 % Muy pobre	R0 Roca extremadamente debil	0.25 - 1	0 Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	Agua fluyendo	0 0 - 20 Muy mala
25 - 50 % Pobre	R1 Roca muy debil	1,0 - 5,0	10 Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	Agua goteando	4 21 - 40 Mala
50 - 75 % Regular	R2 Roca debil	5,0 - 25	20 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, muy meteorizada	Mojado	7 41 - 60 Regular
75 - 90 % Buena	R3 Roca medianamente dura	25 - 50	25 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, ligeramente meteorizada	Húmedo	10 61 - 80 Buena
90 - 100 % Excelente	R4 Roca dura	50 -100	30 Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	Totalmente Seco	15 81 - 100 Muy buena
	R5 Roca muy dura	100 - 250			
	R6 Roca extremadamente dura	>250			



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710878.316
 Coordenada Este: 376023.939
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4733.882
 Profundidad Total (m): 160.00

Registrado por: MA / IM
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 22/03/2016
 Fecha de Término: 01/04/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-01
 Nivel de Agua Final de Sondaje: 158.810
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 158.810

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (UL), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (IS50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación	RQD %	Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro
31		(30.8 m - 32.35 m) Caliza	LUGEON 4 (De 30 a 40m) Tipo de Flujo: Lavado de Fisuras Unidades Lugeon: 1.93 Permeabilidad: 2.74E-05		PLT-6 3.77	R4	20 40 60 80	20 40 60 80	0.1 0.2 0.3 0.4	20	10	64 BUENA	
32		(32.35 m - 33.8 m) Caliza		R4		20	10	64 BUENA					
33		(33.8 m - 35.35 m) Caliza		R4		20	10	64 BUENA	← Tubería lisa				
34		(35.35 m - 36.8 m) Caliza		R4	PLT-7 7.55		20	10	60 REGULAR				
35		(36.8 m - 38.3 m) Caliza		R4		20	10	62 BUENA	← Grouting				
36		(38.3 m - 39.8 m) Caliza		R4		20	10	67 BUENA					
37		(39.8 m - 40 m) Caliza		R4	PLT-8		20	10	72 BUENA				
38				R4		20	10	62					

LEYENDA

RQD (Rock Quality Designation)	GRADO DE RESISTENCIA	MPa	CONDICIÓN DE JUNTA	CONDICIÓN DE AGUA	RMR (Rock Mass Rating)
0 - 25 % Muy pobre	R0 Roca extremadamente debil	0.25 - 1	0 Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	Agua fluyendo 0	0 - 20 Muy mala
25 - 50 % Pobre	R1 Roca muy débil	1,0 - 5,0	10 Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	Agua goteando 4	21 - 40 Mala
50 - 75 % Regular	R2 Roca débil	5,0 - 25	20 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, muy meteorizada	Mojado 7	41 - 60 Regular
75 - 90 % Buena	R3 Roca medianamente dura	25 - 50	25 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, ligeramente meteorizada	Húmedo 10	61 - 80 Buena
90 - 100 % Excelente	R4 Roca dura	50 -100	30 Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	Totalmente Seco 15	81 - 100 Muy buena
	R5 Roca muy dura	100 - 250			
	R6 Roca extremadamente dura	>250			



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710878.316
 Coordenada Este: 376023.939
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4733.882
 Profundidad Total (m): 160.00

Registrado por: MA / IM
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 22/03/2016
 Fecha de Término: 01/04/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-01
 Nivel de Agua Final de Sondaje: 158.810
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 158.810

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (UL), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (IS50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación	RQD %	Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro
41		(40 m - 41.55 m) Caliza	LUGEON 5 (De 40 a 50m) Tipo de Flujo: Relleno de Fisuras Unidades Lugeon: 6.16 Permeabilidad: 8.72E-05		2.73	R4				20	10	64 BUENA	
42		(41.55 m - 42.8 m) Caliza		R4						20	10	64 BUENA	
43		(42.8 m - 44.35 m) Caliza		R4						20	10	67 BUENA	← Tubería lisa
45		(44.35 m - 45.8 m) Caliza		R3						20	10	61 BUENA	
46		(45.8 m - 47.35 m) Caliza		R4	PLT-9 1.95					20	10	64 BUENA	← Grouting
48		(47.35 m - 48.8 m) Caliza		R4						10	10	48 REGULAR	
49		(48.8 m - 50.1 m) Caliza	R5						20	10	69 BUENA		

LEYENDA

RQD (Rock Quality Designation)		GRADO DE RESISTENCIA		MPa	CONDICIÓN DE JUNTA			CONDICIÓN DE AGUA		RMR (Rock Mass Rating)	
0 - 25 %	Muy pobre	R0	Roca extremadamente debil	0.25 - 1	0	Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	Agua fluyendo	0	0 - 20	Muy mala	
25 - 50 %	Pobre	R1	Roca muy debil	1,0 - 5,0	10	Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	Agua goteando	4	21 - 40	Mala	
50 - 75 %	Regular	R2	Roca debil	5,0 - 25	20	Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, muy meteorizada	Mojado	7	41 - 60	Regular	
75 - 90 %	Buena	R3	Roca medianamente dura	25 - 50	25	Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, ligeramente meteorizada	Húmedo	10	61 - 80	Buena	
90 - 100 %	Excelente	R4	Roca dura	50 -100	30	Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	Totalmente Seco	15	81 - 100	Muy buena	
		R5	Roca muy dura	100 - 250							
		R6	Roca extremadamente dura	>250							



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710878.316
 Coordenada Este: 376023.939
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4733.882
 Profundidad Total (m): 160.00

Registrado por: MA / IM
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 22/03/2016
 Fecha de Término: 01/04/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-01
 Nivel de Agua Final de Sondaje: 158.810
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 158.810

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (UL), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (IS50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación	RQD %	Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro
51		(50.1 m - 50.3 m) Caliza con venillas de calcita (50.3 m - 51.8 m) Caliza con arcilla en fracturas	LUGEON 6 (De 50 a 60m) Tipo de Flujo: Lavado de Fisuras Unidades Lugeon: 10.83 Permeabilidad: 1.53E-04		PLT-10 5.88	R5	20 40 60 80	20 40 60 80	0.1 0.2 0.3 0.4	20	7	60 REGULAR	
52		(51.8 m - 53.3 m) Caliza			R5					20	7	66 BUENA	
53		(53.3 m - 54.8 m) Caliza			R5					10	7	50 REGULAR	← Tubería lisa
54		(54.8 m - 56.3 m) Caliza			R4	PLT-11 4.18				10	7	61 BUENA	
55		(56.3 m - 57.8 m) Caliza			R4	PLT-12 1.75				20	7	64 BUENA	
56		(57.8 m - 59.3 m) Caliza			R4					20	10	67 BUENA	← Grouting
57		(59.3 m - 60 m) Caliza			R4					10	10	50 REGULAR	
58					R4					20	10	67 BUENA	

LEYENDA

RQD (Rock Quality Designation)	GRADO DE RESISTENCIA	MPa	CONDICIÓN DE JUNTA	CONDICIÓN DE AGUA	RMR (Rock Mass Rating)
0 - 25 % Muy pobre	R0 Roca extremadamente debil	0.25 - 1	0 Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	Agua fluyendo	0
25 - 50 % Pobre	R1 Roca muy debil	1.0 - 5.0	10 Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	Agua goteando	4
50 - 75 % Regular	R2 Roca debil	5.0 - 25	20 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, muy meteorizada	Mojado	7
75 - 90 % Buena	R3 Roca medianamente dura	25 - 50	25 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, ligeramente meteorizada	Húmedo	10
90 - 100 % Excelente	R4 Roca dura	50 -100	30 Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	Totalmente Seco	15
	R5 Roca muy dura	100 - 250			
	R6 Roca extremadamente dura	>250			
					0 - 20 Muy mala
					21 - 40 Mala
					41 - 60 Regular
					61 - 80 Buena
					81 - 100 Muy buena



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710878.316
 Coordenada Este: 376023.939
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4733.882
 Profundidad Total (m): 160.00

Registrado por: MA / IM
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 22/03/2016
 Fecha de Término: 01/04/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-01
 Nivel de Agua Final de Sondaje: 158.810
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 158.810

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (UL), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (IS50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación	RQD %	Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro
60		(60 m - 60.8 m) Caliza				R4	20 40 60 80	20 40 60 80	0.1 0.2 0.3 0.4	20	10	60 REGULAR	
61		(60.8 m - 62.3 m) Caliza			PLT-13 3.84	R4				20	10	69 BUENA	
62		(62.3 m - 63.8 m) Caliza				R4				20	10	72 BUENA	← Tubería lisa
63		(63.8 m - 65.35 m) Caliza	LUGEON 7 (De 60 a 70m)			R5				25	10	82 MUY BUENA	
64		(65.35 m - 66.8 m) Caliza	Tipo de Flujo: Lavado de Fisuras		PLT-14 5.47	R5				20	10	69 BUENA	← Grouting
65		(66.8 m - 68.35 m) Caliza	Unidades Lugeon: 1.12			R5				20	10	72 BUENA	
66		(68.35 m - 69.8 m) Caliza	Permeabilidad: 1.59E-05			R5				20	10	69 BUENA	
67		(69.8 m - 70 m) Caliza			PLT-15	R5				25	10	75	

LEYENDA

RQD (Rock Quality Designation)	GRADO DE RESISTENCIA	MPa	CONDICIÓN DE JUNTA	CONDICIÓN DE AGUA	RMR (Rock Mass Rating)
0 - 25 % Muy pobre	R0 Roca extremadamente debil	0.25 - 1	0 Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	Agua fluyendo	0
25 - 50 % Pobre	R1 Roca muy débil	1,0 - 5,0	10 Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	Agua goteando	4
50 - 75 % Regular	R2 Roca débil	5,0 - 25	20 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, muy meteorizada	Mojado	7
75 - 90 % Buena	R3 Roca medianamente dura	25 - 50	25 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, ligeramente meteorizada	Húmedo	10
90 - 100 % Excelente	R4 Roca dura	50 -100	30 Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	Totalmente Seco	15
	R5 Roca muy dura	100 - 250			
	R6 Roca extremadamente dura	>250			



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710878.316
 Coordenada Este: 376023.939
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4733.882
 Profundidad Total (m): 160.00

Registrado por: MA / IM
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 22/03/2016
 Fecha de Término: 01/04/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-01
 Nivel de Agua Final de Sondaje: 158.810
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 158.810

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (UL), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (IS50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación	RQD %	Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro
71		(70 m - 71.55 m) Caliza con bandas de Limolita			8.30	R5				25	10	77 BUENA	
72		(71.55 m - 72.9 m) Caliza con bandas de Arenisca				R5				20	10	67 BUENA	
73		(72.9 m - 74.4 m) Caliza con venillas de limolitas				R5				25	10	74 BUENA	Tubería lisa
74		(74.4 m - 75.8 m) Caliza con arcilla en fracturas	LUGEON 8 (De 70 a 80m) Tipo de Flujo: Flujo Laminar Unidades Lugeon: 9.85 Permeabilidad: 1.40E-04		PLT-16 2.74	R4				25	10	67 BUENA	Bentonita
75		(75.8 m - 77.3 m) Caliza con arcilla en fracturas				R4				20	10	67 BUENA	Grouting
76		(77.3 m - 78.75 m) Caliza con arcilla en fracturas				R4				20	10	62 BUENA	
77		(78.75 m - 79.3 m) Caliza con arcilla en fracturas				R4				20	10	62 BUENA	
78		(79.3 m - 80.2 m) Brecha de falla				R4				10	10	35 MALA	

LEYENDA

RQD (Rock Quality Designation)		GRADO DE RESISTENCIA		CONDICIÓN DE JUNTA		CONDICIÓN DE AGUA		RMR (Rock Mass Rating)	
0 - 25 %	Muy pobre	R0	Roca extremadamente debil	0	Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	0	Agua fluyendo	0	0 - 20
25 - 50 %	Pobre	R1	Roca muy debil	10	Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	10	Agua goteando	4	21 - 40
50 - 75 %	Regular	R2	Roca debil	20	Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, muy meteorizada	20	Mojado	7	41 - 60
75 - 90 %	Buena	R3	Roca medianamente dura	25	Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, ligeramente meteorizada	25	Humedo	10	61 - 80
90 - 100 %	Excelente	R4	Roca dura	30	Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	30	Totalmente Seco	15	81 - 100
		R5	Roca muy dura						
		R6	Roca extremadamente dura						



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710878.316
 Coordenada Este: 376023.939
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4733.882
 Profundidad Total (m): 160.00

Registrado por: MA / IM
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 22/03/2016
 Fecha de Término: 01/04/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-01
 Nivel de Agua Final de Sondaje: 158.810
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 158.810

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (U _L), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (IS50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación	RQD %	Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro
81		(80.2 m - 81.7 m) Caliza con arcilla en fracturas	LUGEON 9 (De 82 a 89m) Tipo de Flujo: Lavado de Fisuras Unidades Lugeon: 6.45 Permeabilidad: 8.82E-05		PLT-17 10.16	R4				10	10	75 BUENA	
82		(81.7 m - 83.2 m) Caliza con arcilla en fracturas		R4						20	10	72 BUENA	
83		(83.2 m - 84.7 m) Caliza con arcilla en fracturas		R4						25	10	72 BUENA	← Tubería lisa
84		(84.7 m - 86.2 m) Caliza con arcilla en fracturas		R4						10	10	70 BUENA	
85		(86.2 m - 87.7 m) Caliza con arcilla en fracturas		R4	PLT-18 3.39					25	10	72 BUENA	
86		(87.7 m - 88.8 m) Caliza con arcilla en fracturas		R4						20	10	58 REGULAR	
87		(88.8 m - 90.35 m) Caliza con arcilla en fracturas		R4						0	10	38 MALA	
88										25	10	72 BUENA	← Grouting
89													

LEYENDA

RQD (Rock Quality Designation)	GRADO DE RESISTENCIA	MPa	CONDICIÓN DE JUNTA	CONDICIÓN DE AGUA	RMR (Rock Mass Rating)
0 - 25 % Muy pobre	R0 Roca extremadamente debil	0.25 - 1	0 Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	Agua fluyendo	0
25 - 50 % Pobre	R1 Roca muy debil	1,0 - 5,0	10 Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	Agua goteando	4
50 - 75 % Regular	R2 Roca debil	5,0 - 25	20 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, muy meteorizada	Mojado	7
75 - 90 % Buena	R3 Roca medianamente dura	25 - 50	25 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, ligeramente meteorizada	Humedo	10
90 - 100 % Excelente	R4 Roca dura	50 -100	30 Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	Totalmente Seco	15
	R5 Roca muy dura	100 - 250			
	R6 Roca extremadamente dura	>250			
					0 - 20 Muy mala
					21 - 40 Mala
					41 - 60 Regular
					61 - 80 Buena
					81 - 100 Muy buena



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710878.316
 Coordenada Este: 376023.939
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4733.882
 Profundidad Total (m): 160.00

Registrado por: MA / IM
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 22/03/2016
 Fecha de Término: 01/04/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-01
 Nivel de Agua Final de Sondaje: 158.810
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 158.810

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (UL), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (IS50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación	RQD %	Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro	
91		(90.35 m - 91.6 m) Caliza	LUGEON 10 (De 90 a 100.50m) Tipo de Flujo: Flujo Laminar Unidades Lugeon: 11.60 Permeabilidad: 1.66E-04		PLT-19 3.28	R4	20 40 60 80	20 40 60 80	0.1 0.2 0.3 0.4	25	10	72 BUENA		
92		(91.6 m - 93.1 m) Caliza			R4					20	10	67 BUENA		
93		(93.1 m - 94.6 m) Caliza			R4					20	10	60 REGULAR		
94		(94.6 m - 96.15 m) Caliza			R4					20	10	67 BUENA		
95		(96.15 m - 97.7 m) Caliza			R4	PLT-20 2.42					20	10		64 BUENA
96		(97.7 m - 99 m) Caliza			R4					20	10	67 BUENA		
97		(99 m - 99.9 m) Caliza			R4	PLT-21 3.27					10	10		38 MALA
98									10	10				

LEYENDA

RQD (Rock Quality Designation)		GRADO DE RESISTENCIA		MPa	CONDICIÓN DE JUNTA		CONDICIÓN DE AGUA		RMR (Rock Mass Rating)		
0 - 25 %	Muy pobre	R0	Roca extremadamente debil	0.25 - 1	0	Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	0	Agua fluyendo	0	0 - 20	Muy mala
25 - 50 %	Pobre	R1	Roca muy debil	1,0 - 5,0	10	Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	4	Agua goteando	4	21 - 40	Mala
50 - 75 %	Regular	R2	Roca debil	5,0 - 25	20	Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, muy meteorizada	7	Mojado	7	41 - 60	Regular
75 - 90 %	Buena	R3	Roca medianamente dura	25 - 50	25	Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, ligeramente meteorizada	10	Humedo	10	61 - 80	Buena
90 - 100 %	Excelente	R4	Roca dura	50 - 100	30	Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	15	Totalmente Seco	15	81 - 100	Muy buena
		R5	Roca muy dura	100 - 250							
		R6	Roca extremadamente dura	>250							



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710878.316
 Coordenada Este: 376023.939
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4733.882
 Profundidad Total (m): 160.00

Registrado por: MA / IM
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 22/03/2016
 Fecha de Término: 01/04/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-01
 Nivel de Agua Final de Sondaje: 158.810
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 158.810

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (UL), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (IS50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación	RQD %	Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro
99.9 m - 100.5 m		Caliza				R2						30 MALA	
100.5 m - 101.1 m		Caliza				R2						30 MALA	
101.1 m - 102.1 m		Caliza				R2						30 MALA	
102.1 m - 102.8 m		Caliza				R2						30 MALA	
102.8 m - 104 m		Caliza				R2						35 MALA	Tubería lisa
104 m - 105.55 m		Caliza con arcilla en fracturas	LUGEON 11 (De 100.5 a 110.15m) Tipo de Flujo: Flujo Laminar Unidades Lugeon: 3.51 Permeabilidad: 5.68E-05		PLT-22 0.31	R2						23 MALA	
105.55 m - 106.4 m		Caliza con arcilla en fracturas				R4						58 REGULAR	Grouting
106.4 m - 107.05 m		Caliza con arcilla en fracturas				R4						28 MALA	
107.05 m - 108.6 m		Caliza con arcilla en fracturas				R4						72 BUENA	
108.6 m - 110.15 m		Caliza con arcilla en fracturas				R4						43 REGULAR	

LEYENDA

RQD (Rock Quality Designation)	GRADO DE RESISTENCIA	MPa	CONDICIÓN DE JUNTA	CONDICIÓN DE AGUA	RMR (Rock Mass Rating)
0 - 25 % Muy pobre	R0 Roca extremadamente debil	0.25 - 1	0 Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	Agua fluyendo	4
25 - 50 % Pobre	R1 Roca muy debil	1.0 - 5.0	10 Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	Agua goteando	4
50 - 75 % Regular	R2 Roca debil	5.0 - 25	20 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, muy meteorizada	Mojado	7
75 - 90 % Buena	R3 Roca medianamente dura	25 - 50	25 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, ligeramente meteorizada	Húmedo	10
90 - 100 % Excelente	R4 Roca dura	50 - 100	30 Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	Totalmente Seco	15
	R5 Roca muy dura	100 - 250			
	R6 Roca extremadamente dura	>250			



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710878.316
 Coordenada Este: 376023.939
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4733.882
 Profundidad Total (m): 160.00

Registrado por: MA / IM
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 22/03/2016
 Fecha de Término: 01/04/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-01
 Nivel de Agua Final de Sondaje: 158.810
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 158.810

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (UL), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (IS50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación	RQD %	Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro
111		(110.15 m - 110.85 m) Caliza con arcilla en fracturas			PLT-23 3.07	R4				10	10	43 REGULAR	
112		(110.85 m - 111.9 m) Caliza				R4				10	10	28 MALA	
113		(111.9 m - 113.45 m) Caliza				R4				0	10	35 MALA	Tubería lisa
114		(113.45 m - 114.6 m) Caliza				R4				10	10	35 MALA	
115		(114.6 m - 115.8 m) Caliza				R4				10	10	35 MALA	
116		(115.8 m - 116.5 m) Caliza			PLT-24 2.34	R4				10	10	38 MALA	Grouting
117		(116.5 m - 117.6 m) Caliza				R4				10	10	38 MALA	
118		(117.6 m - 119.1 m) Caliza				R4				10	10	35 MALA	
119		(119.1 m - 119.9 m) Caliza				R4				10	10	35 MALA	

LEYENDA

RQD (Rock Quality Designation)		GRADO DE RESISTENCIA		MPa	CONDICIÓN DE JUNTA			CONDICIÓN DE AGUA		RMR (Rock Mass Rating)	
0 - 25 %	Muy pobre	R0	Roca extremadamente débil	0.25 - 1	0	Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	Agua fluyendo	0	0 - 20	Muy mala	
25 - 50 %	Pobre	R1	Roca muy débil	1.0 - 5.0	10	Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	Agua goteando	4	21 - 40	Mala	
50 - 75 %	Regular	R2	Roca débil	5.0 - 25	20	Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, muy meteorizada	Mojado	7	41 - 60	Regular	
75 - 90 %	Buena	R3	Roca medianamente dura	25 - 50	25	Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, ligeramente meteorizada	Húmedo	10	61 - 80	Buena	
90 - 100 %	Excelente	R4	Roca dura	50 - 100	30	Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	Totalmente Seco	15	81 - 100	Muy buena	
		R5	Roca muy dura	100 - 250							
		R6	Roca extremadamente dura	>250							



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710878.316
 Coordenada Este: 376023.939
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4733.882
 Profundidad Total (m): 160.00

Registrado por: MA / IM
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 22/03/2016
 Fecha de Término: 01/04/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-01
 Nivel de Agua Final de Sondaje: 158.810
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 158.810

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (UL), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (IS50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación	RQD %	Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro
121		(119.9 m - 120.9 m) Caliza				R4						38	
		(120.9 m - 122.45 m) Caliza			PLT-25 3.09	R4				10	10	64	
122		(122.45 m - 123.75 m) Caliza				R4				20	10	BUENA	
123		(123.75 m - 125.3 m) Caliza				R4				10	10	43	Tubería lisa
124		(125.3 m - 126.8 m) Caliza				R4				10	10	48	
125		(126.8 m - 128.35 m) Caliza			PLT-26 3.30	R4				20	10	58	Grouting
126		(128.35 m - 129.5 m) Caliza				R4				20	10	64	
127		(129.5 m - 131 m) Caliza			PLT-27	R5				20	10	58	
128													
129													

LUGEON 12
 (De 122 a 131m)
 Tipo de Flujo:
 Dilatación
 Unidades
 Lugeon:
3.85
 Permeabilidad:
5.44E-05

LEYENDA

RQD (Rock Quality Designation)	GRADO DE RESISTENCIA	MPa	CONDICIÓN DE JUNTA	CONDICIÓN DE AGUA	RMR (Rock Mass Rating)
0 - 25 % Muy pobre	R0 Roca extremadamente débil	0.25 - 1	0 Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	Agua fluyendo	0
25 - 50 % Pobre	R1 Roca muy débil	1.0 - 5.0	10 Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	Agua goteando	4
50 - 75 % Regular	R2 Roca débil	5.0 - 25	20 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, muy meteorizada	Mojado	7
75 - 90 % Buena	R3 Roca medianamente dura	25 - 50	25 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, ligeramente meteorizada	Húmedo	10
90 - 100 % Excelente	R4 Roca dura	50 -100	30 Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	Totalmente Seco	15
	R5 Roca muy dura	100 - 250			
	R6 Roca extremadamente dura	>250			



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710878.316
 Coordenada Este: 376023.939
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4733.882
 Profundidad Total (m): 160.00

Registrado por: MA / IM
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 22/03/2016
 Fecha de Término: 01/04/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-01
 Nivel de Agua Final de Sondaje: 158.810
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 158.810

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (UL), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (IS50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación	RQD %	Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro
131		(131 m - 131.9 m) Caliza			5.76	R5				20	10	58 REGULAR	
132		(131.9 m - 132.6 m) Caliza con arcilla en fracturas				R5				20	10	53 REGULAR	Grouting
133		(132.6 m - 133.2 m) Caliza con arcilla en fracturas				R5				0	10	67 BUENA	
134		(133.2 m - 134.7 m) Caliza con arcilla en fracturas				R5				0	10	43 REGULAR	Bentonita
135		(134.7 m - 136.25 m) Caliza con arcilla en fracturas	LUGEON 13 (De 131 a 140.90m)		PLT-28 1.99	R5				25	10	77 BUENA	
136		(136.25 m - 137.8 m) Caliza con arcilla en fracturas	Tipo de Flujo: Lavado de Fisuras Unidades Lugeon: 6.09		PLT-29 6.32	R5				20	10	67 BUENA	
137		(137.8 m - 139.35 m) Caliza con arcilla en fracturas	Permeabilidad: 8.61E-05			R5				20	10	67 BUENA	
138		(139.35 m - 140.9 m) Caliza con arcilla en fracturas			PLT-30	R5				20	10	72 BUENA	Filtro de arena de sílice
139						R5				10	10	53 REGULAR	

LEYENDA

RQD (Rock Quality Designation)		GRADO DE RESISTENCIA		CONDICIÓN DE JUNTA		CONDICIÓN DE AGUA		RMR (Rock Mass Rating)	
0 - 25 %	Muy pobre	R0	Roca extremadamente debil	0	Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	0	Agua fluyendo	0	0 - 20
25 - 50 %	Pobre	R1	Roca muy débil	10	Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	10	Agua goteando	4	21 - 40
50 - 75 %	Regular	R2	Roca débil	20	Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, muy meteorizada	20	Mojado	7	41 - 60
75 - 90 %	Buena	R3	Roca medianamente dura	25	Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, ligeramente meteorizada	25	Húmedo	10	61 - 80
90 - 100 %	Excelente	R4	Roca dura	30	Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	30	Totalmente Seco	15	81 - 100
		R5	Roca muy dura						
		R6	Roca extremadamente dura						



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710878.316
 Coordenada Este: 376023.939
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4733.882
 Profundidad Total (m): 160.00

Registrado por: MA / IM
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 22/03/2016
 Fecha de Término: 01/04/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-01
 Nivel de Agua Final de Sondaje: 158.810
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 158.810

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (UL), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (IS50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación	RQD %	Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro
141		(140.9 m - 141.9 m) Caliza			6.06	R5				10	10	53 REGULAR	
142		(141.9 m - 143.45 m) Caliza				R5				20	10	63 BUENA	
143		(143.45 m - 144.9 m) Caliza				R5				20	10	69 BUENA	← Tubería lisa
144		(144.9 m - 146.4 m) Caliza				R5				20	10	65 BUENA	
145		(146.4 m - 147.9 m) Caliza				R5				20	10	65 BUENA	
146		(147.9 m - 149.45 m) Caliza	LUGEON 14 (De 143 a 151.20m) Tipo de Flujo: Flujo Laminar		PLT-31 4.58	R5				25	10	77 BUENA	← Filtro de arena de sílice
147		(149.45 m - 150.9 m) Caliza	Unidades Lugeon: 10.33 Permeabilidad: 1.41E-04			R5				25	10	77 BUENA	← Tubo ranurado
148						R5				20	10	69 BUENA	

LEYENDA

RQD (Rock Quality Designation)		GRADO DE RESISTENCIA		MPa	CONDICIÓN DE JUNTA			CONDICIÓN DE AGUA		RMR (Rock Mass Rating)	
0 - 25 %	Muy pobre	R0	Roca extremadamente débil	0.25 - 1	0	Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	Agua fluyendo	0	0 - 20	Muy mala	
25 - 50 %	Pobre	R1	Roca muy débil	1.0 - 5.0	10	Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	Agua goteando	4	21 - 40	Mala	
50 - 75 %	Regular	R2	Roca débil	5.0 - 25	20	Ligeramente rugosa, < 1 mm de separación, muy meteorizada	Mojado	7	41 - 60	Regular	
75 - 90 %	Buena	R3	Roca medianamente dura	25 - 50	25	Ligeramente rugosa, < 1 mm de separación, ligeramente meteorizada	Húmedo	10	61 - 80	Buena	
90 - 100 %	Excelente	R4	Roca dura	50 - 100	30	Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	Totalmente Seco	15	81 - 100	Muy buena	
		R5	Roca muy dura	100 - 250							
		R6	Roca extremadamente dura	>250							



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710878.316
 Coordenada Este: 376023.939
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4733.882
 Profundidad Total (m): 160.00

Registrado por: MA / IM
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 22/03/2016
 Fecha de Término: 01/04/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-01
 Nivel de Agua Final de Sonda: 158.810
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 158.810

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (UL), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (IS50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación	RQD %	Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro
151		(150.9 m - 151.2 m) Caliza	LUGEON 15 (De 152 a 160m) Tipo de Flujo: Flujo Laminar Unidades Lugeon: 9.73 Permeabilidad: 1.32E-04		PLT-32 2.93	R5				20	10	69 BUENA	
		(151.2 m - 152.35 m) Caliza		R5						25	10	75 BUENA	
152		(152.35 m - 153.8 m) Caliza		R5						25	10	68 BUENA	
153		(153.8 m - 154.3 m) Caliza		R6						25	10	71 BUENA	
154		(154.3 m - 155.1 m) Caliza		R3	PLT-33 10.29					20	10	45 REGULAR	
155		(155.1 m - 155.9 m) Caliza		R3						0	10	22 MALA	
156		(155.9 m - 156.7 m) Caliza		R3						0	10	22 MALA	
157		(156.7 m - 157.5 m) Caliza		R3						0	10	22 MALA	
158		(157.5 m - 158.25 m) Caliza		R3						0	10	22 MALA	
159		(158.25 m - 159.15 m) Caliza		R3						0	10	22 MALA	
159		(159.15 m - 160 m) Caliza		R3						0	10	22 MALA	

Fin de Perforación a 160

LEYENDA

RQD m (Rock Quality Designation)	GRADO DE RESISTENCIA	MPa	CONDICIÓN DE JUNTA	CONDICIÓN DE AGUA	RMR (Rock Mass Rating)
0 - 25 % Muy pobre	R0 Roca extremadamente debil	0.25 - 1	0 Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	Agua fluyendo	0
25 - 50 % Pobre	R1 Roca muy debil	1.0 - 5.0	10 Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	Agua goteando	4
50 - 75 % Regular	R2 Roca debil	5.0 - 25	20 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, muy meteorizada	Mojado	7
75 - 90 % Buena	R3 Roca medianamente dura	25 - 50	25 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, ligeramente meteorizada	Humedo	10
90 - 100 % Excelente	R4 Roca dura	50 -100	30 Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	Totalmente Seco	15
	R5 Roca muy dura	100 - 250			
	R6 Roca extremadamente dura	>250			



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710794.869
 Coordenada Este: 376201.352
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4634.812
 Profundidad Total (m): 130.00

Registrado por: YB / AO
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 19/03/2016
 Fecha de Término: 26/03/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-04
 Nivel de Agua Final de Sondaje: 87.850
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 87.850

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (UL), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (Is50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación	RQD %	Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro
0 - 3		Relleno											
3 - 3.4		Sin recuperación											
3.4 - 4		Caliza			R3					0	15	30 MALA	Bentonita
4 - 4.7		Sin recuperación											
4.7 - 5.5		Caliza			R2					0	15	25 MALA	Tubería lisa
5.5 - 6.1		Caliza			R2					10	15	35 MALA	
6.1 - 6.9		Caliza			R2					0	15	40 MALA	
6.9 - 8.1		Caliza			R4					0	15	30 MALA	
8.1 - 8.7		Caliza			PLT-1 2.60 R2					20	15	60 REGULAR	Grouting
8.7 - 9.7		Caliza			R2					0	15	27 MALA	
9.7 - 9.8		Caliza			R2					20	15	45	
9.8 - 10.45		Caliza			R2					0	15		

LEYENDA

RQD (Rock Quality Designation)	GRADO DE RESISTENCIA	MPa	CONDICIÓN DE JUNTA	CONDICIÓN DE AGUA	RMR (Rock Mass Rating)
0 - 25 % Muy pobre	R0 Roca extremadamente debil	0.25 - 1	0 Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	Agua fluyendo	0 0 - 20 Muy mala
25 - 50 % Pobre	R1 Roca muy debil	1.0 - 5.0	10 Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	Agua goteando	4 21 - 40 Mala
50 - 75 % Regular	R2 Roca debil	5.0 - 25	20 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, muy meteorizada	Mojado	7 41 - 60 Regular
75 - 90 % Buena	R3 Roca medianamente dura	25 - 50	25 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, ligeramente meteorizada	Humedo	10 61 - 80 Buena
90 - 100 % Excelente	R4 Roca dura	50 - 100	30 Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	Totalmente Seco	15 81 - 100 Muy buena
	R5 Roca muy dura	100 - 250			
	R6 Roca extremadamente dura	>250			



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710794.869
 Coordenada Este: 376201.352
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4634.812
 Profundidad Total (m): 130.00

Registrado por: YB / AO
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 19/03/2016
 Fecha de Término: 26/03/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-04
 Nivel de Agua Final de Sondaje: 87.850
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 87.850

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (UL), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (IS50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación		Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro
							20 40 60 80	20 40 60 80					
11 12 13 14 15 16 17 18 19	[Gráfico de Caliza]	(10.45 m - 11 m) Caliza			R2	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	0	15	40 REGULAR MALA	[Diagrama de piezómetro]
		(11 m - 12.15 m) Caliza			R2	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	0	15	27 MALA	
		(12.15 m - 13.2 m) Caliza			R2	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	0	15	38 MALA	
		(13.2 m - 13.8 m) Caliza			R2	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	0	15	25 MALA	
		(13.8 m - 14.4 m) Caliza			R2	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	0	15	25 MALA	
		(14.4 m - 14.7 m) Caliza			R2	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	0	15	25 MALA	
		(14.7 m - 14.9 m) Caliza			R2	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	0	15	25 MALA	
		(14.9 m - 15.6 m) Caliza			R2	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	0	15	25 MALA	
		(15.6 m - 16 m) Caliza			R2	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	10	15	35 MALA	
		(16 m - 16.95 m) Caliza			R2	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	0	15	25 MALA	
		(16.95 m - 17.35 m) Caliza			R2	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	0	15	25 MALA	
		(17.35 m - 17.95 m) Caliza			R2	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	10	10	30 MALA	
		(17.95 m - 18.6 m) Caliza			R2	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	10	10	33 MALA	
		(18.6 m - 19.5 m) Caliza			R3	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	10	10	32 MALA	
		(19.5 m - 20.15 m) Caliza			R3	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	[Gráfico]	10	10	32 MALA	

LEYENDA

RQD (Rock Quality Designation)		GRADO DE RESISTENCIA		MPa	CONDICIÓN DE JUNTA		CONDICIÓN DE AGUA		RMR (Rock Mass Rating)		
0 - 25 %	Muy pobre	R0	Roca extremadamente débil	0.25 - 1	0	Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	0	Agua fluyendo	0	0 - 20	Muy mala
25 - 50 %	Pobre	R1	Roca muy débil	1,0 - 5,0	10	Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	4	Agua goteando	4	21 - 40	Mala
50 - 75 %	Regular	R2	Roca débil	5,0 - 25	20	Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, muy meteorizada	7	Mojado	7	41 - 60	Regular
75 - 90 %	Buena	R3	Roca medianamente dura	25 - 50	25	Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, ligeramente meteorizada	10	Húmedo	10	61 - 80	Buena
90 - 100 %	Excelente	R4	Roca dura	50 -100	30	Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	15	Totalmente Seco	15	81 - 100	Muy buena
		R5	Roca muy dura	100 - 250							
		R6	Roca extremadamente dura	>250							



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710794.869
 Coordenada Este: 376201.352
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4634.812
 Profundidad Total (m): 130.00

Registrado por: YB / AO
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 19/03/2016
 Fecha de Término: 26/03/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-04
 Nivel de Agua Final de Sondaje: 87.850
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 87.850

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (UL), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (IS50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación	RQD %	Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro
21		(20.15 m - 20.95 m) Caliza				R3				10	10	32 MALA	
22		(20.95 m - 21.9 m) Caliza				R3				10	10	32 MALA	
23		(21.9 m - 22.6 m) Caliza				R3				10	10	32 MALA	
24		(22.6 m - 23.3 m) Caliza				R3				10	10	32 MALA	
25		(23.3 m - 23.8 m) Caliza				R3				10	10	32 MALA	
26		(23.8 m - 24.6 m) Caliza				R3				10	10	32 MALA	
27		(24.6 m - 25.6 m) Caliza				R3				10	10	32 MALA	
28		(25.6 m - 26.3 m) Caliza				R3				10	10	32 MALA	
29		(26.3 m - 27.25 m) Caliza				R3				10	10	32 MALA	
30		(27.25 m - 27.9 m) Caliza				R3				10	10	32 MALA	
31		(27.9 m - 28.1 m) Caliza				R1				10	10	29 MALA	
32		(28.1 m - 28.9 m) Caliza				R1				10	10	32 MALA	
33		(28.9 m - 29.7 m) Brecha de falla				R1				0	15	24 MALA	
34		(29.7 m - 30.6 m) Brecha de falla				R1				0	15	24 MALA	

LEYENDA

RQD (Rock Quality Designation)	GRADO DE RESISTENCIA	MPa	CONDICIÓN DE JUNTA	CONDICIÓN DE AGUA	RMR (Rock Mass Rating)
0 - 25 % Muy pobre	R0 Roca extremadamente debil	0.25 - 1	0 Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	Agua fluyendo	0
25 - 50 % Pobre	R1 Roca muy debil	1.0 - 5.0	10 Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	Agua goteando	4
50 - 75 % Regular	R2 Roca debil	5.0 - 25	20 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, muy meteorizada	Mojado	7
75 - 90 % Buena	R3 Roca medianamente dura	25 - 50	25 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, ligeramente meteorizada	Humedo	10
90 - 100 % Excelente	R4 Roca dura	50 - 100	30 Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	Totalmente Seco	15
	R5 Roca muy dura	100 - 250			
	R6 Roca extremadamente dura	>250			



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710794.869
 Coordenada Este: 376201.352
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4634.812
 Profundidad Total (m): 130.00

Registrado por: YB / AO
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 19/03/2016
 Fecha de Término: 26/03/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-04
 Nivel de Agua Final de Sondaje: 87.850
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 87.850

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (UL), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (IS50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación	RQD %	Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro
31		(30.6 m - 31.3 m) Brecha de falla	LUGEON 1 (De 29.1 a 33.80m)			R1				0	15	MALA 24	
32		(31.3 m - 32 m) Caliza	Tipo de Flujo: Lavado de Fisuras			R1				0	15	MALA 24	
32		(32 m - 32.65 m) Caliza	Unidades Lugeon: 189.08		PLT-2 3.80	R2				10	15	MALA 38	
33		(32.65 m - 32.8 m) Brecha de falla	Permeabilidad: 2.30E-03			R4				0	15	MALA 30	
33		(32.8 m - 33.8 m) Caliza				R2				0	15	MALA 25	
34		(33.8 m - 34.2 m) Caliza				R2				0	15	MALA 25	
34		(34.2 m - 35.2 m) Caliza				R2				0	15	MALA 25	
35		(35.2 m - 36.05 m) Caliza				R2				0	15	MALA 28	
36		(36.05 m - 36.8 m) Caliza				R2				0	15	MALA 25	
37		(36.8 m - 37.6 m) Caliza	LUGEON 2 (De 35 a 39.80m)			R2				0	15	MALA 25	
38		(37.6 m - 37.8 m) Sin recuperación	Tipo de Flujo: Dilatación							0	15	MALA 25	
38		(37.8 m - 38.3 m) Caliza	Unidades Lugeon: 29.38			R1				0	15	MALA 24	
38		(38.3 m - 38.5 m) Caliza	Permeabilidad: 3.59E-04			R3				10	15	MALA 37	
38		(38.5 m - 39.3 m) Caliza										MALA 27	
39		(39.3 m - 39.8 m) Caliza				R3				0	15	MALA 27	
39		(39.8 m - 40.3 m) Caliza				R3				10	15	MALA 37	
						R3				10	10	MALA 37	

LEYENDA

RQD (Rock Quality Designation)	GRADO DE RESISTENCIA	MPa	CONDICIÓN DE JUNTA	CONDICIÓN DE AGUA	RMR (Rock Mass Rating)
0 - 25 % Muy pobre	R0 Roca extremadamente debil	0.25 - 1	0 Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	Agua fluyendo	0 0 - 20 Muy mala
25 - 50 % Pobre	R1 Roca muy debil	1.0 - 5.0	10 Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	Agua goteando	4 21 - 40 Mala
50 - 75 % Regular	R2 Roca debil	5.0 - 25	20 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, muy meteorizada	Mojado	7 41 - 60 Regular
75 - 90 % Buena	R3 Roca medianamente dura	25 - 50	25 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, ligeramente meteorizada	Humedo	10 61 - 80 Buena
90 - 100 % Excelente	R4 Roca dura	50 - 100	30 Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	Totalmente Seco	15 81 - 100 Muy buena
	R5 Roca muy dura	100 - 250			
	R6 Roca extremadamente dura	>250			



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710794.869
 Coordenada Este: 376201.352
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4634.812
 Profundidad Total (m): 130.00

Registrado por: YB / AO
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 19/03/2016
 Fecha de Término: 26/03/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-04
 Nivel de Agua Final de Sondaje: 87.850
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 87.850

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (UL), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (IS50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación	RQD %	Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro
40.3 - 40.65		Caliza				R3				10	10	32 MALA	
40.65 - 41.15		Caliza				R3				10	10	32 MALA	
41.15 - 41.7		Caliza				R3				20	10	42 REGULAR	
41.7 - 42.4		Caliza				R4				10	10	35 MALA	
42.4 - 43		Caliza				R4				20	10	48 REGULAR	
43 - 43.5		Caliza			PLT-3 4.52	R5				20	10	53 REGULAR	
43.5 - 44.7		Caliza				R3				20	10	45 REGULAR	Tubería lisa
44.7 - 45.8		Caliza				R3				20	10	45 REGULAR	
45.8 - 46.3		Caliza				R3				20	10	55 REGULAR	
46.3 - 46.9		Caliza				R3				10	10	32 MALA	Grouting
46.9 - 47.6		Caliza	LUGEON 3 (De 45.7 a 50m)			R3				10	10	32 MALA	
47.6 - 48.8		Caliza	Tipo de Flujo: Flujo Laminar			R3				10	10	32 MALA	
48.8 - 49.3		Caliza	Unidades Lugeon: 3.01			R3				10	10	32 MALA	
49.3 - 50		Caliza	Permeabilidad: 3.59E-05			R3				20	10	50 REGULAR	

LEYENDA

RQD (Rock Quality Designation)	GRADO DE RESISTENCIA	MPa	CONDICIÓN DE JUNTA	CONDICIÓN DE AGUA	RMR (Rock Mass Rating)
0 - 25 % Muy pobre	R0 Roca extremadamente debil	0.25 - 1	0 Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	Agua fluyendo	0
25 - 50 % Pobre	R1 Roca muy débil	1.0 - 5.0	10 Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	Agua goteando	4
50 - 75 % Regular	R2 Roca débil	5.0 - 25	20 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, muy meteorizada	Mojado	7
75 - 90 % Buena	R3 Roca medianamente dura	25 - 50	25 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, ligeramente meteorizada	Húmedo	10
90 - 100 % Excelente	R4 Roca dura	50 -100	30 Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	Totalmente Seco	15
	R5 Roca muy dura	100 - 250			
	R6 Roca extremadamente dura	>250			



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710794.869
 Coordenada Este: 376201.352
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4634.812
 Profundidad Total (m): 130.00

Registrado por: YB / AO
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 19/03/2016
 Fecha de Término: 26/03/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-04
 Nivel de Agua Final de Sondaje: 87.850
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 87.850

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (UL), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (IS50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación	RQD %	Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro
50		(50 m - 50.4 m) Caliza				R3				0	15	27 MALA	
51		(50.4 m - 51.45 m) Caliza			PLT-4 0.27	R2				10	15	40 MALA	
52		(51.45 m - 52.5 m) Caliza			PLT-5 0.74	R2				20	15	69 BUENA	
53		(52.5 m - 54 m) Caliza			PLT-6 2.40	R3				25	15	74 BUENA	← Tubería lisa
54		(54 m - 54.9 m) Caliza			PLT-7 0.54	R3				20	15	63 BUENA	
55		(54.9 m - 56.35 m) Caliza	LUGEON 4 (De 52 a 60.80m) Tipo de Flujo: Flujo Turbulento Unidades Lugeon: 1.32	M-6 (52.94-53.13m) PROPIEDADES ELÁSTICAS Módulo de Elasticidad: No Determinado Constante de Poisson: No Determinado Resistencia última: 48.12 MPa	PLT-8 3.39	R4				20	15	64 BUENA	
56		(56.35 m - 57.8 m) Caliza	Permeabilidad: 1.82E-05		PLT-9 0.76	R3				10	15	50 REGULAR	← Grouting
57		(57.8 m - 59.3 m) Caliza			PLT-10 1.32 PLT-11 3.06	R3				10	15	50 REGULAR	
58		(59.3 m - 60.8 m) Caliza		M-7 (58.12-58.33m) Densidad seca: 2.663 gr/cm³ Densidad Saturada: 2.719 gr/cm³ Porosidad: 5.510% Absorción: 2.069%	PLT-12 2.53 PLT-13 0.63	R3				10	15	45 REGULAR	

LEYENDA

RQD (Rock Quality Designation)	GRADO DE RESISTENCIA	MPa	CONDICIÓN DE JUNTA	CONDICIÓN DE AGUA	RMR (Rock Mass Rating)
0 - 25 % Muy pobre	R0 Roca extremadamente débil	0.25 - 1	0 Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	Agua fluyendo	0
25 - 50 % Pobre	R1 Roca muy débil	1.0 - 5.0	10 Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	Agua goteando	4
50 - 75 % Regular	R2 Roca débil	5.0 - 25	20 Ligeramente rugosa, < 1 mm de separación, muy meteorizada	Mojado	7
75 - 90 % Buena	R3 Roca medianamente dura	25 - 50	25 Ligeramente rugosa, < 1 mm de separación, ligeramente meteorizada	Húmedo	10
90 - 100 % Excelente	R4 Roca dura	50 - 100	30 Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	Totalmente Seco	15
	R5 Roca muy dura	100 - 250			4
	R6 Roca extremadamente dura	>250			15
					0 - 20 Muy mala
					21 - 40 Mala
					41 - 60 Regular
					61 - 80 Buena
					81 - 100 Muy buena



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710794.869
 Coordenada Este: 376201.352
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4634.812
 Profundidad Total (m): 130.00

Registrado por: YB / AO
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 19/03/2016
 Fecha de Término: 26/03/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-04
 Nivel de Agua Final de Sondaje: 87.850
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 87.850

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (UL), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (IS50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación	RQD %	Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro
61		(60.8 m - 61.7 m) Caliza				R3				10	15	45 REGULAR	
62		(61.7 m - 63.2 m) Caliza				R3				10	15	37 MALA	
63		(63.2 m - 64.75 m) Caliza				R3				10	15	45 REGULAR	← Tubería lisa
64		(64.75 m - 65.6 m) Caliza				R3				10	15	40 MALA	
65		(65.6 m - 66.4 m) Caliza				R3				10	10	35 MALA	
66		(66.4 m - 67.2 m) Caliza				R3				10	10	32 MALA	← Grouting
67		(67.2 m - 68.2 m) Caliza	LUGEON 5 (De 65.7 a 69.55m)			R3				10	10	32 MALA	
68		(68.2 m - 69 m) Caliza	Tipo de Flujo: Flujo Laminar Unidades Lugeon: 49.67			R3				10	10	32 MALA	
69		(69 m - 69.55 m) Caliza	Permeabilidad: 5.78E-04			R3				10	10	32 MALA	
		(69.55 m - 70.2 m) Caliza				R3				10	10	32 MALA	

LEYENDA

RQD (Rock Quality Designation)	GRADO DE RESISTENCIA	MPa	CONDICIÓN DE JUNTA	CONDICIÓN DE AGUA	RMR (Rock Mass Rating)
0 - 25 % Muy pobre	R0 Roca extremadamente débil	0.25 - 1	0 Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	Agua fluyendo	0
25 - 50 % Pobre	R1 Roca muy débil	1.0 - 5.0	10 Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	Agua goteando	4
50 - 75 % Regular	R2 Roca débil	5.0 - 25	20 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, muy meteorizada	Mojado	7
75 - 90 % Buena	R3 Roca medianamente dura	25 - 50	25 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, ligeramente meteorizada	Húmedo	10
90 - 100 % Excelente	R4 Roca dura	50 -100	30 Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	Totalmente Seco	15
	R5 Roca muy dura	100 - 250			
	R6 Roca extremadamente dura	>250			



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710794.869
 Coordenada Este: 376201.352
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4634.812
 Profundidad Total (m): 130.00

Registrado por: YB / AO
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 19/03/2016
 Fecha de Término: 26/03/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-04
 Nivel de Agua Final de Sondaje: 87.850
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 87.850

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (UL), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (IS50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación	RQD %	Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro
71		(70.2 m - 70.95 m) Caliza	LUGEON 6 (De 72 a 80m) Tipo de Flujo: Flujo Turbulento Unidades Lugeon: 19.19 Permeabilidad: 2.60E-04			R3				10	10		
		(70.95 m - 71.5 m) Caliza		R3						10	10	32 MALA	
		(71.5 m - 72.2 m) Caliza		R4						20	10	48 REGULAR	
72		(72.2 m - 72.9 m) Caliza		R3						10	10	32 MALA	
		(72.9 m - 73.2 m) Caliza		R3						10	10	32 MALA	
		(73.2 m - 73.8 m) Caliza		R3						10	10	32 MALA	
		(73.8 m - 74.45 m) Caliza		R3						10	10	32 MALA	
		(74.45 m - 75.3 m) Caliza		R3						10	10	32 MALA	
75		(75.3 m - 76.1 m) Caliza		R3						10	10	32 MALA	
		(76.1 m - 77.1 m) Caliza		R3						10	10	32 MALA	
		(77.1 m - 78.1 m) Caliza		R3						10	10	32 MALA	
		(78.1 m - 78.9 m) Caliza		R3						10	10	32 MALA	
		(78.9 m - 79.4 m) Caliza		R3						10	10	32 MALA	
		(79.4 m - 80 m) Caliza		R3						10	10	32 MALA	

LEYENDA

RQD (Rock Quality Designation)	GRADO DE RESISTENCIA	MPa	CONDICIÓN DE JUNTA	CONDICIÓN DE AGUA	RMR (Rock Mass Rating)
0 - 25 % Muy pobre	R0 Roca extremadamente debil	0.25 - 1	0 Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	Agua fluyendo	0
25 - 50 % Pobre	R1 Roca muy débil	1.0 - 5.0	10 Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	Agua goteando	4
50 - 75 % Regular	R2 Roca débil	5.0 - 25	20 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, muy meteorizada	Mojado	7
75 - 90 % Buena	R3 Roca medianamente dura	25 - 50	25 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, ligeramente meteorizada	Húmedo	10
90 - 100 % Excelente	R4 Roca dura	50 -100	30 Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	Totalmente Seco	15
	R5 Roca muy dura	100 - 250			
	R6 Roca extremadamente dura	>250			



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710794.869
 Coordenada Este: 376201.352
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4634.812
 Profundidad Total (m): 130.00

Registrado por: YB / AO
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 19/03/2016
 Fecha de Término: 26/03/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-04
 Nivel de Agua Final de Sondaje: 87.850
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 87.850

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (UL), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (IS50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación	RQD %	Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro
81		(80 m - 80.3 m) Caliza fracturada				R3				10	10	32 MALA	
		(80.3 m - 81.1 m) Caliza				R3				10	10	32 MALA	
82		(81.1 m - 82.3 m) Caliza fracturada				R3				10	10	32 MALA	
		(82.3 m - 83 m) Caliza fracturada				R3				10	10	32 MALA	
83		(83 m - 83.4 m) Caliza				R3				10	10	32 MALA	
		(83.4 m - 84 m) Caliza				R3				10	10	32 MALA	
84		(84 m - 84.8 m) Caliza				R3				10	10	32 MALA	
		(84.8 m - 85.3 m) Sin recuperación											
		(85.3 m - 86 m) Caliza				R3				10	10	32 MALA	
86		(86 m - 86.8 m) Caliza				R3				10	10	32 MALA	
		(86.8 m - 87.3 m) Caliza	LUGEON 7 (De 85 a 90m)			R3				10	10	32 MALA	
87		(87.3 m - 88.1 m) Caliza	Tipo de Flujo: Dilatación			R3				10	10	32 MALA	
		(88.1 m - 89 m) Caliza	Unidades Lugeon: 9.34		PLT-14 5.47	R5				20	10	50 REGULAR	
88		(89 m - 89.5 m) Caliza	Permeabilidad: 1.15E-04			R4				20	10	45 REGULAR	
		(89.5 m - 90 m) Sin recuperación				R3				10	10	32 MALA	

LEYENDA

RQD (Rock Quality Designation)	GRADO DE RESISTENCIA	MPa	CONDICIÓN DE JUNTA	CONDICIÓN DE AGUA	RMR (Rock Mass Rating)
0 - 25 % Muy pobre	R0 Roca extremadamente debil	0.25 - 1	0 Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	Agua fluyendo	0
25 - 50 % Pobre	R1 Roca muy debil	1.0 - 5.0	10 Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	Agua goteando	4
50 - 75 % Regular	R2 Roca debil	5.0 - 25	20 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, muy meteorizada	Mojado	7
75 - 90 % Buena	R3 Roca medianamente dura	25 - 50	25 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, ligeramente meteorizada	Humedo	10
90 - 100 % Excelente	R4 Roca dura	50 - 100	30 Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	Totalmente Seco	15
	R5 Roca muy dura	100 - 250			
	R6 Roca extremadamente dura	>250			
					0 - 20 Muy mala
					21 - 40 Mala
					41 - 60 Regular
					61 - 80 Buena
					81 - 100 Muy buena



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710794.869
 Coordenada Este: 376201.352
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4634.812
 Profundidad Total (m): 130.00

Registrado por: YB / AO
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 19/03/2016
 Fecha de Término: 26/03/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-04
 Nivel de Agua Final de Sondaje: 87.850
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 87.850

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (UL), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (Is50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación	RQD %	Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro
90		(90 m - 90.7 m) Sin recuperación											
91		(90.7 m - 91 m) Caliza				R3				0	15	27 MALA	
		(91 m - 91.3 m) Caliza				R3				0	15	27 MALA	
		(91.3 m - 91.7 m) Caliza				R3				0	15	27 MALA	
		(91.7 m - 92.2 m) Caliza				R3				0	15	27 MALA	
92		(92.2 m - 92.8 m) Brecha de falla				R2				0	15	25 MALA	
		(92.8 m - 93.6 m) Brecha de falla				R2				0	15	25 MALA	
		(93.6 m - 94.1 m) Caliza				R2				0	15	25 MALA	
		(94.1 m - 94.7 m) Caliza	LUGEON 8 (De 88.7 a 100.40m)			R2				0	15	25 MALA	
		(94.7 m - 95.3 m) Caliza	Tipo de Flujo: Dilatación			R2				20	15	60 REGULAR	← Filtro de arena de sílice
		(95.3 m - 96 m) Caliza	Unidades Lugeon: 8		PLT-15 0.05	R2				10	15	50 REGULAR	
		(96 m - 96.5 m) Caliza	Permeabilidad: 1.17E-04			R2				0	15	25 MALA	
		(96.5 m - 97.1 m) Caliza				R2				0	15	25 MALA	
		(97.1 m - 97.6 m) Caliza				R2				0	10	20 MUY MALA	← Filtro de arena de sílice
		(97.6 m - 98.2 m) Caliza				R2				0	10	20 MUY MALA	
		(98.2 m - 98.8 m) Caliza				R2				0	10	20 MUY MALA	
		(98.8 m - 99.2 m) Caliza				R2				10	10	30 MALA	
		(99.2 m - 99.65 m) Sin recuperación											
		(99.65 m - 100.4 m) Caliza				R2				0	10	20 MUY MALA	

LEYENDA

RQD (Rock Quality Designation)	GRADO DE RESISTENCIA	MPa	CONDICIÓN DE JUNTA	CONDICIÓN DE AGUA	RMR (Rock Mass Rating)
0 - 25 % Muy pobre	R0 Roca extremadamente debil	0.25 - 1	0 Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	Agua fluyendo	0
25 - 50 % Pobre	R1 Roca muy débil	1.0 - 5.0	10 Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	Agua goteando	4
50 - 75 % Regular	R2 Roca débil	5.0 - 25	20 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, muy meteorizada	Mojado	7
75 - 90 % Buena	R3 Roca medianamente dura	25 - 50	25 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, ligeramente meteorizada	Húmedo	10
90 - 100 % Excelente	R4 Roca dura	50 - 100	30 Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	Totalmente Seco	15
	R5 Roca muy dura	100 - 250			4
	R6 Roca extremadamente dura	>250			0 - 20 Muy mala
					21 - 40 Mala
					41 - 60 Regular
					61 - 80 Buena
					81 - 100 Muy buena



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710794.869
 Coordenada Este: 376201.352
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4634.812
 Profundidad Total (m): 130.00

Registrado por: YB / AO
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 19/03/2016
 Fecha de Término: 26/03/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-04
 Nivel de Agua Final de Sondaje: 87.850
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 87.850

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (UL), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (IS50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación	RQD %	Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro
101		(100.4 m - 100.9 m) Sin recuperación				R2	20-40	20	0.1	0	10	20 MUY MALA	
101		(100.9 m - 101.4 m) Caliza				R2	20-40	20	0.1	0	10	20 MUY MALA	
102		(101.4 m - 101.9 m) Caliza				R2	20-40	20	0.1	10	10	30 MALA	
102		(101.9 m - 102.4 m) Caliza				R2	20-40	20	0.1	20	10	45 REGULAR	
103		(102.4 m - 103.3 m) Caliza				R4	20-40	20	0.1	20	10	53 REGULAR	
104		(103.3 m - 104.3 m) Caliza				R4	20-40	20	0.1	20	10	62 BUENA	
105		(104.3 m - 104.9 m) Caliza			PLT-16 2.43	R4	20-40	20	0.1	20	10	58 REGULAR	
105		(104.9 m - 105.8 m) Caliza				R3	20-40	20	0.1	20	10	55 REGULAR	← Filtro de arena de sílice
106		(105.8 m - 106.3 m) Caliza	LUGEON 9 (De 103.9 a 110.10m)			R3	20-40	20	0.1	20	10	42 REGULAR	
107		(106.3 m - 106.9 m) Caliza	Tipo de Flujo: Flujo Laminar			R3	20-40	20	0.1	0	10	22 MALA	
107		(106.9 m - 107.6 m) Caliza	Unidades Lugeon: 13.85			R3	20-40	20	0.1	0	10	22 MALA	← Filtro de arena de sílice
108		(107.6 m - 108.3 m) Caliza	Permeabilidad: 1.79E-04			R3	20-40	20	0.1	0	10	22 MALA	
108		(108.3 m - 108.6 m) Caliza				R3	20-40	20	0.1	20	10	45 REGULAR	
109		(108.6 m - 109.2 m) Caliza				R3	20-40	20	0.1	10	10	37 MALA	
109		(109.2 m - 109.4 m) Caliza				R3	20-40	20	0.1	0	10	22 MALA	
109		(109.4 m - 110.1 m) Caliza				R3	20-40	20	0.1	0	10	30 MALA	

LEYENDA

RQD (Rock Quality Designation)	GRADO DE RESISTENCIA	MPa	CONDICIÓN DE JUNTA	CONDICIÓN DE AGUA	RMR (Rock Mass Rating)
0 - 25 % Muy pobre	R0 Roca extremadamente débil	0.25 - 1	0 Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	Agua fluyendo	0
25 - 50 % Pobre	R1 Roca muy débil	1.0 - 5.0	10 Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	Agua goteando	4
50 - 75 % Regular	R2 Roca débil	5.0 - 25	20 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, muy meteorizada	Mojado	7
75 - 90 % Buena	R3 Roca medianamente dura	25 - 50	25 Ligeramente rugosa, < 1 mmde separación, ligeramente meteorizada	Húmedo	10
90 - 100 % Excelente	R4 Roca dura	50 - 100	30 Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	Totalmente Seco	15
	R5 Roca muy dura	100 - 250			
	R6 Roca extremadamente dura	>250			



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710794.869
 Coordenada Este: 376201.352
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4634.812
 Profundidad Total (m): 130.00

Registrado por: YB / AO
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 19/03/2016
 Fecha de Término: 26/03/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-04
 Nivel de Agua Final de Sondaje: 87.850
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 87.850

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (UL), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (IS50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación	RQD %	Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro
111		(110.1 m - 110.8 m) Caliza fracturada	LUGEON 10 (De 111 a 120.10m) Tipo de Flujo: Lavado de Fisuras Unidades Lugeon: 15.29 Permeabilidad: 2.13E-04		PLT-17 5.76	R5	20 40 60 80	20 40 60 80	0.1 0.2 0.3 0.4	20	10	58 REGULAR	<p>Tubo ranurado Filtro de arena de sílice</p>
		(110.8 m - 111.8 m) Caliza fracturada				R3	20 40 60 80	20 40 60 80	0.1 0.2 0.3 0.4	20	10	42 REGULAR	
112		(111.8 m - 112.6 m) Caliza				R3	20 40 60 80	20 40 60 80	0.1 0.2 0.3 0.4	10	10	32 MALA	
		(112.6 m - 113.4 m) Caliza muy fracturada				R3	20 40 60 80	20 40 60 80	0.1 0.2 0.3 0.4	10	10	32 MALA	
		(113.4 m - 114 m) Caliza				R3	20 40 60 80	20 40 60 80	0.1 0.2 0.3 0.4	10	10	32 MALA	
114		(114 m - 114.9 m) Caliza				R3	20 40 60 80	20 40 60 80	0.1 0.2 0.3 0.4	20	10	55 REGULAR	
115		(114.9 m - 116.4 m) Limolita				R2	20 40 60 80	20 40 60 80	0.1 0.2 0.3 0.4	10	10	56 REGULAR	
116		(116.4 m - 117.2 m) Caliza				R2	20 40 60 80	20 40 60 80	0.1 0.2 0.3 0.4	20	10	40 MALA	
117		(117.2 m - 118 m) Caliza fracturada				R2	20 40 60 80	20 40 60 80	0.1 0.2 0.3 0.4	20	10	40 MALA	
118		(118 m - 119.1 m) Caliza fracturada				R2	20 40 60 80	20 40 60 80	0.1 0.2 0.3 0.4	20	10	40 MALA	
119		(119.1 m - 119.5 m) Caliza	R2	20 40 60 80	20 40 60 80	0.1 0.2 0.3 0.4	20	10	40 MALA				
		(119.5 m - 120.1 m) Caliza	R2	20 40 60 80	20 40 60 80	0.1 0.2 0.3 0.4	20	10	55 REGULAR				

LEYENDA

RQD (Rock Quality Designation)	GRADO DE RESISTENCIA	MPa	CONDICIÓN DE JUNTA	CONDICIÓN DE AGUA	RMR (Rock Mass Rating)
0 - 25 % Muy pobre	R0 Roca extremadamente débil	0.25 - 1	0 Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	Agua fluyendo 0	0 - 20 Muy mala
25 - 50 % Pobre	R1 Roca muy débil	1.0 - 5.0	10 Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	Agua goteando 4	21 - 40 Mala
50 - 75 % Regular	R2 Roca débil	5.0 - 25	20 Ligeramente rugosa, < 1 mm de separación, muy meteorizada	Mojado 7	41 - 60 Regular
75 - 90 % Buena	R3 Roca medianamente dura	25 - 50	25 Ligeramente rugosa, < 1 mm de separación, ligeramente meteorizada	Húmedo 10	61 - 80 Buena
90 - 100 % Excelente	R4 Roca dura	50 - 100	30 Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	Totalmente Seco 15	81 - 100 Muy buena
	R5 Roca muy dura	100 - 250			
	R6 Roca extremadamente dura	>250			



Datum: PSAD 56
 Coordenada Norte: 8710794.869
 Coordenada Este: 376201.352
 Elevación de Terreno (m.s.n.m): 4634.812
 Profundidad Total (m): 130.00

Registrado por: YB / AO
 Revisado por: EA
 Fecha de Inicio: 19/03/2016
 Fecha de Término: 26/03/2016
 Azimut/Inclinación: - / 90

Cía. de Perforación: GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
 Máquina Perforadora: LF-90-04
 Nivel de Agua Final de Sondaje: 87.850
 Nivel de Agua 24 horas después del sondaje: 87.850

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción, Notas y Comentarios	Ensayo de Lugeon (TF), (UL), y (K cm/s)	Muestra y Resultado de Laboratorio	Ensayo PLT (IS50) (MPa)	Resistencia de la Roca Intacta	% Recuperación	RQD %	Espaciamiento Promedio (m)	Condición de Junta Valoración	Condición de Agua Valoración	RMR	Diagrama de piezómetro
121		(120.1 m - 120.9 m) Sin recuperación											
		(120.9 m - 121.3 m) Caliza				R2				20	10	40 MALA	
		(121.3 m - 121.8 m) Caliza				R2				20	10	40 MALA	
122		(121.8 m - 122.3 m) Sin recuperación											
		(122.3 m - 122.5 m) Caliza				R2				20	10	40 MALA	
		(122.5 m - 123.8 m) Sin recuperación											
124		(123.8 m - 124.2 m) Caliza				R2				0	10	20 MUY MALA	Filtro de arena de sílice
		(124.2 m - 125 m) Caliza				R2				0	10	20 MUY MALA	Tubo ranurado
125		(125 m - 125.5 m) Caliza				R2				10	10	32 MALA	Tubería lisa
		(125.5 m - 126.1 m) Caliza				R2				0	10	20 MUY MALA	
126		(126.1 m - 126.4 m) Caliza				R2				0	10	20 MUY MALA	
		(126.4 m - 126.8 m) Caliza				R2				10	10	30 MALA	
127		(126.8 m - 127.3 m) Caliza fracturada	LUGEON 11 (De 125.5 a 130m)			R2				20	10	42 REGULAR	
		(127.3 m - 127.8 m) Caliza fracturada	Tipo de Flujo: Dilatación			R2				20	10	45 REGULAR	
128		(127.8 m - 128.4 m) Sin recuperación	Unidades Lugeon: 2.02										
		(128.4 m - 128.6 m) Caliza	Permeabilidad: 2.44E-05			R2				20	10	40 MALA	
129		(128.6 m - 129.1 m) Sin recuperación											
		(129.1 m - 129.6 m) Caliza				R2				20	10	40 MALA	
		(129.6 m - 130 m) Caliza				R2				20	10	40 MALA	

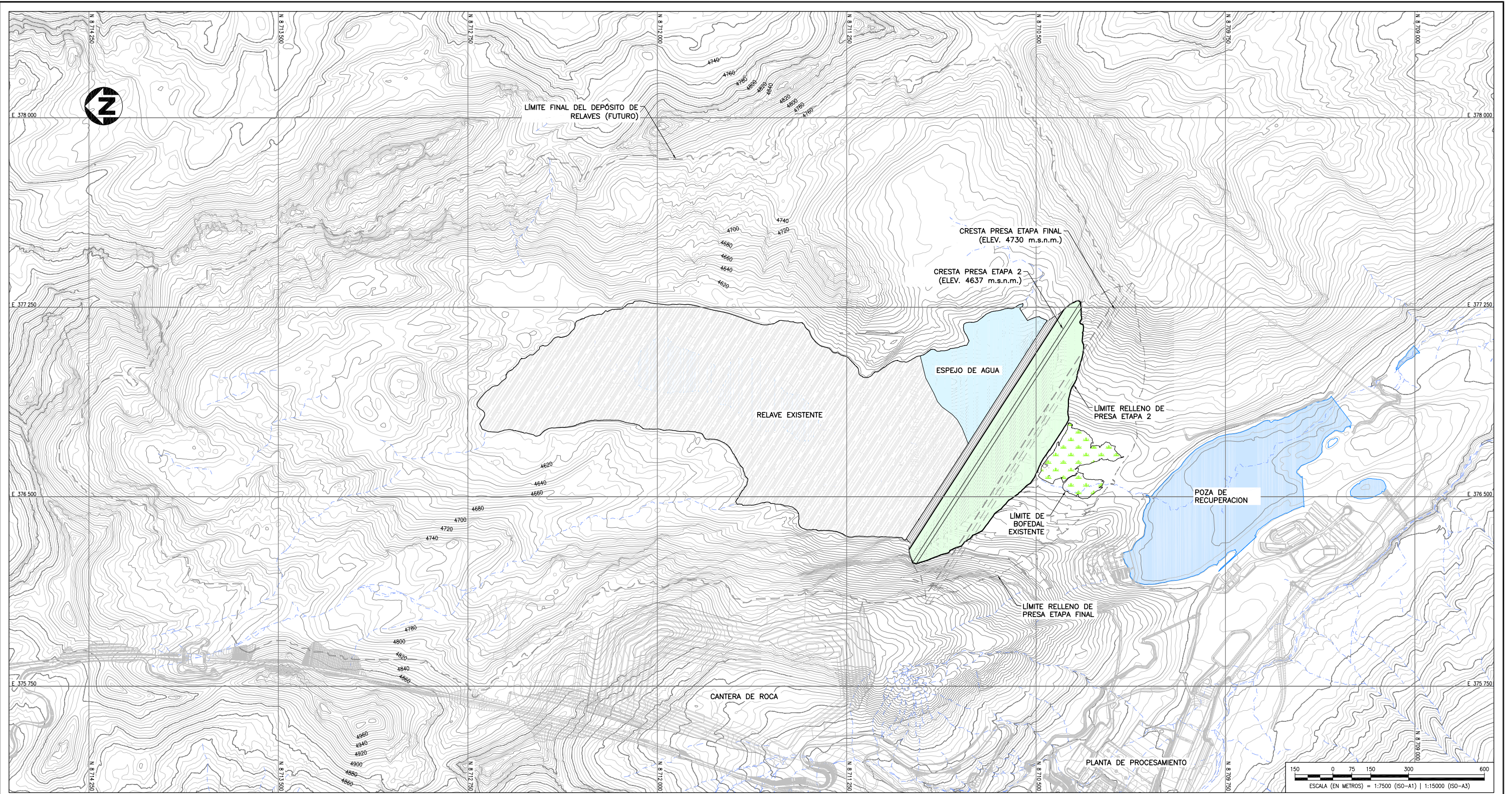
Fin de Perforación a 130

LEYENDA

RQD ^m (Rock Quality Designation)	GRADO DE RESISTENCIA	MPa	CONDICIÓN DE JUNTA	CONDICIÓN DE AGUA	RMR (Rock Mass Rating)
0 - 25 % Muy pobre	R0 Roca extremadamente débil	0.25 - 1	0 Panizo suave >5mm o separación > 5mm, junta continua	Agua fluyendo	0
25 - 50 % Pobre	R1 Roca muy débil	1,0 - 5,0	10 Pulida o panizo <5mm o separación de 1 a 5 mm, junta continua	Agua goteando	4
50 - 75 % Regular	R2 Roca débil	5,0 - 25	20 Ligeramente rugosa, < 1 mm de separación, muy meteorizada	Mojado	7
75 - 90 % Buena	R3 Roca medianamente dura	25 - 50	25 Ligeramente rugosa, < 1 mm de separación, ligeramente meteorizada	Húmedo	10
90 - 100 % Excelente	R4 Roca dura	50 - 100	30 Muy rugosa, discontinua, sin separación, sin relleno, fresca	Totalmente Seco	15
	R5 Roca muy dura	100 - 250			0 - 20 Muy mala
	R6 Roca extremadamente dura	>250			21 - 40 Mala
					41 - 60 Regular
					61 - 80 Buena
					81 - 100 Muy buena

ANEXO D

PLANOS



LEYENDA

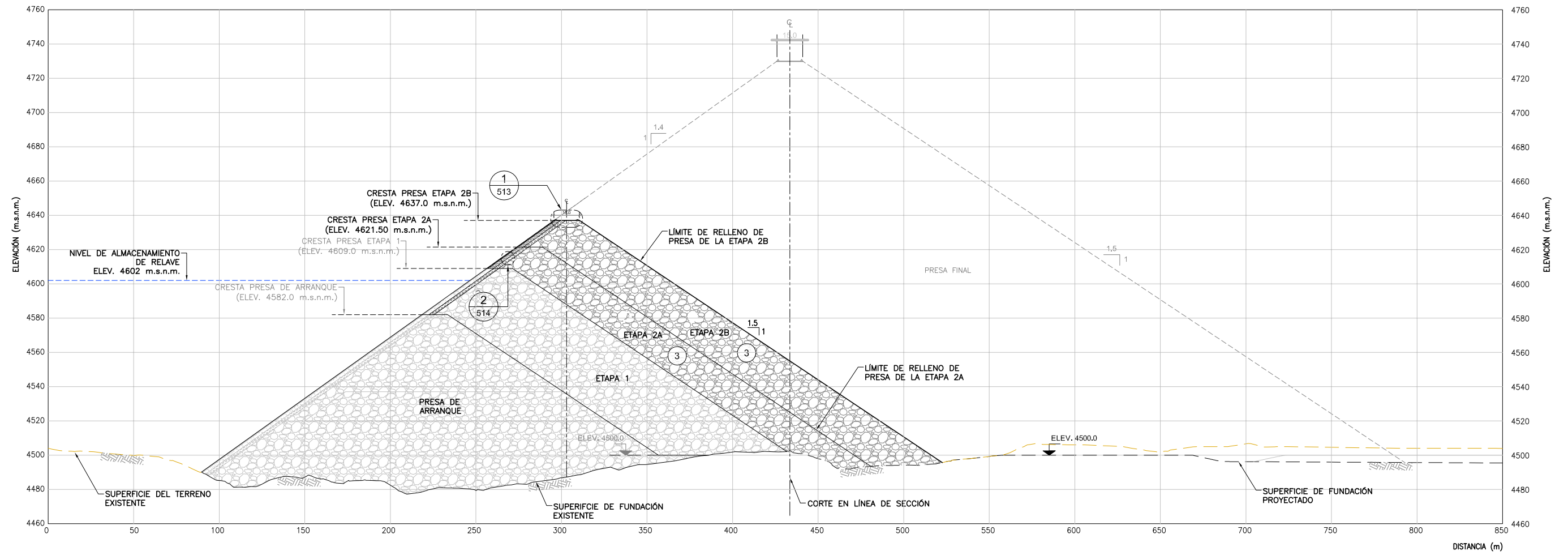
	CURVAS DE NIVEL Y ELEVACION EN METROS DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO EXISTENTE
	QUEBRADA
	CAMINO DE ACCESO EXISTENTE
	LAGO
	BOFEDAL (EXISTENTE)
	ESPEJO DE AGUA (EXISTENTE)
	RELAVE EXISTENTE
	HUELLA DISEÑO ETAPA 2
	LÍMITE FINAL DEL DEPÓSITO DE RELAVES

NOTAS:

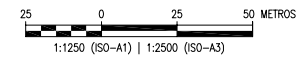
1. LA BASE TOPOGRÁFICA (SETIEMBRE, 2015), SISTEMA DE COORDENADAS UTM WGS-84, ZONA 18 SUR.
2. DIMENSIONES Y NIVELES EN METROS, A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO EN EL PLANO.
3. LAS ESCALAS SE MOSTRARÁN COMO REALES EN PLANOS IMPRESOS EN FORMATO A1.

PLANTA GENERAL
ESCALA: 1:7500

PROYECTO	TOROMOCHO		
ÁREA	PRESA DE RELAVES - ETAPA 2		
TÍTULO	DEPÓSITO DE RELAVES ETAPA 2: DISPOSICIÓN GENERAL		
DWG. No.	A1		



PRESA DE RELAVES – SECCIÓN TÍPICA



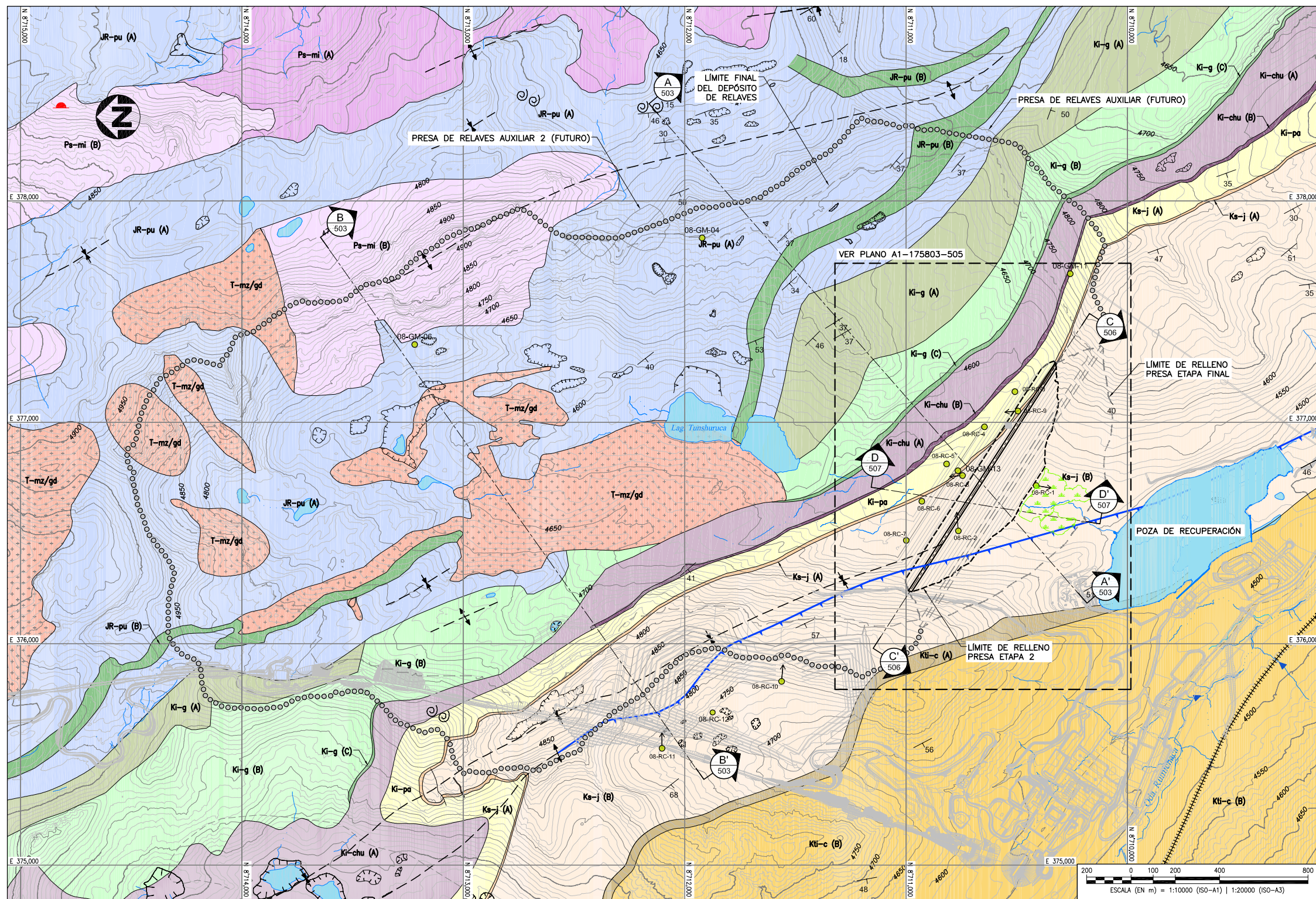
CUADRO RESUMEN DE MATERIALES DE PRESA						
ZONA	FUNCION	DESCRIPCION	TAMAÑO MAXIMO (mm)	ESPESOR DE CAPA DISGRESADO (m)	EQUIPO DE COMPACTACION	NUMERO MINIMO DE PASADAS
1	FILTRO	GRAVA Y ARENAS SELECCIONADOS	75	0.3 MAX. (VER NOTA 4)	RODILLO VIBRATORIO DE 10t Y COMPACTADORES PEQUEÑOS	VER NOTA 5
2	TRANSICIÓN	CANTOS, BOLONERIA, GRAVAS Y ARENA SELECCIONADOS	300	0.6 MAX. (VER NOTA 4)	RODILLO VIBRATORIO DE 10ton	6
3	ENROCADO	ENROCADO DE BUENA CALIDAD	1500 (VER NOTA 6)	1.5 (VER NOTA 6)	RODILLO VIBRATORIO DE 20ton	6

LEYENDA	
	ENROCADO (MATERIAL TIPO 3)
	MATERIAL DE TRANSICIÓN (MATERIAL TIPO 2)
	MATERIAL DE FILTRO (MATERIAL TIPO 1)
	CAPA DE RODADURA ARENA Y GRAVA Y BERMA DE SEGURIDAD
	CONTACTO DE ROCA
	SUPERFICIE DE TERRENO EXISTENTE
	SUPERFICIE DE FUNDACION PROYECTADA
	SUPERFICIE DE FUNDACION EXISTENTE

NOTAS:

- LA BASE TOPOGRÁFICA (SEPTIEMBRE, 2015), SISTEMA DE COORDENADAS UTM WGS-84, ZONA 18 SUR.
- DIMENSIONES Y NIVELES EN METROS, A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO EN EL PLANO.
- LAS ESCALAS SE MOSTRARÁN COMO REALES EN PLANOS IMPRESOS EN FORMATO A1.
- EL ESPESOR SE DETERMINA EN EL TERRAPLÉN DE PRUEBA (DOS CAPAS COMPACTADAS DE FILTRO COINCIDEN CON LA ALTURA DE UN CURB). EL ESPESOR DE UNA CAPA COMPACTADA DE MATERIAL TIPO 2 COINCIDEN CON LA ALTURA DE UN CURB.
- EL PORCENTAJE DE COMPACTACIÓN DEL FILTRO (MATERIAL TIPO 1) SE ESTABLECERÁ CON EL TERRAPLÉN DE PRUEBA.
- EL TAMAÑO MÁXIMO Y EL ESPESOR DE CARA DEL MATERIAL ENROCADO (MATERIAL TIPO 3) SE ESTABLECERÁN CON EL TERRAPLÉN DE PRUEBA.

PROYECTO	TOROMOCHO		
ÁREA	PRESA DE RELAVES - ETAPA 2		
TÍTULO	PRESA DE RELAVES ETAPA 2: SECCIÓN TÍPICA		
DWG. No.	A1		



PLANTA
ESCALA: 1:10000

UNIDADES GEOLÓGICAS

PERÍODO PALEÓGENO

EVENTOS INTRUSIVOS

T-mz/gd Secuencia no subdividida de varias fases intrusivas de diorita de grano grueso a fino, granodiorita, pórfido feldespático y ocasionalmente diques de cuarzos feldespáticos.

CRETÁCICO SUPERIOR

FORMACIÓN CASAPALCA

Kti-c (B)

• **MIEMBRO SUPERIOR**
Secuencia de capas rojas que consiste de lutitas, lodolitas, limolitas y una intercalación de arenicas y conglomerados; susceptibles a la erosión, marrón rojizo oscuro.

Kti-c (A)

• **MIEMBRO INFERIOR**
Unidad basal con espesores de 50 a 70 m; Consiste de limolitas y lodolitas, marrón amarillentas oscuras.

FORMACIÓN JUMASHA

Ks-j (B)

• **MIEMBRO SUPERIOR**
Secuencia de intercalaciones de calizas y dolomías de grano medio a grueso, color gris claro con presencia de estilolitas ocasionales. Presencia de venillas y cavidades de calcita y dolomita secundaria. En la superficie de roca expuesta presenta diferentes grados de meteorización asociado a los efectos de las precipitaciones post glaciares. En profundidad esta formación contiene erosión kárstica pre-glacial, oquedades u vacíos interconectados con la superficie y rasgos de brechas por colapso.

Ks-j (A)

• **MIEMBRO INFERIOR**
Dolomías finamente estratificadas con numerosos nódulos de chert negro.

CRETÁCICO INFERIOR

FORMACIÓN PARIATAMBO

Ki-pa

Capas delgadas de calizas margosas que varían hacia el tope a dolomías (25% de la secuencia), color gris oscuro (gris oscuro a negro en el testigo), grano fino. Tiene horizontes con distintos tamaños de fósiles de Pelecípodos con bordes acerrados. La secuencia contiene capas muy delgadas (0.5 cm a 5 cm) de margas bituminosas brillantes y capas gruesas de lutitas carbonáceas negras susceptible a desmoronarse identificadas en los testigos de roca.

FORMACIÓN CHULEC

Ki-chu (B)

• **MIEMBRO SUPERIOR**
Calizas litoclásticas con estilolitas ocasionales, textura oolítica, gris claro, grano medio a grueso. En la parte superior de la formación los estratos presentan formas prominentes con horizontes marcados y espesores de 10 a 15 m.

Ki-chu (A)

• **MIEMBRO INFERIOR**
Secuencia no subdividida de estratos delgados a gruesos de calizas y dolomías litoclásticas a arcillosas, calizas arcillosas y lutitas calcáreas de color gris oscuro a negro, y grano fino a medio. El talud expuesto presenta a las secuencias meteorizadas de color marrón amarillento claro.

FORMACIÓN GOYLLARISQUIZGA

Ki-g (C)

• **BASALTO GOYLLARISQUIZGA**
Capas de basalto masivos, color verde oscuro a verde pardusco, grano fino a medio, espesores aproximados de 5 a 10 m, horizontes marcados continuos afloran en el tope de la formación Goyllarisquiza.

Ki-g (B)

• **MIEMBRO SUPERIOR**
Intercalación de estratos delgados a medianos de limolita silícea y calizas de color marrón amarillento y grano fino; con menores cantidades de capas medianas de calizas que van gradando a areniscas en forma estrato creciente cerca del tope de la formación.

Ki-g (A)

• **MIEMBRO INFERIOR**
Intercalación de capas rojas de limolitas y lutitas susceptibles a la erosión con menores cantidades de limolitas y areniscas gris amarillentas.

FORMACIÓN PUCARÁ

JR-pu (C)

• **MIEMBRO SUPERIOR**
Estratos delgados a medianos de dolomía y dolomía calcárea de color gris pardusco a claro.

JR-pu (B)

• **BASALTO MONTERO**
Basalto masivo con pequeñas partes de vesículas y amigdaloides, color gris pardusco oscuro a negro, grano fino. En la superficie superior se notan fragmentos de basalto suspendidos en limolitas calcáreas y dolomías.

JR-pu (A)

• **MIEMBRO INFERIOR**
Estratos medianos a gruesos de dolomía silícea, color gris pardusco a pardo y grano fino. La ocurrencia de chert se da en forma de nódulos negros alargados a sub-redondeados de aproximadamente 5 a 20 cm orientados con la estratificación. El chert resulta del material detrítico del talud que se desmoronó.

CRETÁCICO INFERIOR

GRUPO MITU

Ps-mi (B)

• **VOLCÁNICOS CATALINA**
Flujos masivos de dacitas y andesitas, color marrón a marrón oscuro. Las rocas contienen mineralización de pirita diseminada que forman óxidos de hierro en la superficie de la roca.

Ps-mi (A)

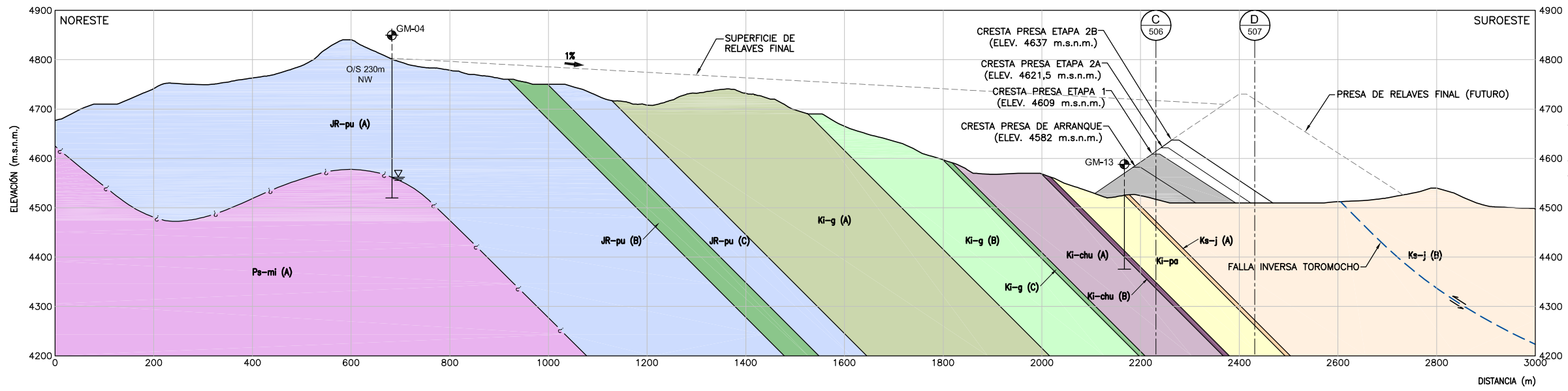
• **FORMACIÓN MITU**
Aglomerado volcánico, limolitas y lutitas de color marrón a gris.

LEYENDA	
	CURVAS DE NIVEL Y ELEVACIÓN EN METROS DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO EXISTENTE
	CONTACTO GEOLÓGICO
	RUMBO Y BUZAMIENTO DE LOS ESTRATOS
	ANTICLINAL
	SINCLINAL
	DESPLAZAMIENTO ANTIGUO
	FALLA INVERSA
	LAGO
	VÍA FÉRREA
	POZA DE LA BOCAMINA PRINCIPAL
	ÁREA FOSILÍFERA
	LÍMITE DE CUENCA
	KARST Y SUMIDROS
	HUELLA FINAL DEL DEPÓSITO DE RELAVES
	SONDAJE GEOTÉCNICO DEL PROGRAMA DE PERFORACIONES, JUNIO 2008
	BOFEDAL (EXISTENTE)

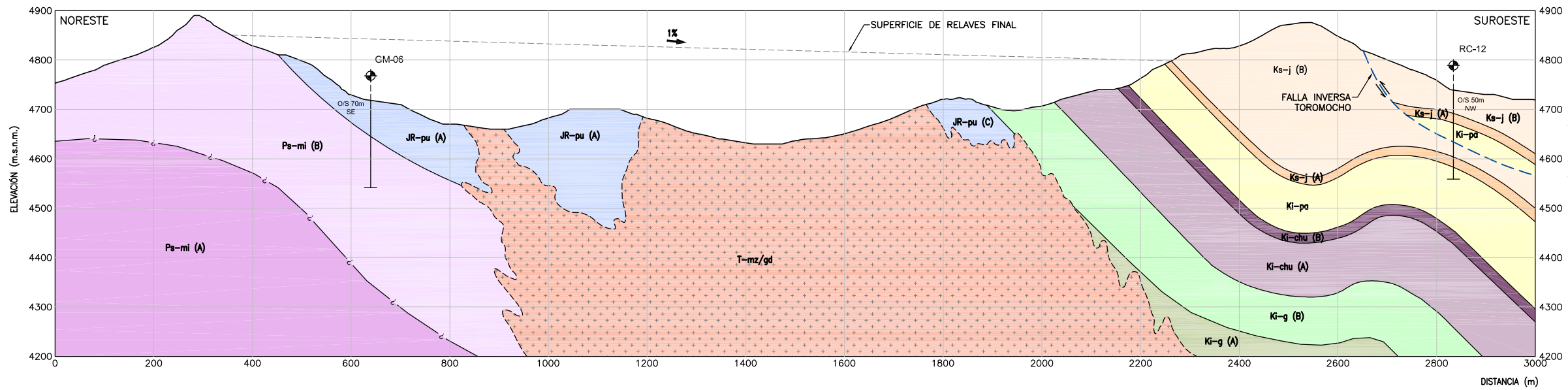
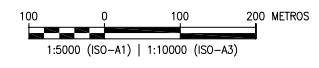
NOTAS:

1. LA BASE TOPOGRÁFICA (SEPTIEMBRE, 2015), SISTEMA DE COORDENADAS UTM WGS-84, ZONA 18 SUR.
2. DIMENSIONES Y NIVELES EN METROS, A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO EN EL PLANO.
3. GEOLOGÍA DEL BASAMENTO
4. LAS ESCALAS SE MOSTRARÁN COMO REALES EN PLANOS IMPRESOS EN FORMATO A1.

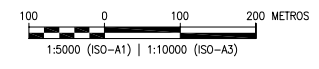
PROYECTO:	TOROMOCHO
ÁREA:	PRESA DE RELAVES - ETAPA 2
TÍTULO:	GEOLOGÍA DEL BASAMENTO: PLANTA
DWG No.:	A1



A SECCIÓN GEOLÓGICA A-A'



B SECCIÓN GEOLÓGICA B-B'



LEYENDA

○ IDENTIFICADOR DE DETALLE O SECCIÓN

○ PLANO DONDE SE UBICA EL DETALLE O SECCIÓN. SE COLOCARÁ "-----" CUANDO EL DETALLE O SECCIÓN SE MUESTRE EN EL MISMO PLANO

- NOTAS:**
- LA BASE TOPOGRÁFICA (SEPTIEMBRE, 2015), SISTEMA DE COORDENADAS UTM WGS-84, ZONA 18 SUR.
 - DIMENSIONES Y NIVELES EN METROS, A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO EN EL PLANO.
 - LAS ESCALAS SE MOSTRARÁN COMO REALES EN PLANOS IMPRESOS EN FORMATO A1.
 - GEOLOGÍA DEL BASAMENTO

UNIDADES GEOLÓGICAS

- PERÍODO PALEÓGENO**
- EVENTOS INTRUSIVOS**
 T-mz/gd Secuencia no subdividida de varias fases intrusivas de diorita de grano grueso a fino, granodiorita, pórfido feldespático y ocasionalmente diques de cuarzos feldespáticos.
- CRETÁCICO SUPERIOR**
- FORMACIÓN JUMASHA**
- MIEMBRO SUPERIOR
 Secuencia de intercalaciones de calizas y dolomías de grano medio a grueso, color gris claro con presencia de estiolitas ocasionales. Presencia de venillas y cavidades de calcita y dolomita secundaria. En la superficie de roca expuesta presenta diferentes grados de meteorización asociada a los efectos de las precipitaciones post glaciares. En profundidad esta formación contiene erosión kárstica pre-glacial, oquedades u vacíos interconectados con la superficie y rasgos de brechas por colapso.
 - MIEMBRO INFERIOR
 Dolomías finamente estratificadas con numerosos nódulos de chert negro.
- Ks-j (B)**
- Ks-j (A)**

- CRETÁCICO INFERIOR**
- FORMACIÓN PARIATAMBO**
- Ki-pa** Capas delgadas de calizas margosas que varían hacia el tope a dolomías (25% de la secuencia), color gris oscuro (gris oscuro a negro en el testigo), grano fino. Tiene horizontes con distintos tamaños de fósiles de Peleciópodos con bordes acorados. La secuencia contiene capas muy delgadas (0,5 cm a 5 cm) de margas bituminosas brillantes y capas gruesas de lutitas carbonáceas negras susceptible a desmoronarse identificadas en los testigos de roca.
- FORMACIÓN CHULEC**
- MIEMBRO SUPERIOR
 Calizas litoclásticas con estiolitas ocasionales, textura oolítica, gris claro, grano medio a grueso. En la parte superior de la formación los estratos presentan formas prominentes con horizontes marcados y espesores de 10 a 15 m.
 - MIEMBRO INFERIOR
 Secuencia no subdividida de estratos delgados a gruesos de calizas y dolomías litoclásticas o arcillosas, calizas arcillosas y lutitas calcáreas de color gris oscuro a negro, y grano fino a medio. El talud expuesto presenta a las secuencias meteorizadas de color marrón amarillento claro.
- Ki-chu (B)**
- Ki-chu (A)**

- FORMACIÓN GOYLLARISQUIZGA**
- **BASALTO GOYLLARISQUIZGA**
 Capas de basalto masivos, color verde oscuro a verde pardusco, grano fino a medio, espesores aproximados de 5 a 10 m, horizontes marcados continuos afloran en el tope de la formación Goyllarisquizga.
 - **MIEMBRO SUPERIOR**
 Intercalación de estratos delgados a medianos de limolita silícea y calizas de color marrón amarillento y grano fino; con menores cantidades de capas medianas de calizas que van gradando a areniscas en forma estrato creciente cerca del tope de la formación.
 - **MIEMBRO INFERIOR**
 Intercalación de capas rajadas de limolitas y lutitas susceptibles a la erosión con menores cantidades de limolitas y areniscas gris amarillentas.
- FORMACIÓN PUCARÁ**
- **MIEMBRO SUPERIOR**
 Estratos delgados a medianos de dolomía y dolomía calcárea de color gris pardusco a claro.
 - **BASALTO MONTERO**
 Basalto masivo con pequeñas partes de vesículas y amigdaloides, color gris pardusco oscuro a negro, grano fino. En la superficie superior se notan fragmentos de basalto suspendidos en limolitas calcáreas y dolomías.
- Ki-g (C)**
- Ki-g (B)**
- Ki-g (A)**
- JR-pu (C)**
- JR-pu (B)**

- **MIEMBRO INFERIOR**
JR-pu (A) Estratos medianos a gruesos de dolomía silícea, color gris pardusco a pardo y grano fino. La ocurrencia de chert se da en forma de nódulos negros alargados a sub-redondeados de aproximadamente 5 a 20 cm orientados con la estratificación. El chert resulta del material detrítico del talud que se desmoronó.
- CRETÁCICO INFERIOR**
- GRUPO MITU**
- **VOLCÁNICOS CATALINA**
Ps-mi (B) Flujos masivos de dacitas y andesitas, color marrón a marrón oscuro. Las rocas contienen mineralización de pirita diseminada que forman óxidos de hierro en la superficie de la roca.
 - **FORMACIÓN MITU**
Ps-mi (A) Aglomerado volcánico, limolitas y lutitas de color marrón a gris.

PROYECTO	TOROMOCHO
ÁREA	PRESA DE RELAVES - ETAPA 2
TÍTULO	GEOLOGÍA DEL BASAMENTO: SECCIONES A-A' Y B-B'
DWG. No.	A1