

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**“ANÁLISIS GEOTÉCNICO COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS
CONSTRUCTIVOS AGUAS ABAJO Y LÍNEA CENTRAL EN UNA
PRESA DE RELAVES CICLONEADOS”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

EDITH SAYNA HANCCO BUSTAMANTE

ASESOR

MSc. CÉSAR AUGUSTO ATALA ABAD

Lima – Perú

2023

© 2023, 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”

Hanco Bustamante, Edith Sayna

ehaccob@uni.pe

942836791

DEDICATORIA

A Dios, por siempre estar a mi lado e inspirarme a tomar las mejores decisiones y por ayudarme a creer que todo es posible, solo debo creerlo con todas mis fuerzas.

A mis padres Gregorio y María, por siempre guiarme a ser una mejor persona cada día. Por haber estado ahí para mí siempre, por enseñarme que la vida no es fácil, pero podemos luchar y superar todas las adversidades con entusiasmo y mucho amor en las cosas que hacemos.

A mi hermana Raquel, por siempre ser quien me apoya, me escucha y está ahí para mí, eres y serás mi más grande inspiración para seguir adelante por mis sueños.

A mi hermanito Juan, por mostrarme que todos podemos ser grandes y por ser mi motor para luchar por mis sueños.

A mi novio José, por ser mi motivación para nunca rendirme y siempre estar pensando en que mejorar y por enseñarme que el tiempo es valioso y debo saber aprovecharlo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por siempre estar a mi lado, por permitir que tenga la dicha de tener a mi familia a mi lado, por bendecirnos con buena salud y guiarnos por el camino a la felicidad, a Dios mi eterno agradecimiento, por ser tan generoso y brindarme siempre su apoyo cuando más lo necesito.

A mis padres Gregorio y María por enseñarme siempre a ser agradecido y siempre a ser humilde y no dejarme llevar por sentimientos mezquinos. Por aconsejarme a continuar con mis sueños pese a que parezca que son difíciles de lograr, todo se puede lograr cuando lo haces de corazón y con Dios a tu lado. A mi hermana Raquel, por ser siempre mi mejor consejera y amiga, por no juzgarme cuando me equivoco sino por alentarme a no volver a cometerlos y a pensar mejor las cosas y ver el lado positivo todo, gracias por ser la mejor hermana del universo.

A mi novio Jose por enseñarme lo valioso que es el tiempo y por ser mi modelo a seguir, por impulsarme a crecer y por ayudarme a vencer mi flojera. También agradecerle, por cada momento de felicidad a su lado y por ayudarme a seguir mis sueños.

A mi asesor el MSc. César A. Atala Abad, por siempre estar presto apoyarme con mis dudas, con sus revisiones continuas y consejos, que hicieron posible la realización de la presente tesis.

A la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería por albergarme 5 años, por enseñarme no solo ciencia sino también una forma de vida diferente y por haberme dado la posibilidad de mejorar mi estilo de vida.

A mis amigos, por enseñarme que en la vida existen personas que no necesariamente son tu familia, pero que puedes contar con ellos cuando los necesites.

A todos ustedes les estaré eternamente agradecida y deseo que Dios los bendiga siempre

ÍNDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
PRÓLOGO	5
LISTA DE TABLAS	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE SÍMBOLOS.....	9
LISTA DE SIGLAS	10
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. GENERALIDADES	11
1.2. PROBLEMÁTICA	12
1.3. OBJETIVOS	14
1.3.1. Objetivo General.....	14
1.3.2. Objetivos Específicos	14
1.4. HIPÓTESIS	14
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	15
2.1. PRESAS DE RELAVES CICLONEADOS	15
2.1.1. Cyclonamiento de Relaves	15
2.1.2. Principios de Cycloneamiento de Relaves.....	16
2.1.3. Aspectos de la Construcción de Presas de Relaves Cicloneados.....	17
2.2. MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN DE PRESAS DE RELAVES CICLONEADOS	20
2.2.1. Aguas Arriba.....	22
2.2.2. Línea Central.....	23
2.2.3. Aguas Abajo	25
2.3. HISTORIAL DE FALLAS DE PRESAS DE RELAVES	27
2.3.1. Causas de Falla.....	27
2.3.1.1. Seepage	30
2.3.1.2. Falla de la Fundación	30
2.3.1.3. Overtopping.....	30
2.3.1.4. Licuefacción.....	31
2.4. ANÁLISIS GEOTÉCNICO	31
2.4.1. Análisis de Estabilidad.....	31
2.4.2. Análisis de Infiltración.....	32
CAPÍTULO III. CASO DE ESTUDIO “PRESA DE RELAVES CICLONEADOS DE GRAN ALTURA”	33
3.1. ASPECTOS GENERALES	34
3.1.1. Ubicación.....	34
3.1.2. Geología Local de la Zona del Caso de Estudio.....	35
3.1.3. Sismicidad	38
3.1.4. Características de la Presa de relaves cicloneados - Caso de Estudio.....	39
3.2. CLASIFICACION POR CONSECUENCIA DE FALLA DE LA PRESA ...	42
3.3. INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS.....	43
3.4. ENSAYOS DE LABORATORIO	43
3.5. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES DE LA PRESA DE RELAVES CICLONEADOS DEL CASO DE ESTUDIO	45

3.5.1. Arena de relaves cicloneados (<i>Underflow</i>).....	45
3.5.2. Relaves de alimentación (<i>Feed</i>) y relaves finos (<i>Overflow</i>).....	47
3.5.3. Relleno de la Presa de Arranque.....	53
3.5.4. Dren basal (<i>Finger Drain</i>).....	55
3.5.5. Suelo Aluvial.....	55
3.5.6. Basamento Rocoso.....	59
3.5.7. Resumen.....	60
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS GEOTÉCNICO COMPARATIVO EN LOS MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN AGUAS ABAJO VS LINEA CENTRAL EN EL CASO DE ESTUDIO.....	61
4.1. COSTOS.....	66
4.2. ANÁLISIS DE FILTRACIONES.....	67
4.3. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD FÍSICA.....	73
4.4. MANEJO DE AGUAS.....	76
4.5. PRODUCCIÓN DE ARENA.....	77
4.6. COMPORTAMIENTO DINÁMICO.....	77
CONCLUSIONES.....	79
RECOMENDACIONES.....	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
ANEXOS.....	86

RESUMEN

El diseño y la construcción de grandes presas de relaves cicloneados se ha vuelto más frecuente en los últimos años, incluso en regiones sísmicamente activas como es el caso de estudio que se localiza en Arequipa-Perú. En todo el mundo existen varias presas de relaves que reportan alturas máximas de 250 m, como, por ejemplo: Perú y Chile.

Uno de los métodos de construcción de presas de relaves más económico es el denominado método de construcción aguas arriba (*upstream method*), dado que se utiliza una cantidad mínima de arena comparado con otros métodos como el método de línea de central (*centerline method*) y aguas abajo (*downstream method*). Sin embargo, el primero (*upstream method*), representa el tipo de construcción más riesgosa en términos de estabilidad física.

La presente tesis presenta la caracterización geotécnica de una presa de arena ciclónica de 165 metros de altura ubicada en una región altamente sísmica. El análisis comparativo está basado en un extenso programa de pruebas de laboratorio que incluye: granulometría por tamizado e hidrómetro, límites de Atterberg, contenido de humedad, gravedad específica, densidad, conductividad hidráulica saturada/no saturada, proctor modificado, proctor estándar, triaxiales consolidado no drenado (CU) y consolidado drenado (CD).

Finalmente, la presente investigación detalla un análisis comparativo (estabilidad de taludes, filtraciones, manejo de aguas y costos) de los métodos de construcción de presas de relaves de arenas cicloneadas: línea central (*centerline method*) y aguas abajo (*downstream method*). Dado que, considerando los eventos catastróficos suscitados en años recientes, estas estructuras (presas de relaves con el método de construcción en línea central y aguas abajo) sean muy probablemente las únicas permitidas en las regulaciones y normativas en el mundo.

Los resultados obtenidos han permitido comparar y analizar los métodos constructivos aguas abajo y línea central de una presa de relaves cicloneados de gran altura con los factores de seguridad obtenidos con el método de equilibrio límite, con el análisis de filtraciones en el cuerpo de la presa de relaves, el manejo de aguas y los costos en ambos casos de estudio.

ABSTRACT

The design and construction of large cyclone tailings dams has become more frequent in recent years, even in seismically active regions such as the case study located in Arequipa - Perú. Around the world there are several cyclone sand dams that report maximum heights of 250 m, for example: Peru and Chile.

One of the cheapest tailings dam construction methods is the so-called upstream method of construction since a minimal amount of sand is used compared to other methods such as the centerline and downstream method. However, the first (upstream method) represents the riskiest type of construction in terms of physical stability.

This thesis presents the geotechnical characterization of a 165-meter-high cyclonic sand dam located in a highly seismic region. The comparative analysis is based on an extensive laboratory testing program that includes sieving and hydrometer granulometry, Atterberg limits, moisture content, specific gravity, density, saturated/unsaturated hydraulic conductivity, modified proctor, standard proctor, triaxial consolidated undrained (CU) and consolidated drained (CD).

Finally, this research details a complete comparative analysis (stability of slopes, seepage, water management and costs) of the construction methods of cyclone sand tailings dams: centerline method and downstream method. Given that considering the catastrophic events that have occurred in recent years, these structures (tailings dams with construction in the central line and downstream) are very likely the only ones allowed in the regulations and standards of each country.

The results obtained have made it possible to compare and analyze the construction methods downstream and central line of a high-rise cyclone tailings dam with the safety factors obtained with the limit equilibrium method, with the analysis of seepage in the body of the tailing dams, water management and costs in both case studies.

PRÓLOGO

El crecimiento acelerado de la industria minera en los últimos años ha provocado la necesidad de construir depósitos de relaves de grandes dimensiones. Principalmente el de tipo más común de presa que es la de arena de relaves, ya que por su bajo costo y largo período de construcción resulta ser la más conveniente.

Una de sus dificultades en este tipo de presas es el diseño, la construcción y el comportamiento geotécnico de las arenas de relaves ante efectos sísmicos, al ser el Perú un país activo sísmicamente es un riesgo latente.

En los últimos años, a escala mundial, se han producido incidentes de fallas en presas de relaves debido a ser más susceptibles al daño que otros tipos de estructuras de almacenamiento. A pesar de la existencia de antecedentes, no se tiene aún una comprensión suficiente de los mecanismos asociados con la falla, lo que resulta en pérdidas de vida, irreparables daños al medio ambiente y un gran impacto negativo en la economía.

En ese contexto, la presente tesis intenta realizar un análisis comparativo de los métodos de construcción (línea central y aguas abajo) de una presa de relave cicloneados de gran altura. Para ello se analizaron los siguientes aspectos técnicos: estabilidad de taludes, filtraciones, manejo de aguas y costos. El análisis comparativo se llevará a cabo mediante el análisis de un caso de estudio de la construcción de una presa de relaves cicloneados de gran altura (~ 165 m) ubicado en Arequipa, Perú.

Sugiero a los ingenieros geotécnicos encargados de los diseños de presas de relaves revisar y tomar en cuenta esta investigación, estoy convencido que constituirá una referencia para la caracterización y elección del tipo de método de construcción en la ingeniería práctica.

MSc. César Augusto Atala Abad
ASESOR

LISTA DE TABLAS

Tabla N°2-1:	Información básica sobre las fallas de presas de relaves	28
Tabla N°3-1:	Aceleraciones espectrales – Método probabilístico (Ausenco,2018)	38
Tabla N°3-2:	Aceleraciones espectrales – Método determinístico (Ausenco,2018)	38
Tabla N°3-3:	Parámetros físicos de relaves <i>Feed</i> y <i>Overflow</i>	48
Tabla N°3-4:	Conductividades hidráulicas saturadas <i>Feed</i> , <i>Overflow</i> y mezcla	52
Tabla N°3-5:	Conductividades hidráulicas promedio – Suelo aluvial	59
Tabla N°3-6:	Resumen de propiedades geotécnicas e hidráulicas	60
Tabla N°4-1:	Criterios de evaluación	61
Tabla N°4-2:	Comparación de CAPEX inicial.....	66
Tabla N°4-3:	Comparación de CAPEX sostenido	66
Tabla N°4-5:	Bases y criterios de análisis.....	73
Tabla N°4-6:	Resumen de factores de seguridad (FS) de los análisis de estabilidad..	75

LISTA DE FIGURAS

Figura N°2.1: (a) Esquema de un ciclón, (b) rango típico de distribución del tamaño de partícula para relaves (<i>feed</i>), arenas (<i>underflow</i>) y limos (<i>overflow</i>).....	15
Figura N°2.2 : Grupo de ciclones del Depósito de relaves de Quillayes	16
Figura N°2.3: (a) Variación del coeficiente de permeabilidad vs Esfuerzo de confinamiento para 15 y 21% de contenido de finos (Valenzuela y Campaña, 2008), (b) Envolvente de resistencia al corte drenada y no drenada en arena de relaves con 12 a 30 % de contenido de finos	19
Figura N°2.4: Variación promedio de la resistencia no drenada (S_u), la relación de vacíos y el contenido de finos para cuatro tipos de arenas de relaves de cobre20	
Figura N°2.5: Uso de relaves para drenaje interno (a) Presa de relaves con recrecimiento aguas arriba, (b) Presa de relaves con recrecimiento aguas abajo (c) Presa de relaves con recrecimiento línea central.....	21
Figura N°2.6: Construcción de la presa de relaves – Recrecimiento aguas arriba	23
Figura N°2.7: Construcción de la presa de relaves – Recrecimiento línea central.....	25
Figura N°2.8: Construcción de la presa de relaves – Recrecimiento aguas abajo.....	26
Figura N°2.9: Número y tipos de fallas de presas de relaves en varios países.....	29
Figura N°3.1: Arreglo general del TSF caso de estudio.....	33
Figura N°3.2: Ubicación de la presa de relaves caso de estudio	34
Figura N°3.3: Fotografía de la zona de emplazamiento de la presa de relaves caso de estudio	35
Figura N°3.4: a) Vista en planta, b) sección geológica 1-1', c) sección geológica 2-2' de la presa caso de estudio	37
Figura N°3.5: a) Planta de la presa, b) Sección típica 1-1', c) Sección típica 2-2'.....	41
Figura N°3.6: Modos potenciales de falla evaluados	42
Figura N°3.7: Curvas granulométricas – <i>Underflow</i>	45
Figura N°3.8: Esfuerzos de corte vs Esfuerzo efectivo promedio – <i>Underflow</i>	46
Figura N°3.9: Curva de contenido volumétrico de agua vs succión – <i>Underflow</i>	47
Figura N°3.10: Curvas granulométricas - <i>Feed</i> y <i>Overflow</i>	48
Figura N°3.11: Distribución de relaves depositados.....	49
Figura N°3.12: Esfuerzos de corte – Conductividad Hidráulica vs Relación de Vacíos (<i>Feed</i> y <i>Overflow</i>)	50
Figura N°3.13: Tasa de crecimiento de los relaves depositados.....	51
Figura N°3.14: Densidad seca promedio de los relaves	51
Figura N°3.15: Curva de contenido volumétrico de agua vs succión a) <i>Overflow</i> , b) <i>Feed</i>	52
Figura N°3.16: Curvas granulométricas – Relleno de presa de arranque	53
Figura N°3.17: Resultados del proctor modificado – Material de relleno de la presa de arranque	54

Figura N°3.18: Resultados de MC y Gs – Material de relleno de la presa de arranque ...	54
Figura N°3.19: Esfuerzos de corte vs Esfuerzo efectivo promedio – Relleno presa de arranque	55
Figura N°3.20: Calicata en suelo aluvial	56
Figura N°3.21: Curvas granulométricas – Suelo aluvial	56
Figura N°3.22: Densidad <i>in situ</i> vs D50 – Suelo aluvial	57
Figura N°3.23: Esfuerzos de corte vs Esfuerzo efectivo promedio – Suelo aluvial	58
Figura N°3.24: Conductividades hidráulicas – Suelo aluvial	58
Figura N°3.25: Distribución de conductividades hidráulicas – Suelo aluvial	59
Figura N°4.1: Comparación geometría de métodos de construcción aguas abajo y línea central de la presa del caso de estudio a) vista en planta, b) sección transversal típica.....	62
Figura N°4.2: Construcción línea central, a) vista en planta, b) sección transversal típica 1-1'.....	64
Figura N°4.3: Construcción aguas abajo, a) vista en planta, b) sección transversal típica 2-2'.....	65
Figura N°4.4 : Modelo discretizado - Construcción aguas abajo.....	68
Figura N°4.5: Modelo geotécnico de la presa del caso de estudio, a) crecimiento en línea central, b) crecimiento aguas abajo	70
Figura N°4.6: Resultados de análisis de filtraciones – Crecimiento en línea central.....	72
Figura N°4.7: Resultados de análisis de filtraciones – Crecimiento aguas abajo.....	72
Figura N°4.8: Producción de arena cicloneada y requerimiento a lo largo de la vida útil de la presa	77
Figura N°4.9: Comparación del comportamiento sísmico de una presa de arena cicloneada con construcción línea central (caso 1) y aguas abajo (caso 2), a) deformaciones sísmicas horizontales, b) deformaciones sísmicas verticales.....	78

LISTA DE SÍMBOLOS

c'	: Cohesión Efectiva
D_{50}	: Diámetro Característico
$\alpha; n; m$: Curve fitting parameter
e	: Relación de Vacíos
G_s	: Gravedad Específica de los relaves o minerales
g	: Aceleración espectral
k	: Coeficiente de Permeabilidad
K_{σ}	: Variación de los factores de ajuste de sobrecarga
K_h	: Coeficiente Sísmico Horizontal
ϕ'	: Ángulo de Fricción Efectivo
σ'	: Esfuerzo Efectivo
σ_1'	: Esfuerzo Principal Mayor
σ_3'	: Esfuerzo Principal Menor o Esfuerzo de Confinamiento
p	: Esfuerzo de corte
q	: Esfuerzo Efectivo Promedio
σ'_v	: Esfuerzo Vertical Efectivo
σ'_n	: Esfuerzo Normal Efectivo
θ	: Volumetric water content
θ_r	: Residual Water Content
θ_s	: Saturated Water Content
S_u	: Resistencia al corte no drenado
S_u/σ'_v	: Razón de resistencia no Drenada
V_{S30}	: Velocidad de onda de corte de los sustratos en los 30m superiores.
R	: Distancia Focal
τ	: Resistencia al Corte
w	: Contenido de Humedad
γ_d	: Densidad Seca Promedio
γ_{sat}	: Densidad Saturada
ψ	: Succión

LISTA DE SIGLAS

ASCE	: Sociedad Americana de Ingenieros Civiles
ASTM	: American Society for Testing and Materials
ANM	: Agencia Nacional de Minería
CD / CU	: Consolidado Drenado / Consolidado No Drenado
CDA	: Canadian Dam Association
CAPEX	: Capital Expenditure
DGAA	: Dirección General de Asuntos Ambientales
MCE	: Sismo Máximo Creíble
FS	: Factor de Seguridad
ICOLD	: International Commission on Large Dams
GISTM	: Global Industry Standard on Tailings Management
HY	: Hypogene
IBC	: Código Internacional de Construcción
IDF	: Inundación Máxima Probable
IP	: Índice de plasticidad
kPa	: Kilopascales
LEM	: Limit Equilibrium Method
MASW	: Análisis Multicanal de Ondas Superficiales
MC	: Contenido de Humedad
MDD	: Maximum Dry Density
MDS	: Máxima Densidad Seca
MEM	: Ministerio de Energía y Minas
MPa	: Megapascales
PGA	: Peak Ground Acceleration
SICT	: Seepage-induced consolidation test
SG	: Supergene
SPT	: Ensayo de Penetración Estándar
TSF	: Tailings Storage Facility
UCS	: Unconfined Compressive Strength

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

En las últimas décadas, la mayor parte del desarrollo económico experimentado en ciertos países (p.e. Perú) se ha debido al avance de la industria minera, reflejado en la mayor explotación de depósitos de minerales; sin embargo, esto ha conllevado a que las actuales operaciones mineras requieran del procesamiento de una mayor cantidad de material rocoso que a su vez ha involucrado la generación de una gran cantidad de desechos, transformados en: relaves, pads de lixiviación, depósitos de desmonte, etc.

Debido a la gran cantidad de relaves generados por las operaciones mineras. Resulta necesario la construcción de grandes estructuras de acumulación de estos residuos. Algunas minas optan por la construcción de presas conformadas por materiales de préstamo; sin embargo, una alternativa económicamente eficiente, es considerando el uso de la fracción gruesa del mismo material depositado (relave) como material de cuerpo de la presa (Villavicencio et al., 2013). En este sentido, es usual la aplicación de hidrociclones, debido a que permiten separar los relaves en su fracción gruesa (*underflow*) y fina (*overflow*).

De acuerdo con Vick (1990), los métodos de construcción de presas de relaves son: aguas arriba (*upstream method*), línea de central (*centerline method*) y aguas abajo (*downstream method*). A pesar de que en el método aguas arriba se utiliza la menor cantidad de relave grueso respecto a los otros métodos (lo que significa un menor costo), este representa el tipo de construcción más riesgoso en términos de estabilidad física, más aún si son emplazados en regiones altamente sísmicas (Valenzuela, 2016). Por otro lado, las presas construidas en base a las configuraciones (*downstream* y *centerline*) han presentado un adecuado comportamiento ante sollicitaciones sísmicas, como es el caso de la presa de relaves de 260 m de altura de Cerro Verde en Perú, construida con el método de línea central (Obermayer y Alexieva, 2011), o la presa El Mauro de 150 m ubicada en Chile (Villavicencio et al., 2013).

Investigaciones locales referentes a presas de relaves, pertenece a la tesis de Villanueva (2006), donde se presenta un análisis comparativo desde un punto de vista económico, para la selección del material del cuerpo de la presa entre: relave

y desmonte de mina. En la investigación se menciona, pero no se da énfasis al análisis del método constructivo de la presa de relaves, asimismo, no se ahonda en importantes aspectos geotécnicos sobre el diseño de este tipo de estructuras: la caracterización de la resistencia al corte de los relaves, criterios de selección del material de relave, entre otros.

Por lo tanto, ante la escasez de investigaciones locales sobre los aspectos geotécnicos relacionados al diseño, construcción y operación de presas de relaves (*sand tailings dams*), la presente tesis aborda un análisis comparativo detallado de los métodos de construcción aguas abajo y línea central en un caso de estudio consistente en el diseño de una presa de relaves de arena cicloneada de 165 m de altura ubicada en una región altamente sísmica (Arequipa). El análisis comparativo incluirá la evaluación de aspectos de estabilidad física y de filtraciones, manejo de aguas y costos.

El desarrollo de la presente tesis comprende cuatro (04) capítulos, los cuales desarrollan lo siguiente:

- CAPÍTULO I: Señala la problemática, indica los objetivos e introduce al lector al tema que se aborda en la presente tesis.
- CAPÍTULO II: Desarrolla el marco teórico o la teoría del tema planteado en la presente tesis.
- CAPÍTULO III: Plantea el caso de estudio e indica las características específicas del sitio de estudio. Muestra la información recopilada (investigaciones geotécnicas) y se realiza la caracterización geotécnica de los materiales de la presa de relaves cicloneados (caso de estudio).
- CAPÍTULO IV: Desarrolla el tema de investigación y realiza el análisis comparativo de los métodos constructivos (aguas abajo y línea central).

1.2. PROBLEMÁTICA

De acuerdo con los registros históricos de Chile (1901-2013), los casos de incidentes de falla de presas construidos con el método aguas arriba, representan aproximadamente el 41% del total de casos. (Villavicencio et al., 2013). Por otro

lado, en el Perú desde el año 1950 hasta el 2018, se han reportado 13 incidentes de fallas en presas de relave (INGEMMET, 1982; WISE, 2018).

En general, la mayoría de fallas en presas de relaves han sido asociadas a la aplicación de sistemas de hidrociclones de relaves relativamente simples, además del poco o nulo control de calidad en el máximo contenido de finos de la arena gruesa producida, un deficiente control de compactación durante el proceso de construcción de la presa, así como una operación inadecuada de los niveles de agua dentro del depósito de relaves; estas malas prácticas de diseño, construcción y operación de depósitos de relave han favorecido el desencadenamiento del fenómeno de licuación cíclica y/o estática (*cyclic liquefaction y/o flow liquefaction*), *overtopping* o desbordamiento, exceso de filtraciones (*seepage*) e inestabilidad de la fundación (ICOLD,2001; Rico et al,2008).

Algunos de los eventos más catastróficos ocurridos en Sudamérica, son los casos de falla de las presas de relaves cicloneados de Brumadinho en Brasil (2019) y El Cobre en Chile (1965), a pesar del evidente contraste en las características sísmicas de ambos países, ambos han ocasionado consecuencias fatales comparables tanto, en casos de muertes de personas (más de 300 en ambos casos) (ANM, 2019; Campaña et al., 2015), así como daños medioambientales y de infraestructura irremediables. Con base en estos hechos, las autoridades chilenas establecieron regulaciones más estrictas en términos de diseño, construcción, operación y cierre de estas instalaciones (presas de relave), prohibiendo además la construcción de presas con el método aguas arriba (Villavicencio et al., 2013), en el Perú una regulación similar se ha establecido en el decreto supremo N°40 del Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para las Actividades de Explotación, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento Minero (Ministerio de Energía y Minas (MEM), 2014); recientemente las autoridades brasileñas están proponiendo una similar restricción (Agencia Nacional de Minería (ANM), 2019).

Con base en lo expuesto en los párrafos anteriores, la presente investigación detalla un análisis comparativo completo (estabilidad de taludes, filtraciones, manejo de aguas y costos), de los métodos de construcción de presas de relaves de arenas cicloneadas: línea central y aguas abajo, dado que a la luz de los eventos catastróficos suscitados en años recientes, estas estructuras (presas de

relaves con construcción en línea central y aguas abajo) sean muy probablemente las únicas permitidas en las regulaciones y normativas de cada país. El análisis comparativo se llevará a cabo mediante el análisis de un caso de estudio de la construcción de una presa de relaves de arenas cicloneadas de gran altura (~165 m) ubicado en Arequipa, Perú.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

- Realizar un análisis comparativo de estabilidad de taludes, análisis de filtraciones, manejo de aguas y costos, de los métodos de construcción línea central (*centreline method*) y aguas abajo (*downstream method*) de una presa de relaves de arenas cicloneadas.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Obtener los factores de seguridad estático y pseudo - estático para los dos métodos de construcción (aguas abajo y línea central).
- Realizar un análisis de filtración de carga hidráulica constante a través del cuerpo de la presa de relaves cicloneados de gran altura, para los dos métodos de construcción (aguas abajo y línea central).
- Comparar costos y manejo de aguas de los métodos de construcción (aguas abajo y línea central) de la presa de relaves cicloneados de gran altura de manera general.

1.4. HIPÓTESIS

El análisis geotécnico comparativo de los métodos constructivos aguas abajo y línea central de una presa de relaves cicloneados de gran altura puede ser analizado con los factores de seguridad obtenidos con el método de equilibrio limite, con el análisis de filtraciones en el cuerpo de la presa de relaves, el manejo de aguas y los costos en ambos casos de estudio.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. PRESAS DE RELAVES CICLONEADOS

Las presas de relaves contienen desechos mineros finos (relaves), cuya construcción se data a mediados del siglo XIX. Se presume el primer uso de este tipo de presas al auge de la extracción de oro en California (Estados Unidos), pero es posible que su origen sea aún más remoto. Este tipo de presa es más utilizado en la industria minera, ya que es más económico que otras alternativas. (Valenzuela.L,2016).

2.1.1. Ciclonamiento de Relaves

De acuerdo con Valenzuela. L (2016), el ciclonamiento de relaves consiste en el uso de un equipo mecánico centrífugo llamado ciclón que separa los relaves en una porción gruesa, conocida como arena, y una porción fina, denominada limo (ver Figura N°2.1(a)). La Figura N°2.1(b) muestra un rango de distribución de tamaño de partícula típico para los relaves de cobre (*feed*) y para las arenas (*underflow*) y limos (*overflow*) después del proceso de ciclonamiento.

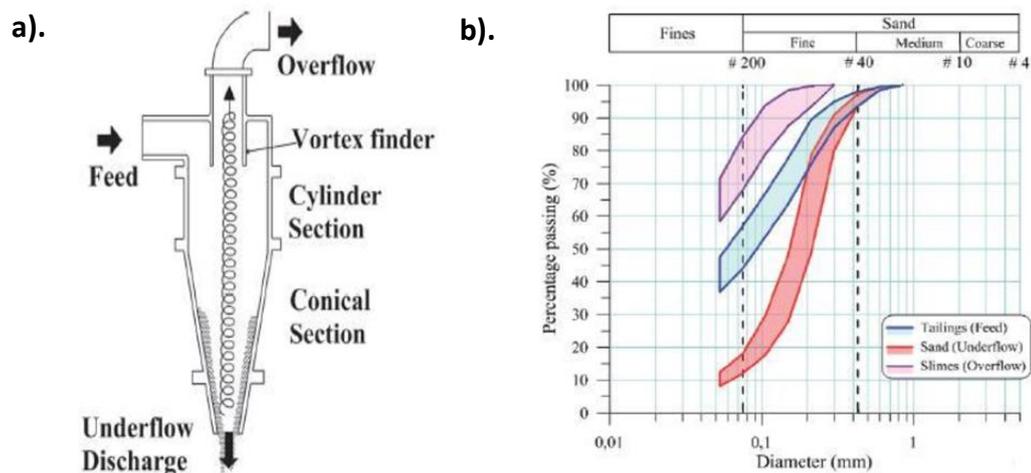


Figura N°2.1: (a) Esquema de un ciclón, (b) rango típico de distribución del tamaño de partícula para relaves (*feed*), arenas (*underflow*) y limos (*overflow*).

Fuente: Valenzuela. L (2016)

Los ciclones pueden ser operados individualmente o en grupos (ver Figura N°2.2). Ambos ciclones pueden ser fijos o móviles, este último puede moverse sobre la cresta de la presa en construcción. (Valenzuela.L,2016).



Figura N°2.2 : Grupo de ciclones del Depósito de relaves de Quillayes

Fuente: Campaña.J et al. (2015)

En el diseño de presas el empleo de relaves cicloneados es una alternativa atractiva cuando no se cuenta con suelos naturales o no se tiene la cantidad de material requerido para la construcción. Los ciclones pueden producir relaves de arena a bajo costo, generalmente menos de \$ 0.05- \$ 0.15 por tonelada. Una ventaja económica relevante del uso de arena cicloneada es que su producción se da generalmente en la misma presa o muy cerca de ella, lo que reduce o elimina el costo de acarreo. Las arenas de relaves pueden ser limpias cuando el relave no contiene minerales arcillosos, no presenta plasticidad y menos del 60% pasa a través del tamiz N°200.El material obtenido en estas condiciones es ideal para proporcionar un buen drenaje y disminuir el nivel freático en la zona aguas abajo de la presa de relaves. (Vick, 1990)

2.1.2. Principios de Cicloneamiento de Relaves

Primeramente, se deben establecer criterios para el uso de relaves cicloneados en el diseño de presas. Estos criterios se basan en dos factores primordialmente: la permeabilidad deseada y las características del drenaje. Las consideraciones de permeabilidad limitan el porcentaje de finos a alrededor del 5-12% en muchos casos, aunque Mittal y Morgenstern (1977) sugieren que se pueden mantener suficientes diferencias de permeabilidad entre arenas y limos separados de 20-25% en flujo de arena. Incluso si la permeabilidad no es un factor de control, es

deseable reducir el contenido de finos dentro de los límites prácticos para obtener un producto de arena de flujo que permita simplificar el manejo y esparcimiento del material. (Vick, 1990).

2.1.3. Aspectos de la Construcción de Presas de Relaves Cicloneados

Según Barrera.S et al. (2011), la construcción de una presa de relaves cicloneados implica los siguientes retos en el diseño:

- Cumplir con el diseño planteado para la producción de una arena en términos de granulometría y permeabilidad;
- Facilitar la secuencia de descarga diseñada para el transporte hidráulico de la arena;
- Producción y colocación de la cantidad requerida de arena para mantener el borde libre mínimo con respecto a los relaves / limos confinados y la geometría de la presa (pendientes y anchura de la cresta); y
- Obtener la densidad de diseño mínima de la arena colocada mediante la compactación.

Cada aspecto tiene una solución distinta dependiendo de las particularidades del proyecto. Algunos de estos aspectos se describen a continuación:

Permeabilidad y drenaje

De acuerdo con Barrera.S et al. (2011), a principios de los setenta se observó que la saturación de las arenas es el componente principal de la inestabilidad sísmica en las presas de relaves, por ello se recomienda aumentar la compactación y evitar la saturación de la arena. Además, para mejorar la calidad de arena durante la construcción es importante controlar el contenido de finos (% que pasa el tamiz N°200) de la arena ya que se encuentra relacionada con la permeabilidad. Las primeras recomendaciones sugieren un contenido máximo de finos del 10%, suponiendo una permeabilidad superior a $1E-3$ cm/s, lo que en teoría parece aceptable. Pero surgieron algunos inconvenientes en el uso de estas recomendaciones:

- Se necesita de doble cicloneo y un mayor consumo de agua para la dilución, para producir una arena de relave de máximo 10% de finos. Este

proceso representa aproximadamente que por cada tonelada de relaves procesados se producen no más de 0.25 toneladas de arena, lo que implica una disminución en la producción de arena.

- Debido al tamaño de grano tan “grueso”: la pendiente de deposición de la arena en la pendiente aguas abajo era mucho más pronunciada de lo que se requería para poder compactar los relaves.
- Otro problema fue el transporte hidráulico de la arena más gruesa dada su fuerte tendencia a sedimentarse incluso a altas concentraciones de peso.

Simultáneamente a la definición de clasificación de la arena, es necesario aplicar criterios mínimos para el sistema de drenaje que permita que el agua drene rápidamente de la arena y evacúe hacia el exterior de la presa, evitando así la saturación. De este modo, la permeabilidad de la arena y el sistema de drenaje funcionan en conjunto, siendo ambos claves para la estabilidad de la presa. (Barrera.S et al, 2011)

Limitar el porcentaje de finos a menos del 10% significa una reducción significativa en la producción de arena, lo cual es crítico cuando la relación de embalse / presa o la relación de almacenamiento (SR) es menor a 3 y la arena es insuficiente para construir la presa. Por lo que se opta por utilizar un material de préstamo a costos más elevados. (Barrera.S et al., 2011)

Barrera.S et al. (2011) señala que se realizó a mediados de la década de 1980 un estudio para estimar la cantidad de finos de la arena y la permeabilidad que permita evitar la saturación permanente. En el estudio concluyeron que “la permeabilidad mínima de la arena en la presa debería ser mayor de $2E-4$ cm / s y que el contenido de finos depende de la gravedad específica (Gs) de los relaves o minerales. Por ejemplo, los relaves con Gs = 2.7 a 2.8 (típicos de cobre) indican un porcentaje de finos entre 15 y 18 %, pero los relaves con Gs = 3.0 a 3.2 indican un porcentaje de finos superior al 20 a 25 % (caso de relaves de hierro o de cobre)”.

Efecto de la altura sobre arenas

Barrera.S et al. (2011) indica que el aumento continuo en los niveles de producción de los minerales está relacionado con la demanda y la baja ley del mineral.

Haciendo necesario el diseño de embalses de relaves con gran capacidad, por ende, construcción de presas de relaves de gran altura.

Campaña (2011), llevó a cabo un estudio para distinguir el comportamiento de las arenas de relaves y las arenas en su estado natural ante el efecto de la altura, obteniendo los siguientes resultados:

- El impacto de la formación de finos es menor para las arenas de relaves con un contenido de finos del 15 % al 21%. A medida que crece el esfuerzo de confinamiento disminuye el coeficiente de permeabilidad. (ver Figura N°2-5(a)).

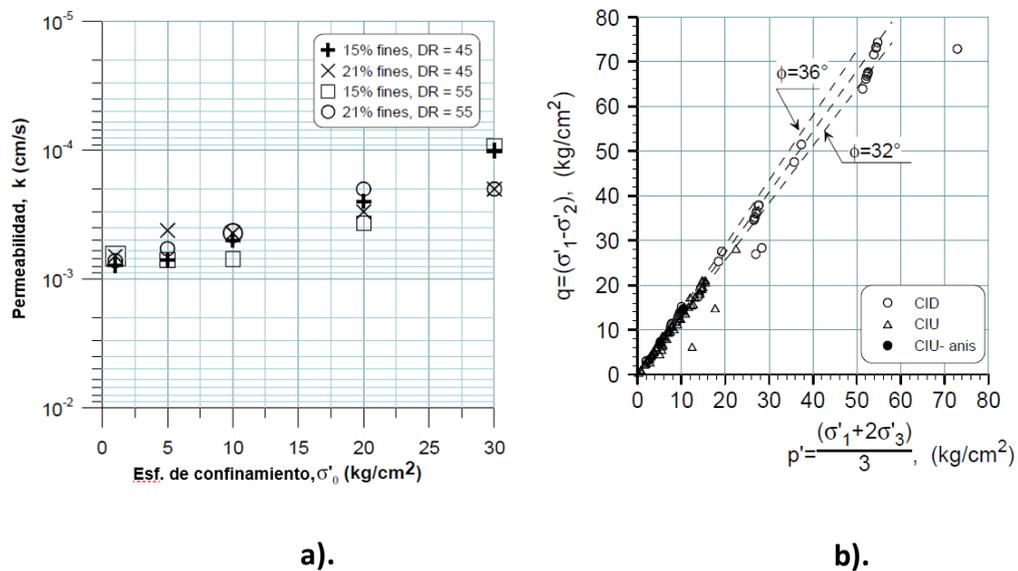


Figura N°2.3: (a) Variación del coeficiente de permeabilidad vs Esfuerzo de confinamiento para 15 y 21% de contenido de finos (Valenzuela y Campaña, 2008), (b) Envoltura de resistencia al corte drenada y no drenada en arena de relaves con 12 a 30 % de contenido de finos

Fuente: Campaña (2011).

- Las partículas de la arena de relaves al estar expuestas a trituración y molienda, ocasiona que la ruptura de sus partículas no sea tan pronunciada como sucede en las arenas naturales, ya que las partículas más resistentes se han mantenido en la fracción más gruesa de las arenas, por lo que, la envoltura de resistencia drenada obtenida es lineal.
- Para las cuatro arenas de relave estudiadas, se observa que la resistencia drenada no es susceptible a la variación de contenido de finos. La

envolvente de resistencia obtenida se define por un una cohesión nula y un ángulo de fricción interna de $34^\circ (\pm 2^\circ)$, incluso si el rango de contenido de finos está entre 12% y 30% (ver Figura N°2.3(b)).

- En la Figura N°2.4 se muestra que al aumentar el contenido de finos disminuye la resistencia media no drenada y es comparativamente mayor que los reportados en la literatura técnica para arenas naturales.

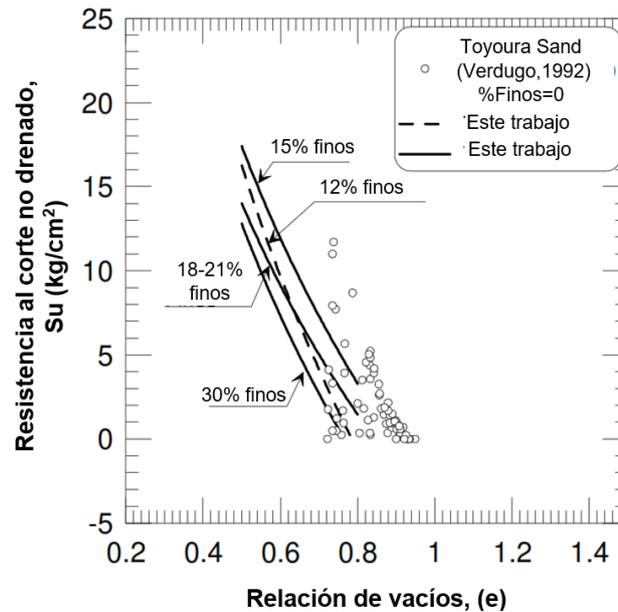


Figura N°2.4: Variación promedio de la resistencia no drenada (S_u), la relación de vacíos y el contenido de finos para cuatro tipos de arenas de relaves de cobre

Fuente: Campaña (2011)

2.2. MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN DE PRESAS DE RELAVES CICLONEADOS

El diseñador a menudo se enfrenta al dilema de no tener disponibles materiales de baja permeabilidad para núcleos, ni los suelos de alta permeabilidad para zonas de drenaje en el sitio de construcción de la presa. En estos casos, una opción para el control de la superficie freática puede ser hacer uso de los relaves o desechos mineros como material de construcción.

De acuerdo con Vick (1990), para las presas aguas arriba, el cicloneo de las arenas generalmente se realizan en la cresta del embalse, y los limos son descargados a través de tuberías que se extienden más allá de la playa para formar dos zonas de permeabilidad separadas, aunque con un contacto irregular

(ver Figura N°2.5(a)). Procedimientos similares se vuelven a utilizar en el control de la superficie freática para las presas con método de construcción aguas abajo y línea central como se muestra en las Figura N°2.5(b) y Figura N°2.5 (c).

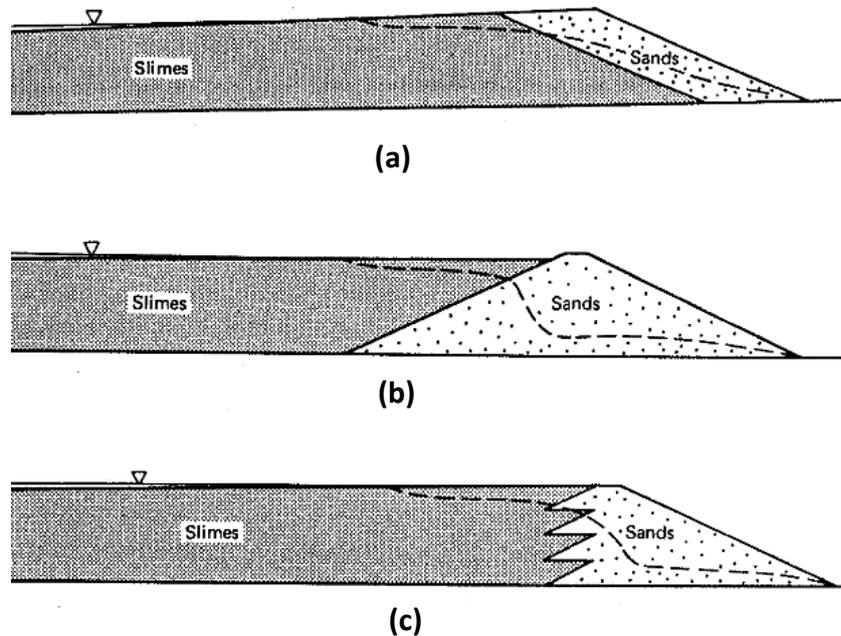


Figura N°2.5: Uso de relaves para drenaje interno (a) Presa de relaves con recrecimiento aguas arriba, (b) Presa de relaves con recrecimiento aguas abajo (c) Presa de relaves con recrecimiento línea central

Fuente: Vick (1990)

A continuación, se describe los tres tipos de métodos constructivos de presas de relaves (aguas arriba, línea central y aguas abajo) utilizados a lo largo de los años en el rubro de la minería. Cabe mencionar que la construcción tipo aguas arriba en el Perú (país sísmico) ha sido restringida en el Decreto Supremo N°40-2014-EM (MEM,2014), por ser considerada el método de construcción más riesgoso y con mayor probabilidad de colapsar. Sin embargo, se describe en el presente capítulo este método de construcción aguas arriba con el fin de tener un mayor entendimiento de los métodos de construcción y porque aún en el Perú hay presas muy antiguas construidas con este método, aunque la mayoría de estas presas se encuentran inactivas.

2.2.1. Aguas Arriba

La construcción de la presa con el método de construcción aguas arriba es el más antiguo y económico con respecto a los otros dos métodos. Empieza con la construcción de un dique de arranque en el dedo del pie aguas abajo (Figura N°2.6) y continúa con la descarga de los relaves periféricamente desde la cresta de la presa de arranque utilizando espitas o ciclones. Esta deposición crea un dique y una gran área de playa compuesta de material grueso. La playa se convierte en la base del siguiente dique y requiere de compactación mecánica antes de la construcción de la siguiente etapa. (Vick, 1990)

Vick (1990) indica que para este método es importante formar una base competente para el siguiente recrecimiento y la descarga debe contener menos de 40% a 60% de arena. Otros autores señalan que para este método de construcción lo relevante es la distribución granulométrica del relave. Brawner, et al, (1973) sugirieron que "si un tractor no se puede operar en los primeros 100 a 200 pies de la playa, la molienda es demasiado fina para el método de construcción aguas arriba". Además, hay otros factores limitantes como la susceptibilidad a la licuación sísmica, la capacidad de almacenamiento de agua y el poco control del nivel freático.

Vick (1990) señala que "existen cuatro factores importantes que influyen en la ubicación de la superficie freática: la permeabilidad de la base en relación con los relaves, el grado de segregación del tamaño de grano y la variación de la permeabilidad lateral dentro del depósito, y la ubicación del agua estancada en relación con la cresta de la presa. Solo la ubicación del estanque se puede controlar a través de prácticas operativas, los otros factores deben planificarse en el diseño. Se pueden utilizar procedimientos adecuados de decantación y espigado para controlar la distancia entre el borde del embalse y la cresta de la presa. Aunque la ubicación del embalse se puede controlar en cierta medida durante la operación, un embalse de relaves que se espera que reciba altas tasas de acumulación de agua (debido a las condiciones climáticas y topográficas) debe construirse utilizando un método diferente al de la construcción aguas arriba. Cualquier cambio en las condiciones ambientales o de operación (lluvias intensas, obstrucción de las salidas de infiltración, aumento en los niveles de agua del estanque, etc.) que provoque un aumento de la línea freática y una saturación

completa de la capa exterior de arena podría conducir rápidamente fallas tipo *overtopping* o por deslizamiento”.

Este tipo de construcción presenta una densidad relativa baja de los relaves con una alta saturación de agua, estos factores pueden propiciar una falla por licuefacción de los relaves en caso de actividad sísmica. Adicionalmente, la vibración de suficiente intensidad y magnitud causada por voladuras, camiones pesados, etc., pueden propiciar el mismo efecto. La resistencia al corte se puede reducir cerca a cero, provocando que los limos estallen fácilmente. Por lo tanto, la construcción aguas arriba no es apropiada en áreas con alta actividad sísmica. (Vick, 1990)

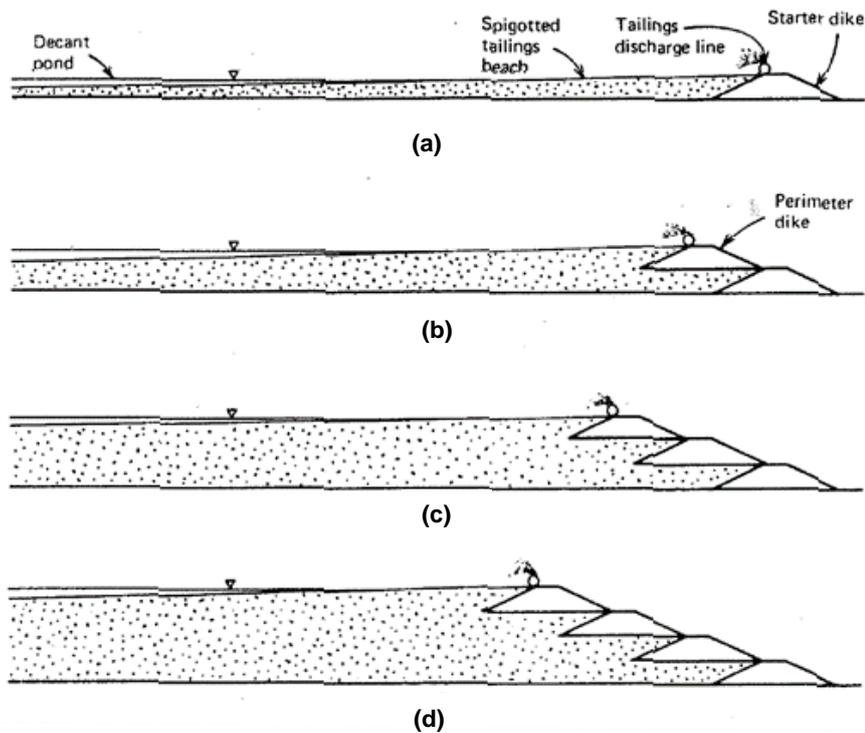


Figura N°2.6: Construcción de la presa de relaves – Recrecimiento aguas arriba

Fuente: Vick (1990)

2.2.2. Línea Central

La construcción tipo línea central es similar a los otros dos métodos de construcción, ya que la construcción comienza con una presa de arranque y los relaves se depositan desde la cresta de la presa para formar una playa (Figura

N°2.7). Los relaves colocados en la pendiente aguas abajo deben compactarse para evitar el fallo por corte. (Vick, 1990)

Vick (1990) señala que “este método de construcción ofrece algunas ventajas sobre los otros dos métodos, a la vez que mitiga algunas de las desventajas. Debido a que se pueden colocar zonas de drenaje internas dentro de la presa, el control de la superficie freática no es tan sensible a la ubicación del agua estancada como lo es para la construcción aguas arriba. A diferencia de las presas aguas abajo, el método de la línea central no se puede usar para el almacenamiento permanente de grandes profundidades de agua. Sin embargo, se puede permitir que el agua suba temporalmente durante las inundaciones sin afectar negativamente la estabilidad de la estructura, siempre que las zonas internas sean impermeables y/o cuenten con un drenaje adecuado. Debido a que el cuerpo principal del relleno de la presa puede compactarse y los niveles de saturación pueden controlarse mediante drenaje interno, el método de la línea central generalmente tiene una buena resistencia sísmica. Por otro lado, el volumen de relleno requerido para una altura determinada de la presa es un valor intermedio entre el método aguas arriba y aguas abajo, lo que también da como resultado costos intermedios”.

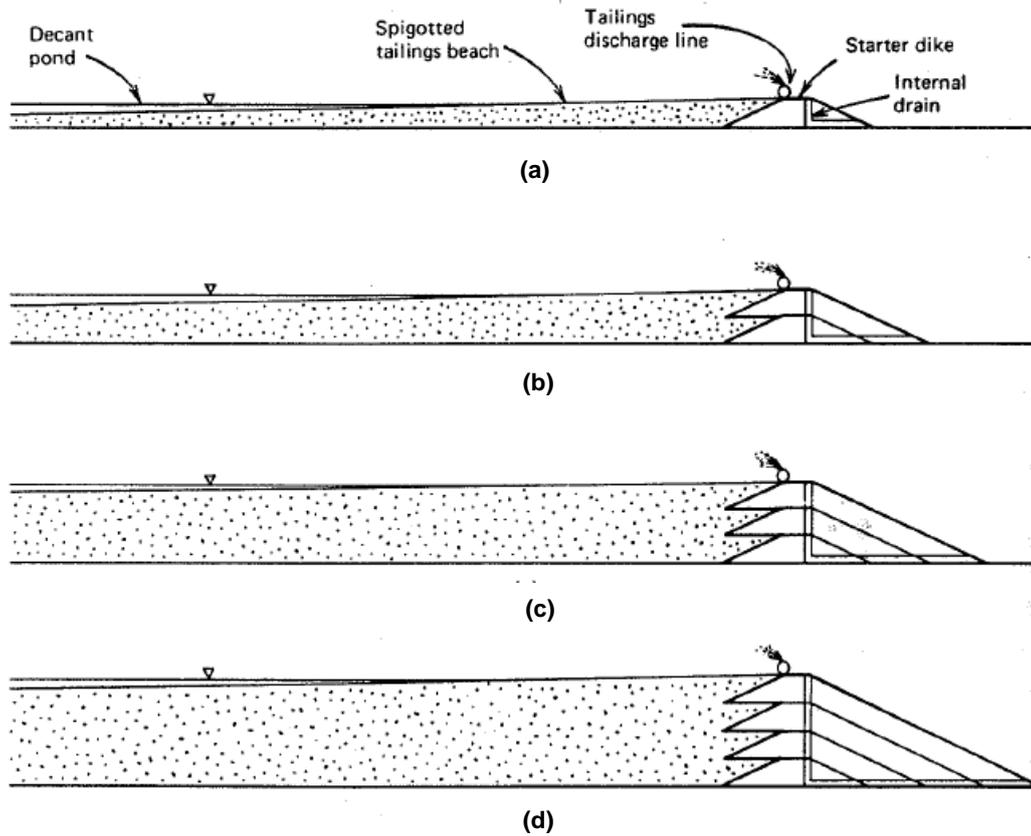


Figura N°2.7: Construcción de la presa de relaves – Recrecimiento línea central
Fuente: Vick (1990)

2.2.3. Aguas Abajo

Los requisitos de diseño para el método de construcción aguas abajo son similares a los de las represas de almacenamiento de agua convencionales.

La presa de arranque se recomienda ser construida con limos y arcillas, para poder reducir la infiltración. En caso los materiales de la presa de arranque sean de baja permeabilidad, se requiere que en el diseño se coloque drenajes internos. En este método las etapas posteriores se apoyan en la parte superior de la pendiente corriendebajo de de la sección anterior (ver Figura N°2.8). (Vick, 1990)

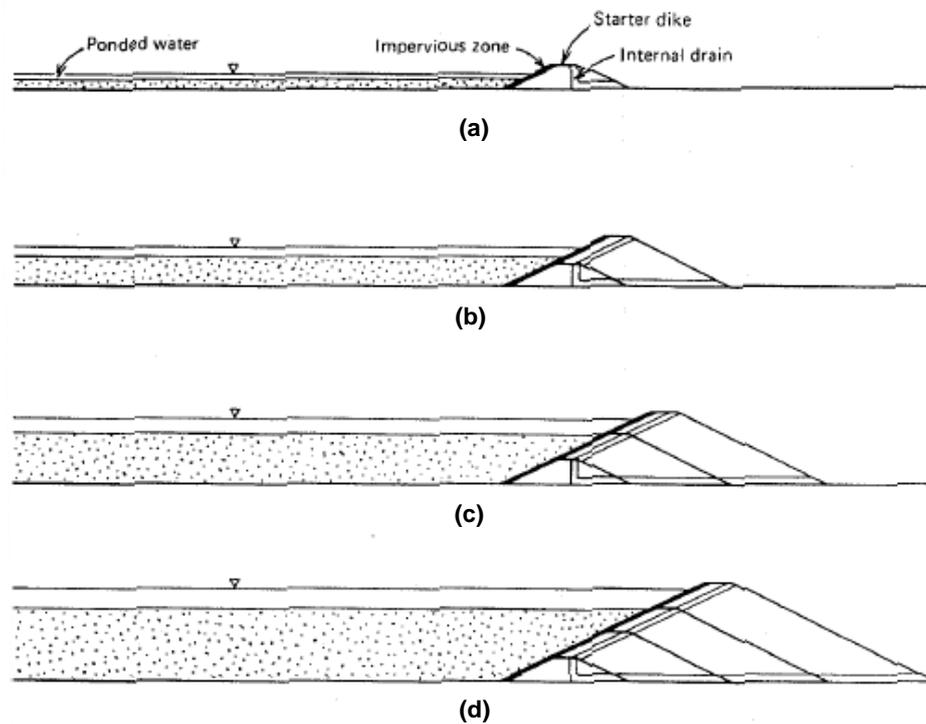


Figura N°2.8: Construcción de la presa de relaves – Recrecimiento aguas abajo

Fuente: Vick (1990)

Vick (1990) señala que mediante la ciclonización los relaves gruesos pueden extenderse en capas delgadas, luego propagarse y compactarse. En caso el volumen de los relaves gruesos no sea suficiente, se pueden utilizar materiales de préstamo. Si este fuera roca gruesa, requiere de un filtro o una membrana impermeable. Si se controla el rociado para crear una amplia playa de relaves y la presa se ha hecho de relaves permeables, la superficie freática puede controlarse sin la necesidad de zonas o drenajes internos impermeables. Sin embargo, Brawner, et al. (1973) recomiendan que, si la represa se construye en una zona de alta sismicidad y/o su altura supere los 50 pies, las extensiones aguas abajo deben compactarse a una densidad relativa más alta que la típica para minimizar el riesgo de licuefacción.

Vick (1990) indica que “el método de construcción aguas abajo permite la incorporación de drenajes y núcleos impermeables para controlar el nivel freático. Debido a la capacidad de incorporar drenajes en el diseño, este método de construcción se adapta bien a las condiciones donde se pueden almacenar grandes volúmenes de agua junto con los sólidos de los relaves. El método de

construcción aguas abajo proporciona un grado de estabilidad que no se encuentra en la construcción aguas arriba debido a la capacidad y la facilidad de compactación, la incorporación de medidas de control de la superficie freática y el hecho de que los recrecimientos de la presa no son estructuralmente dependientes de los depósitos de relaves para la resistencia de la cimentación. Una desventaja importante de este tipo de recrecimiento es el gran volumen de material de relleno requerido para construir la presa y alto costo que acarrea. Este tipo de presas cubren generalmente un área relativamente grande, lo que puede ser una desventaja importante si el espacio disponible es limitado”.

2.3. HISTORIAL DE FALLAS DE PRESAS DE RELAVES

Las estructuras construidas más grandes por ingenieros geotécnicos son las presas de relaves y son también las que a nivel mundial han producido daños irreparables al medio ambiente y ha cobrado muchas víctimas a nivel mundial. Al parecer a causa de que no se cuenta con la suficiente comprensión de los mecanismos de falla producidas en estas estructuras. En los últimos 100 años en 18000 minas registradas, la tasa de falla en presas de relaves se estimó en 1.2 %. Por ello es importante comprender y realizar un estudio exhaustivo, para poder conservar el estanque de relaves seguro y estable, en todo el proceso minero. (Zongjie.L et al. ,2019)

Zongjie.L et al. (2019) indica que “los siguientes puntos son las razones por las cuales las presas de relaves son más susceptibles al daño que las estructuras de almacenamiento de agua: (1) presas construidas con tierra, desechos gruesos y materiales residuales de las operaciones mineras; (2) el volumen de aguas residuales aumenta a medida que aumenta la altura de la presa de relaves; (3) falta de regulaciones razonables sobre estándares de diseño; y (4) el costo de monitorear la presa de relaves es alto durante la operación y el cierre de la mina”.

2.3.1. Causas de Falla

En todo el mundo, los accidentes relacionados con las presas de relaves han conllevado a identificar y estudiar los casos de falla. La Tabla N°2-1 se describe el año, nombre, ubicación, la altura de la presa, tipo de presa y causa de falla de las presas que colapsaron entre los años 1928 al 2019.

Tabla N°2-1: Información básica sobre las fallas de presas de relaves

Año	Nombre (Ubicación)	Altura de la presa (m)	Tipo de Presa	Causa de Falla / (muertes)
1928	Barahona (Chile)	61	Aguas arriba	Sismo / (54)
1937	Dos Estrellas (Mexico)	-	Aguas arriba	Seepage / (70)
1948	Kimberley (Canada)	-	Aguas arriba	Seepage/ (-)
1962	Huogudu (China)	-	Aguas arriba	Falla en la fundación / (171)
1965	El Cobre (Chile)	36	Aguas arriba	Sismo / (>300)
1966	Aberfan (UK)	-	Reservorio de agua	Seepage / (144)
1966	Mirolubovka (Bulgaria)	45	Aguas arriba	- / (488)
1970	Mufulira (Zambia)	50	-	Hundimiento de la mina (89)
1972	Buffalo Creek (USA)	14-18	Aguas arriba	Seepage / (125)
1974	Bafokeng (South Africa)	20	Aguas arriba	Seepage / (14)
1974	GCOS (Canada)	61	Aguas arriba	Seepage/ (-)
1975	Mike Horse (USA)	18	Aguas arriba	Overtopping/ (-)
1976	Dashihe (China)	37	Aguas arriba	Sismo / (-)
1978	Syncrude (Canada)	-	Línea central	Falla en la fundación / (-)
1978	Mochikoshi Nos. 1 and 2 (Japan)	28 y 19	Aguas arriba	Sismo / (1)
1978	Arcturus (Zimbabwe)	25	Aguas arriba	Overtopping/ (1)
1979	Union Carbide (USA)	43	Aguas arriba	Seepage/ (-)
1985	Stava (Italy)	29.5	Aguas arriba	Seepage/ (268)
1985	Chenzhou (China)	-	Aguas arriba	Overtopping/ (49)
1985	Cerro Negro No. 4 (Chile)	40	Aguas arriba	Sismo / (-)
1986	Huangmeishan (China)	-	Aguas arriba	Seepage/ (19)
1988	Lixi (China)	40	Aguas arriba	Overtopping/ (20)
1991	Sullivan (Canada)	21	Aguas arriba	Seepage/ (-)
1993	Marsa (Peru)	-	Aguas arriba	Overtopping/ (6)
1994	Tapo Canyon (USA)	24	Aguas arriba	Sismo / (-)
1994	Merriespruit (South Africa)	31	Aguas arriba	Overtopping/ (17)
1995	Omai (Guyana)	44	-	Seepage/ (-)
1995	Surigao (Philippines)	-	Aguas arriba	Falla en la fundación / (12)
1996	Porco (Bolivia)	-	Aguas arriba	Overtopping/ (-)
1996	Sgurigrad (Bulgaria)	45	Aguas arriba	Seepage/ (107)
1998	Los Frailes (Spain)	27	Aguas arriba	Falla en la fundación / (-)
2000	Baia Mare and Baia Borsa (Romania)	7	Aguas abajo	Overtopping/ (-)
2002	San Marcelino Zambales (Philippines)	-	-	Overtopping/ (-)
2004	Pinchi Lake (Canada)	12	Reservorio de agua	- /(-)
2009	Karamken tailing plant (Russia)	20	-	- / (1)
2010	Ajka (Hungary)	22	Aguas abajo	Seepage/ (10)
2011	Kayakari (Japan)	-	-	Sismo / (-)
2012	Padcal No. 3 (Philippines)	-	Aguas arriba	Overtopping/ (-)

Año	Nombre (Ubicación)	Altura de la presa (m)	Tipo de Presa	Causa de Falla / (muertes)
2014	Mount Polley (Canada)	40	-	Falla en la fundación / (-)
2015	Fundão (Brazil)	90	Aguas arriba	Seepage/ (19)
2019	Brumadinho(Brazil)	86	Aguas arriba	(-)/ (>350)

Fuente: Zongjie.L et al. (2019)

Zongjie.L et al., (2019), en la Figura N°2.9 nos muestra el número y los tipos de presas de relaves que colapsaron a nivel mundial. Siendo América del Norte la región con mayor cantidad de accidentes registrados en presas de relaves. Además, se puede observar en la figura que las presas con el método de construcción aguas arriba reporta el mayor número de fallas registradas a nivel mundial y representan aproximadamente el 58%.

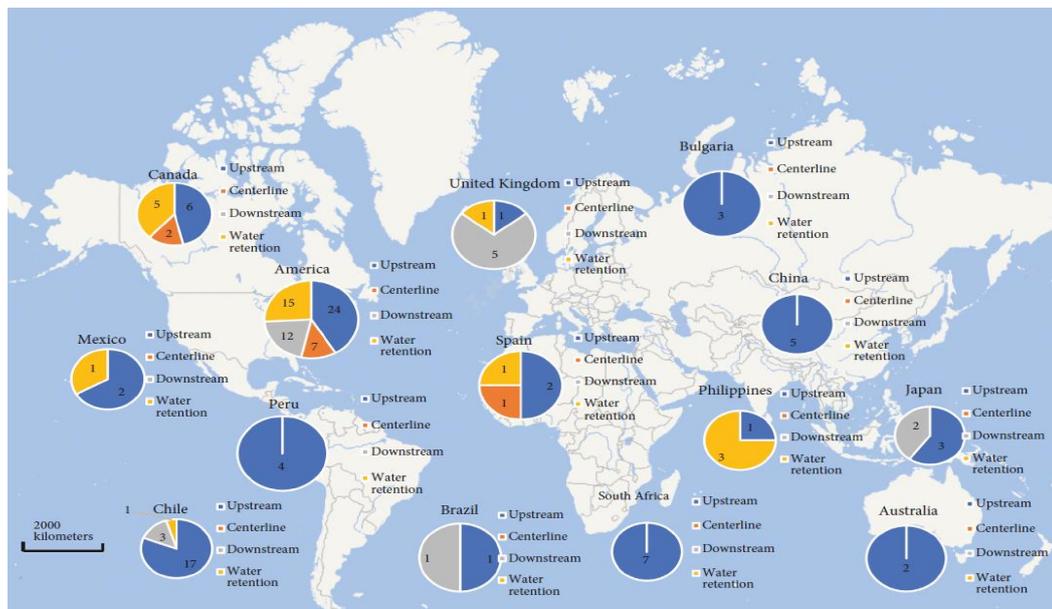


Figura N°2.9: Número y tipos de fallas de presas de relaves en varios países.

Fuente: Zongjie.L et al. (2019)

Frecuentemente, las fallas de las presas de relaves son causadas por múltiples factores y, primordialmente, se debe a la influencia del ambiente externo, por ejemplo: sismos, lluvia, inundaciones y fallas en la fundación de la presa. (Zongjie.L et al. ,2019)

Zongjie.L et al.(2019) señala que “ las siguientes razones pueden explicar las fallas resultantes: (1) *Seepage* induce directamente a la inestabilidad de la presa de relaves (*seepage* y erosión interna); (2) la inestabilidad de los cimientos de la presa de relaves (malas condiciones de cimentación); (3) inundaciones que hacen que la pendiente de la presa de relaves se vuelva inestable (*overtopping*); (4) un efecto–del sismo - inestabilidad estática y sísmica (licuefacción); y (5) otras razones (hundimiento de mina, estructural, erosión externa e inestabilidad de taludes)”.

A continuación, se describen cuatro tipos de fallas identificadas a lo largo de los años en el colapso de muchas presas de relaves:

2.3.1.1. *Seepage*

La estabilidad de la presa de relaves depende de la filtración, los relaves debajo de la línea freática se consolidan más lentamente, y los relaves casi saturados aumentan el peso de la presa. Las tormentas de lluvia, las inundaciones y la falla de las instalaciones de drenaje a menudo provocan una elevación del nivel freático en la presa de relaves, lo que provoca daños por filtración. Ello conlleva al aumento de la permeabilidad de los relaves y su disminución en su resistencia al corte y en el módulo de deformación; eventualmente, el estanque de relaves se colapsa y la presa de relaves se rompe. (Zongjie.L et al.,2019).

2.3.1.2. Falla de la Fundación

Las fallas en la fundación son frecuentes en las presas de relaves, este tipo de falla ocurre cuando existe una capa débil de suelo o roca a poca profundidad en la cimentación y generalmente es el resultado de estudios geológicos no rigurosos o con diseños errados.

2.3.1.3. *Overtopping*

Una de las fallas más usuales es el *overtopping* que frecuentemente se propicia durante las fuertes lluvias. El flujo de agua aumenta y el nivel del agua en el embalse se eleva en un corto período de tiempo y excede la capacidad del embalse ocurriendo este fenómeno, que afecta radicalmente la estabilidad de la presa.

Zongjie.L et al., (2019) señala que “el proceso de ruptura de presas de relaves se puede dividir en tres etapas en el tiempo y el espacio. (1) La presa de relaves comienza a desestabilizarse en condiciones adversas; (2) durante la inestabilidad de la presa de relaves, la arena de los relaves interactúa con el agua y forma un flujo de escombros con alta energía; y (3) el flujo de escombros con alto potencial de energía se mueve río abajo.

El proceso de ruptura de la presa de relaves puede tener múltiples colapsos e inestabilidad. Esto hará que las tres etapas anteriores sean recurrentes y en el tiempo se cruce entre sí, lo que hará que el proceso de ruptura de la presa sea más complicado. Actualmente no existe un modelo adecuado para simular el proceso anterior durante la situación de desbordamiento, principalmente debido a la erosión por inundación de la presa de relaves hasta la inestabilidad.”.

2.3.1.4. *Licuefacción*

El mecanismo de la rotura de presas inducida por sismos en los embalses de relaves es causado principalmente por la licuefacción de la arena de relaves que es provocada por sismos que debilitan la resistencia del material. Causando una gran deformación permanente y desestabilizando la presa de relaves. Los principales factores que afectan la licuefacción de los relaves son la composición, forma, tamaño, gradación, disposición, compacidad, profundidad de la línea de nivel freático e intensidad sísmica. (Zongjie.L et al.,2019).

2.4. ANÁLISIS GEOTÉCNICO

2.4.1. Análisis de Estabilidad

Un elemento primordial en el diseño de una presa de relaves desde el inicio hasta el cierre es la estabilidad. El propósito es construir una estructura confiable al menor costo factible.

El ingeniero geotécnico o diseñador de la presa de relaves sugiere una geometría interna y externa. Para ello requiere de información minuciosa de las propiedades físicas de los materiales, el volumen de relaves y la cantidad de agua que debe retener. En base a ello, se estima el nivel freático y se calcula un factor de seguridad del diseño planteado, examinando una amplia gama de modos de falla para evaluar las resistencias en las superficies de falla.

Cuando se inicia la construcción del embalse, la información obtenida es más relevante y permite enriquecer la información disponible para repetir el análisis de estabilidad de taludes, esto se puede hacer para cada elevación de la presa de relaves. El objetivo es tener una mejor estimación de las propiedades físicas de los materiales y del nivel freático. (Vick 1990).

2.4.2. Análisis de Infiltración

Vick (1990) señala que cuando se realiza el análisis de estabilidad, para estimar la dirección, presión de poros y el volumen de infiltración se usa redes de flujo. Esta es una solución gráfica de la ley de Darcy, las variables son las características del flujo, la altura, límites y conductividad hidráulica dentro del área a modelar.

Para realizar el análisis de infiltración es necesario comprender algunas definiciones esenciales en términos de conductividad hidráulica. Homogéneo significa que la conductividad hidráulica (K) es independiente de la posición. Isotrópico significa que la conductividad hidráulica es independiente de la dirección en el punto de medición. Si la conductividad hidráulica depende de la posición, entonces el medio es heterogéneo. Si la conductividad hidráulica de un medio depende de la dirección en el punto de medición, entonces el medio es anisotrópico. (Vick ,1990).

Cuando se crea una red de flujo, se supone que el flujo es estable y no transitoria para resolver la ecuación, ello hace que los volúmenes de infiltración obtenidos no sean exactos debido a las condiciones de flujo a menudo transitorias e insaturadas en la mayoría de los embalses de relaves (Vick, 1990).

Las redes de flujo se acoplan mejor a las presas de tipo línea central y aguas abajo, ya que frecuentemente sus sistemas se comportan homogéneamente. Por otro lado, para las presas aguas arriba se requiere de un análisis de elementos finitos, debido a su sistema heterogéneo y sus variaciones de permeabilidad. (Vick 1990).

CAPÍTULO III. CASO DE ESTUDIO “PRESA DE RELAVES CICLONEADOS DE GRAN ALTURA”

El caso de estudio consiste en el diseño a nivel de factibilidad de una instalación de almacenamiento de relaves (TSF, por sus siglas en inglés) ubicada en la zona Sur de los Andes del Perú. El TSF del caso de estudio está proyectado para almacenar un total de ~430 millones de toneladas (Mt) e incluye dos estructuras de contención denominados: presa principal (*main dam*) y presa auxiliar (*saddle dam*), ambos conformados por un relleno de arenas de relaves cicloneados. La presa principal destaca por su gran altura (~165m) en comparación a la presa auxiliar o (~40m).

Un arreglo general del TSF del caso de estudio se muestra en la Figura N°3.1.

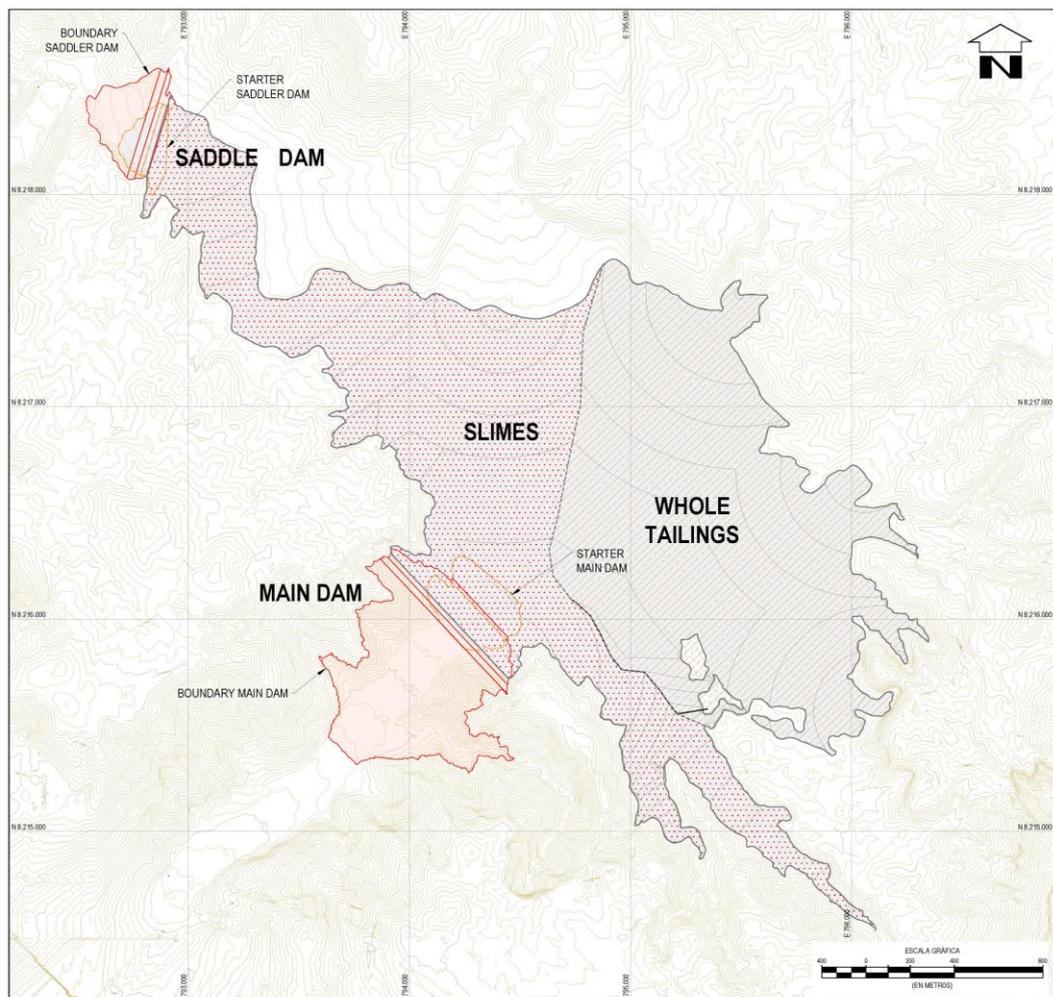


Figura N°3.1: Arreglo general del TSF caso de estudio

Para fines del estudio del TSF de la presente tesis, el desarrollo de la investigación se centrará solo en el diseño de la presa principal o *main dam*; en lo posterior, esta estructura será denominada como "la presa".

El presente capítulo detalla la caracterización geotécnica de los materiales que conforman el cuerpo de la presa, la fundación y los relaves depositados.

3.1. ASPECTOS GENERALES

3.1.1. Ubicación

La presa de relaves de arena cicloneada del caso de estudio se encuentra ubicada en la zona sur del Perú, departamento de Arequipa, en una zona semi-desértica a una elevación aproximada entre 1400 a 1600 m s.n.m. La Figura N°3.2 ilustra la ubicación del proyecto.



Figura N°3.2: Ubicación de la presa de relaves caso de estudio

Una vista general de la zona donde se emplazará el TSF del caso de estudio se muestra en la Figura N°3.3.



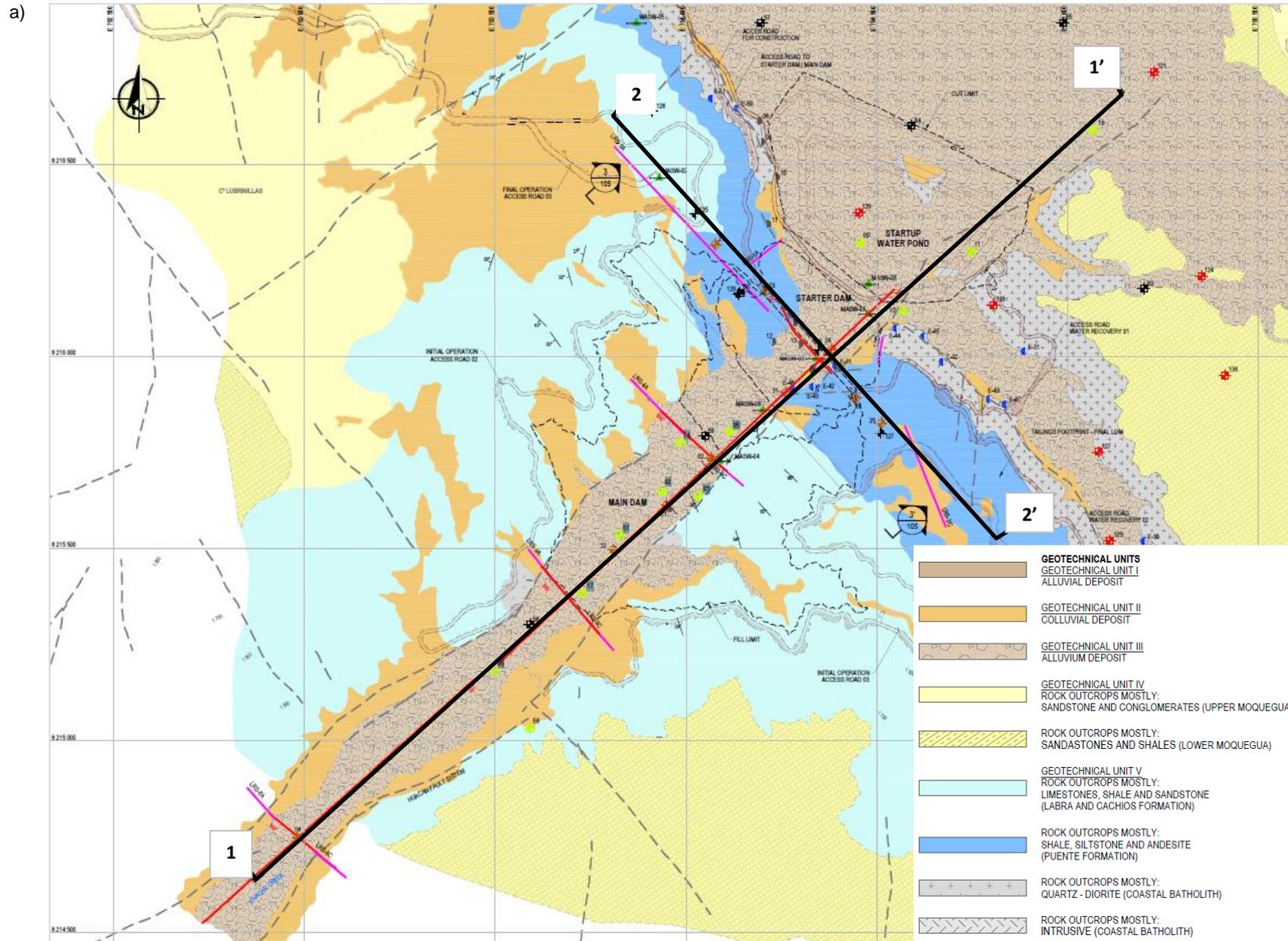
Figura N°3.3: Fotografía de la zona de emplazamiento de la presa de relaves caso de estudio

3.1.2. Geología Local de la Zona del Caso de Estudio

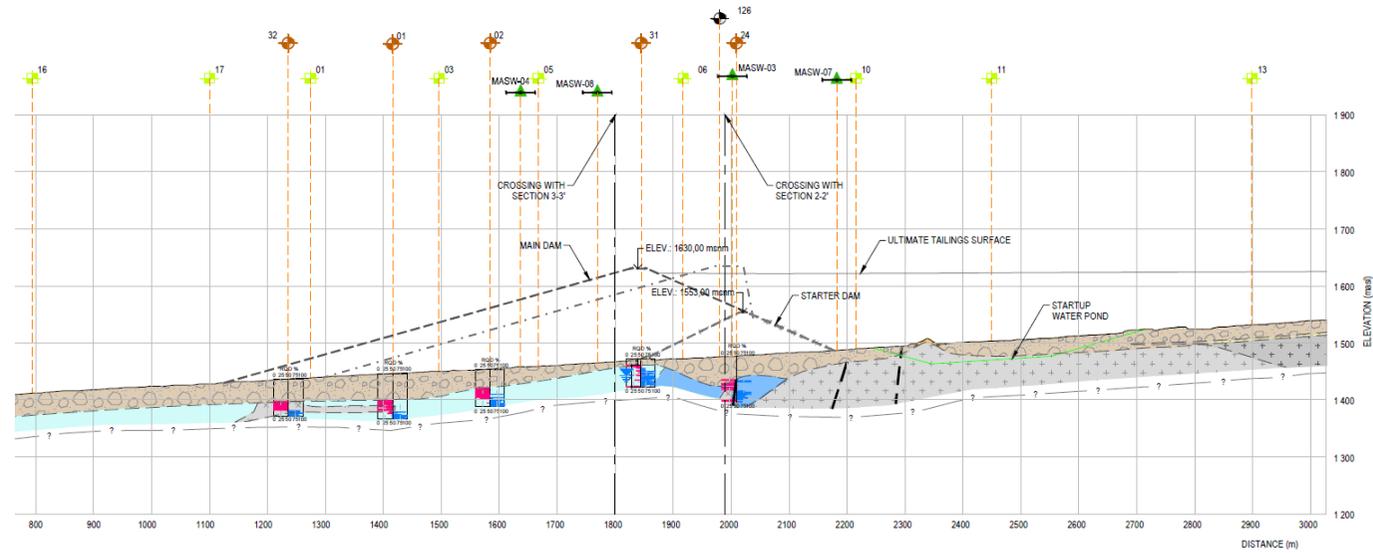
Las unidades litológicas del área estudiada son las siguientes: Complejo Basal de la Costa (Pc-g), Formación Puente (Jm-pu), Formación Labra y Cachios (Js-la; Js-ca), Grupo Moquegua (Ts-mo), Depósitos Cuaternarios (depósitos aluviales y coluviales). Las rocas intrusivas están compuestas por tonalita-granodiorita, granodiorita, diorita y microdiorita, y forman parte del batolito costero.

Los depósitos cuaternarios en el área de estudio se ubican principalmente en desfiladeros y en la parte baja de las laderas. Estos materiales están compuestos por aluviones (antiguos aluviales) como suelos rocosos, depósitos aluviales y coluviales. Generalmente están compuestos por bloques, cantos rodados y gravas subangulares a redondeadas, con matriz arenosa y fina. Se ubica en llanuras aluviales y quebradas, así como en pendientes más bajas, con espesores de hasta 52 m en el área de la presa.

La Figura N°3.4 presenta una vista en planta y secciones geológicas-geotécnicas típicas 1-1' y 2-2' de la zona del proyecto.



b)



c)

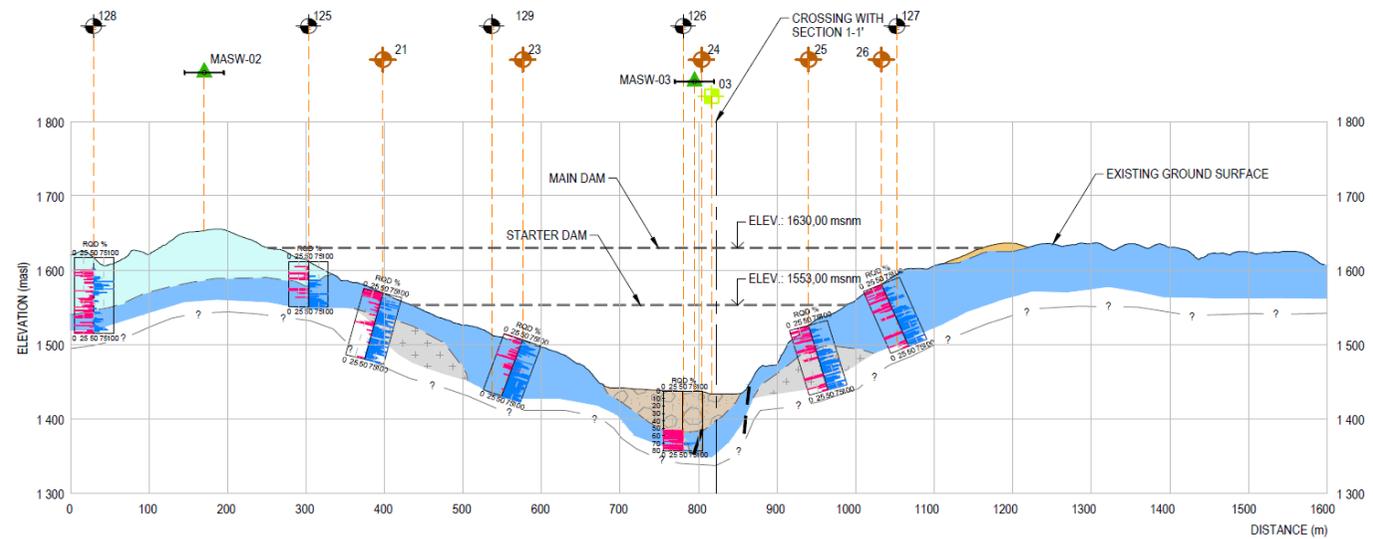


Figura N°3.4: a) Vista en planta, b) sección geológica 1-1', c) sección geológica 2-2' de la presa caso de estudio

3.1.3. Sismicidad

La presa es proyectada sobre un estrato de suelo aluvial de características densas a muy densas. Las velocidades de onda de corte de los sustratos en los 30 m superiores (V_{s30}) es de aproximadamente 690 m/s (determinado a partir de mediciones mediante la prueba geofísica de MASW); por lo tanto, la clasificación de sitio tipo C - suelo muy denso y roca blanda ($V_{s30} = 360-760$ m/s), de acuerdo con el Código Internacional de Construcción (IBC), 2015 y la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE / SEI 7-10) corresponde al lugar de estudio.

Un resumen de las aceleraciones pico en terreno (PGA) y las aceleraciones espectrales determinadas para la zona del proyecto a partir de un estudio específico de peligro sísmico (“*Seismic Hazard Assessment TMF*”) realizado por Ausenco Perú (2018), se muestran en la Tabla N°3-1 (método probabilístico) y Tabla N°3-2 (método determinístico). De los resultados determinísticos, se puede concluir que la sismicidad en la zona del TSF está controlada por sismos profundos originados en la zona intraplaca superior, determinándose para el sitio un PGA de 0,71 g (es decir, un sismo máximo creíble MCE: M7,9 y R = 94 km).

Tabla N°3-1: Aceleraciones espectrales – Método probabilístico (Ausenco,2018)

Período de retorno	Aceleración espectral (g) → $V_{s30}=690\text{m/s}$						
	PGA	0.04s	0.1s	0.2s	0.4s	1s	2s
100	0.23	0.30	0.48	0.52	0.31	0.13	0.06
475	0.43	0.57	0.90	0.98	0.60	0.26	0.12
1 000	0.56	0.75	1.21	1.29	0.80	0.35	0.17
2 475	0.76	1.06	1.66	1.72	1.12	0.51	0.23
5 000	0.97	1.34	2.12	2.14	1.40	0.64	0.30
10 000	1.22	1.67	2.70	2.66	1.72	0.81	0.37

Tabla N°3-2: Aceleraciones espectrales – Método determinístico (Ausenco,2018)

Mecanismo sísmico	Distancia focal R (km)	Profundidad hipocentral (km)	Magnitud sísmica (M_w)	PGA P (.50) (g)	PGA P (.84) (g)
Intraplaca superior	94	78	7.9	0.36	0.71

3.1.4. Características de la Presa de relaves cicloneados - Caso de Estudio

El diseño del TSF del caso de estudio incluye dos (02) presas de arena cicloneada: presa principal y auxiliar. La presa principal comprende una presa de arranque (*starter dam*) de material prestado compactado sobre el que se dispone un relleno de arena de relaves cicloneados (*underflow*).

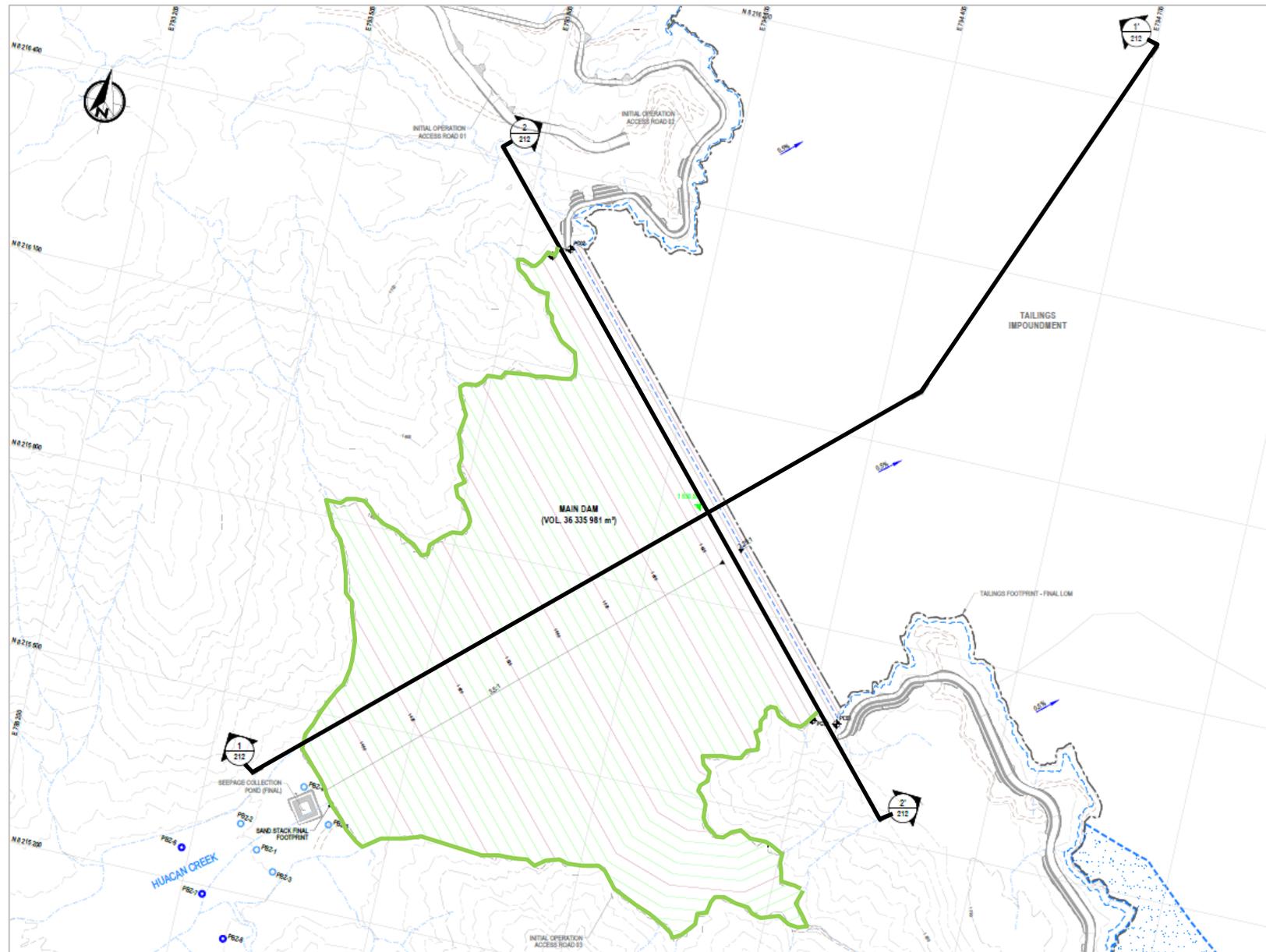
La presa está cimentada en suelo aluvial y provista de un dren basal (*finger drain*) colocado a lo largo del fondo de valle en la cimentación del cuerpo de la presa, asimismo, presenta un revestimiento de geomembrana de HDPE SST de 2.0 mm en la cara aguas arriba de la presa de arranque que actúa como material de impermeabilización.

El recrecimiento de la presa es utilizando arenas de relaves producidos en estaciones de cicloneamiento, la altura máxima de la presa a la etapa final (proyección vertical de la cresta) será de aproximadamente 165 m y alcanzará una elevación de 1630 m s.n.m, brindando capacidad de almacenamiento de relaves para un período de 19 años de producción de relaves. Geométricamente la presa de arranque presenta un talud aguas arriba de 2.25H/1V y un talud aguas abajo de 2.0H/1V. Por otro lado, los recrecimientos con arena cicloneada se proyectan con un talud aguas abajo de 3.5H/1V.

El diseño de la presa ha contemplado un análisis comparativo de dos métodos de construcción: aguas abajo (*downstream*) y línea central (*centerline*). El talud aguas abajo de la presa para ambos métodos es igual. Un análisis comparativo de ambas metodologías se discute a mayor detalle en el Capítulo IV.

La Figura N°3.5 ilustra las características anteriormente descritas de la presa. Cabe indicar que la vista en planta y secciones presentadas son referenciales y representan solo el caso del recrecimiento aguas abajo.

a)



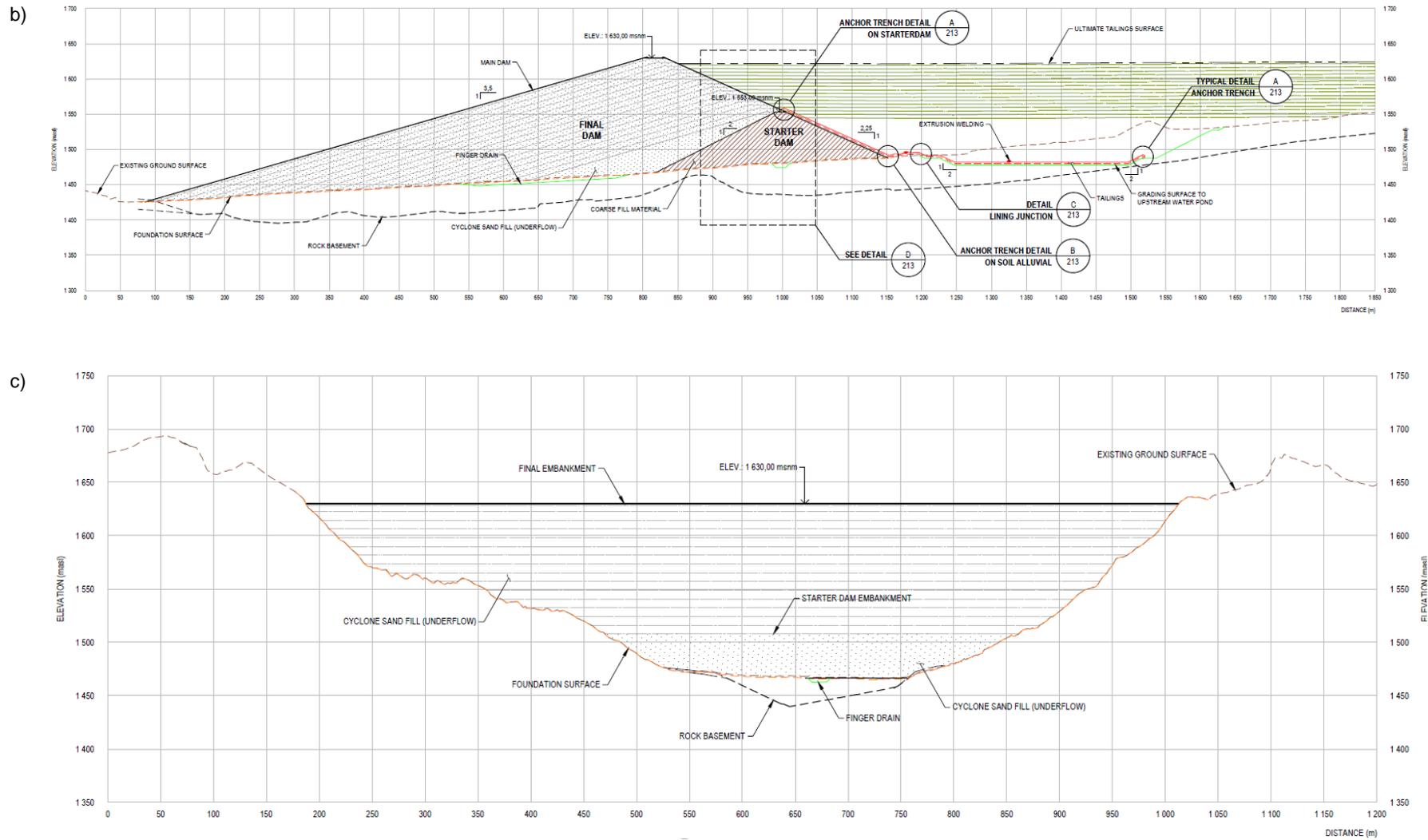


Figura N°3.5: a) Planta de la presa, b) Sección típica 1-1', c) Sección típica 2-2'

3.2. CLASIFICACION POR CONSECUENCIA DE FALLA DE LA PRESA

La clasificación por consecuencias de falla de la presa se llevó a cabo de acuerdo con las Directrices de presas de la *Canadian Dam Association* (CDA) y posteriormente se verificó con los requisitos del *Global Industry Standard on Tailings Management* (GISTM). Previo al modelado de la rotura de presa para fines de clasificación de presa, inicialmente se desarrolló un análisis de modos de falla. De este análisis, se han desestimado posibles modos de falla creíbles para la etapa de construcción y operación de la presa, por lo que los resultados de modelos de rotura de presas e inundaciones no fueron aplicados para la clasificación de la estructura del caso de estudio. El análisis detallado de los modelos de falla no se presenta en la presente tesis dado que esta fuera del alcance. Un ejemplo de los modos de falla evaluados para la etapa operacional se ilustra en la Figura N°3.6.

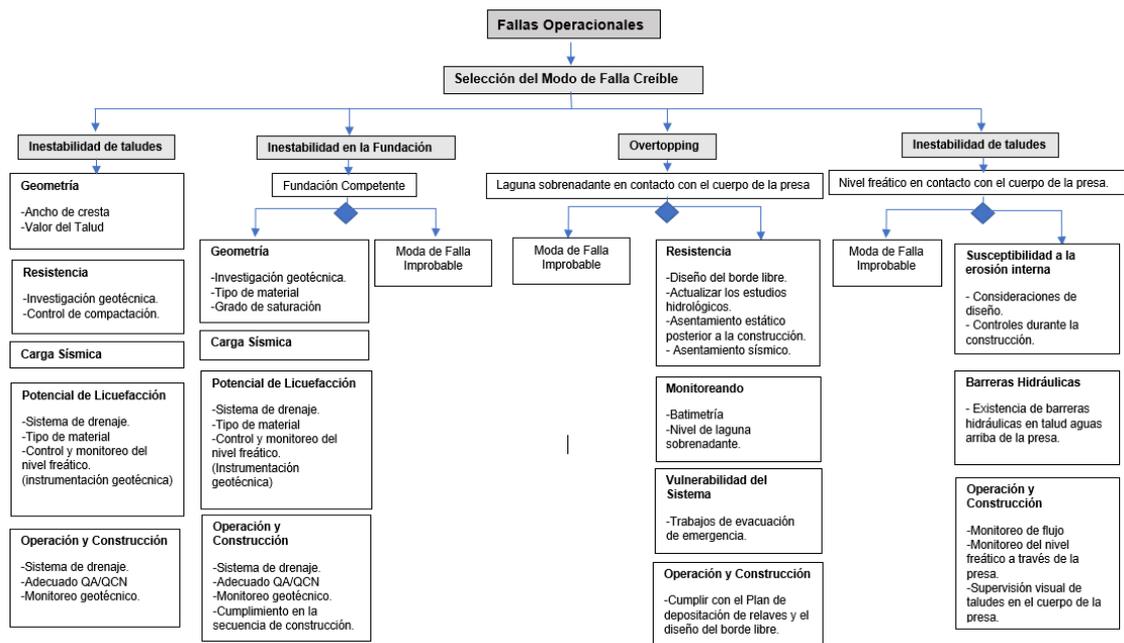


Figura N°3.6: Modos potenciales de falla evaluados

Considerando la envergadura del proyecto y para otorgar mayor robustez a la estructura, se asignó una clasificación de riesgo "Extremo" según la CDA y GISTM. Entre otros resultados, esta clasificación asignada significa que los criterios clave considerados para el diseño de la estructura incluyen los siguientes parámetros:

- Inundación de diseño = Inundación máxima probable (IDF)
- Terremoto de base de diseño = Terremoto máximo creíble (MCE)

3.3. INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS

Se llevaron a cabo campañas de investigaciones geotécnicas en la zona de estudio. Durante la investigación geotécnica de campo se realizó un mapeo geológico-geotécnico detallado de las áreas correspondientes al TSF con el fin de identificar las características geológicas y unidades geotécnicas del área de estudio.

Se ejecutaron cincuenta y tres (53) calicatas en la huella del TSF, treinta y cinco (35) calicatas en el área de material de préstamo, veinte (20) perforaciones, ocho (08) MASW y diez (10) líneas de refracción sísmica. (ver Figura N°3.4 (a).) Las investigaciones geotécnicas fueron ubicadas y distribuidas con el fin de registrar el perfil estratigráfico bajo la superficie actual del terreno y obtener las muestras necesarias para determinar las propiedades geotécnicas de los materiales (ver Figura N°3.4 (b y c)). En el área de la presa principal las calicatas alcanzaron una profundidad máxima de 10 m y no se encontró el contacto suelo-roca ni el nivel freático. Las perforaciones alcanzaron una profundidad máxima de 102 m y a una profundidad de 30 m se detectó nivel de agua.

Adicionalmente, se ejecutaron ensayos in situ de campo como:

- Ensayo de Penetración Estándar (SPT)
- Ensayos de conductividad hidráulica (Lugeon y Lefranc)
- Ensayos de densidad in situ de cono de arena y reemplazo con agua.

3.4. ENSAYOS DE LABORATORIO

A las muestras obtenidas en las calicatas y perforaciones ejecutadas, se les realizaron ensayos estándar y especiales.

Para los ensayos realizados en los relaves se distinguieron los tipos de mineral Supergene (SG) e Hypogene (HY). A continuación, se describen estos dos tipos de relaves:

- ✓ Supergene (SG): muestras con mayor oxidación y meteorización;
- ✓ Hypogene (HY): Muestras con menor meteorización. Esta muestra de relaves sería la más representativa durante la operación a largo plazo.

Las pruebas geotécnicas especiales para los relaves se realizaron en el laboratorio de Fugro y las pruebas estándar fueron ejecutadas en el Laboratorio de Mecánica de suelos de Ausenco. La prueba de consolidación inducida por filtración (SICT), se ejecutó en la Universidad de Colorado (Boulder-Estados Unidos). El SICT no es un experimento de laboratorio común (p. ej., no existe un estándar de ASTM para el SICT) y su metodología ha demostrado que mide de manera efectiva la compresibilidad y la conductividad hidráulica para una amplia gama de geomateriales en suspensión, incluidos los residuos de la combustión del carbón y los relaves mineros (p. ej., Znidarčić et al., 2011). (ver Anexo B.1)

Las muestras del material de aluvial y canteras se ensayaron en el laboratorio de Ausenco con el fin de caracterizar la cimentación del suelo TSF y la idoneidad de este material para ser utilizado como material de relleno grueso para la construcción de presa de arranque. (ver Anexo B.2)

Finalmente, se realizaron los siguientes ensayos, para la caracterización física de los materiales: Análisis granulométrico por hidrómetro y tamizado, prueba de límites de Atterberg, contenido de humedad, gravedad específica, ensayo de Proctor Modificado, ensayo de Proctor Estándar, prueba de Decantación de Relaves, ensayo de conductividad hidráulica (permeabilidad de pared flexible y de pared rígida), ensayo triaxial Consolidado Drenado (CD), prueba de triaxial estática, consolidado no drenado (CU) y prueba de consolidación inducida por filtración (SICT).

3.5. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES DE LA PRESA DE RELAVES CICLONEADOS DEL CASO DE ESTUDIO

La caracterización incluye propiedades tales como: propiedades físicas (granulometría, contenido de humedad, gravedad específica, densidad, etc.), parámetros de resistencia al corte y conductividades hidráulicas saturadas/no saturadas. Se identificaron los siguientes materiales que componen el TSF del caso de estudio:

- Arena de relaves cicloneados (*Underflow*), relaves de alimentación (*Feed*) y relaves finos (*Overflow*);
- Relleno de la presa de arranque, dren basal (*Finger drain*); y
- Fundación - Suelo aluvial y Basamento rocoso

3.5.1. Arena de relaves cicloneados (*Underflow*).

La Figura N°3.7 muestra la distribución del tamaño de partícula para los relaves *Underflow*. Las pruebas de laboratorio (mediante tamizado e hidrometría) muestran que estos materiales corresponden a arenas limosas (SM), no plásticas, y con un contenido fino pasante la malla N°200 entre 14.4% – 22.8%. Para el diseño de la presa se considera un máximo contenido de finos de 18%.

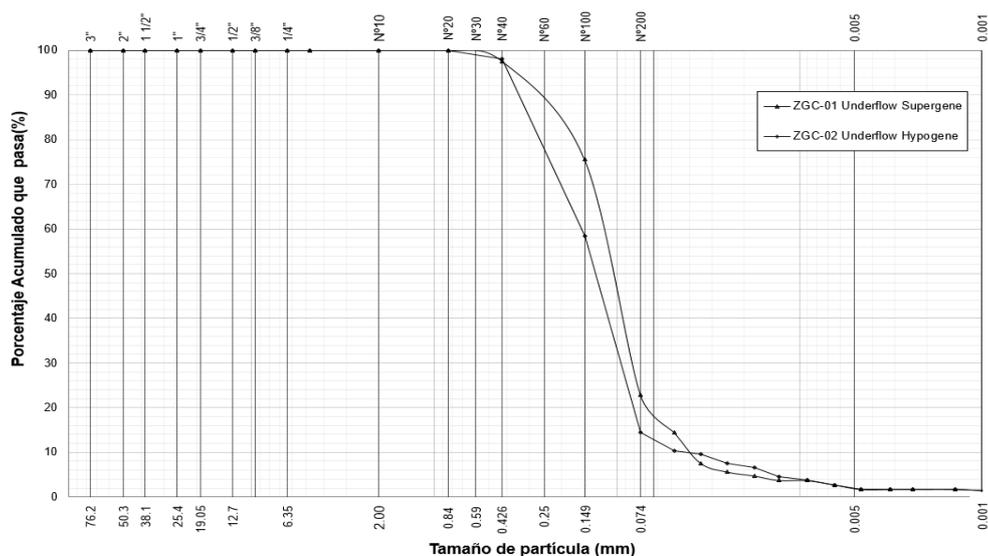


Figura N°3.7: Curvas granulométricas – *Underflow*

Por otro lado, se ha establecido una densidad seca de colocación de 16.5 kN/m^3 (95% MDS de Proctor Modificado) y 14% de contenido de humedad (contenido óptimo de humedad 5 a 7%). Los resultados de laboratorio también indican una gravedad específica de 2.80 para este material. Para los análisis geotécnicos, se consideró un peso específico de 17.7 kN/m^3 (húmedo) y 20.2 kN/m^3 (saturado).

La envolvente de resistencia de los materiales *Supergene* (SG) e *Hypogene* (HY) se presenta en la Figura N°3.8, ambas muestras muestran un comportamiento similar, el ángulo de fricción en condiciones de drenaje es de 34.8° .

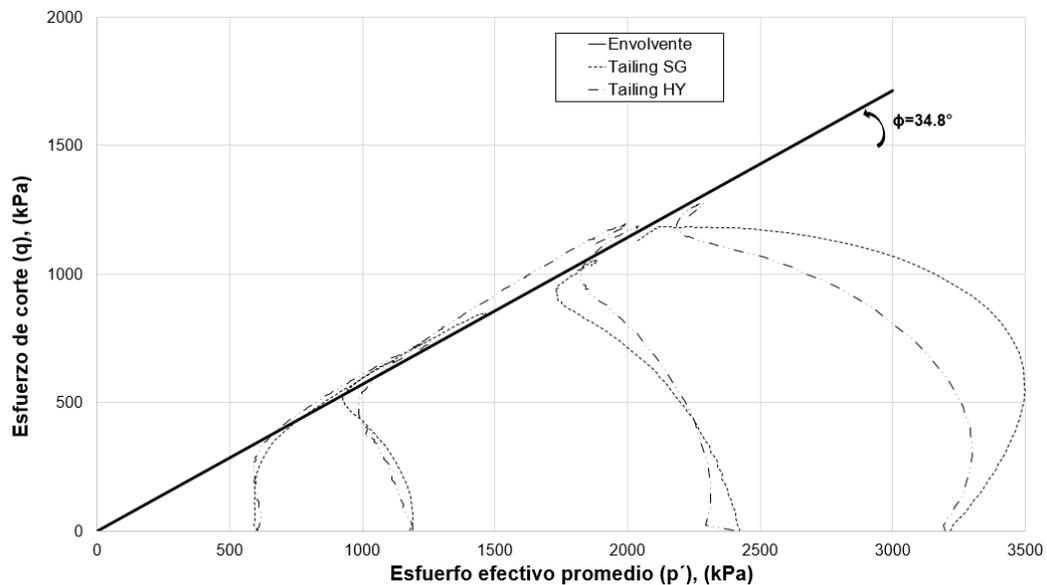


Figura N°3.8: Esfuerzos de corte vs Esfuerzo efectivo promedio – *Underflow*

Se realizaron pruebas de permeabilidad en permeámetros de pared flexible. Los resultados muestran valores de conductividades hidráulicas saturadas (k), de $3.6 \times 10^{-6} \text{ m/s}$, $1.2 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ y $1.74 \times 10^{-8} \text{ m/s}$. El valor representativo considerado es de $1.2 \times 10^{-6} \text{ m/s}$.

Asimismo, se ha definido la curva de contenido volumétrico de agua vs succión, considerando el modelo de Van Genuchten M. Th. (1980), el cual fue estimado a partir de parámetros físicos del material como la distribución granulométrica y densidad seca, los valores utilizados para el relave *Underflow* se listan a continuación, los cuales fueron obtenidos a partir de pruebas de laboratorio:

- Arena=85.6%
- Finos= 14.4% (Limo=12.7%, Arcillas= 1.7%)
- Densidad seca (γ_d) = 1.65 gr/cm³

La curva de contenido volumétrico de agua vs succión se muestra en la Figura N°3.9, los parámetros que describen esta curva se listan a continuación:

- Residual Water Content (θ_r) = 0.04
- Saturated Water Content (θ_s) = 0.3387
- α = 0.0433 (1/cm), curve fitting parameter
- n = 2.2249, curve fitting parameter
- m ($1-1/n$) = 0.55, curve fitting parameter

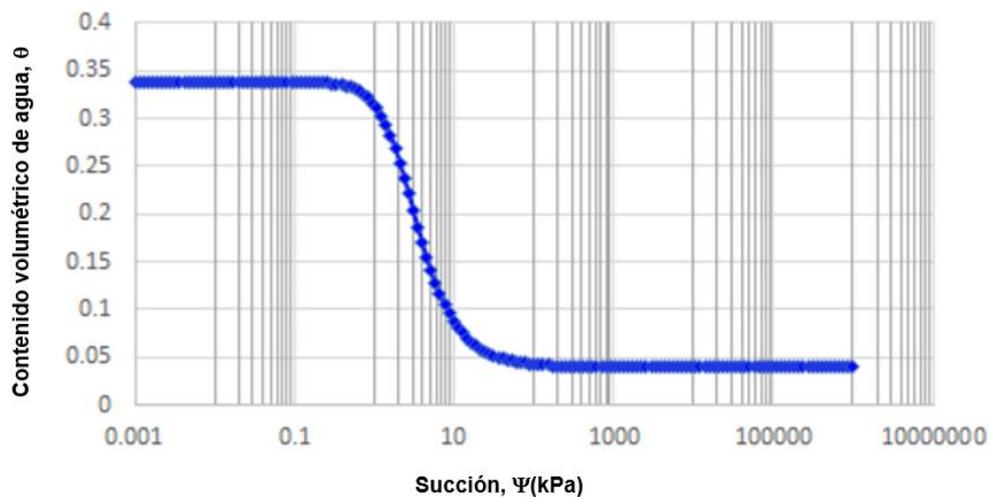


Figura N°3.9: Curva de contenido volumétrico de agua vs succión – *Underflow*

3.5.2. Relaves de alimentación (*Feed*) y relaves finos (*Overflow*)

Los materiales de relaves *Feed* y *Overflow* consisten en arena, limo y material arcilloso con un tamaño máximo de partícula de 0.43 mm (malla N°40). Para

caracterizar físicamente este material, se realizaron pruebas de laboratorio en dos tipos de muestras dependiendo del tipo de mineral del cual provienen: *Supergene* e *Hypogene*. La Figura N°3.10 muestra la distribución del tamaño de partícula para los relaves *Feed* y *Overflow*.

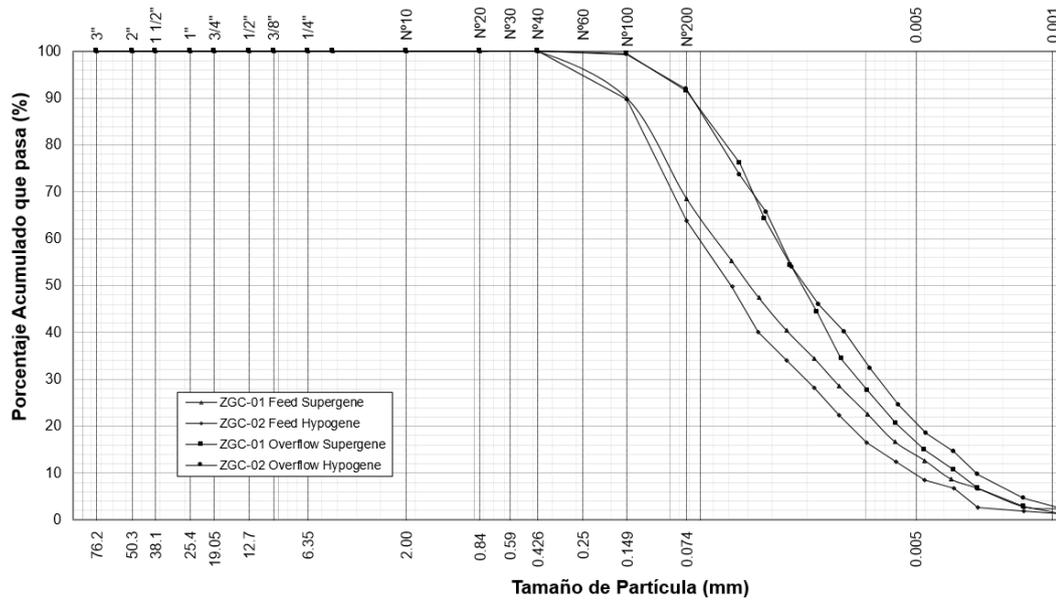


Figura N°3.10: Curvas granulométricas - *Feed* y *Overflow*

La Tabla N°3-3 muestra un resumen de los parámetros físicos determinados para el relave *Feed* y *Overflow* a partir de pruebas de laboratorio.

Tabla N°3-3: Parámetros físicos de relaves *Feed* y *Overflow*

Parámetros	Unidades	Relaves <i>Overflow</i>	Relaves <i>Feed</i>
Densidad seca promedio (γ_d) ⁽¹⁾	t/m ³	1.55	1.53
Gravedad específica (Gs)	-	2.710	2.715
Relación de vacíos (e)	-	1.1	1.1
Contenido de arena	%	8	34
Contenido de finos	%	92	66

Nota: (1) La estimación de la densidad seca promedio se muestra en la Figura N°3-14

Típicamente, los materiales finos están en función del índice de plasticidad (IP), para el caso del relave *Overflow* se tiene un valor promedio de IP = 0 a 13%; con base en Gibson (1953) adaptado por Carter & Bentley (2016), se estima un ángulo

de fricción efectivo es de 24° a 26°, asimismo, se ha calculado una relación de resistencia no drenada (Su/σ_v') en condiciones estáticas de 0.16 (Skempton, 1957) a 0.22 (Mesri, 1975). En base a experiencias en proyectos similares se consideró una resistencia post-sísmica de 0.06.

Por otro lado, para los análisis geotécnicos se ha considerado que todos los relaves depositados son licuables; adoptándose una relación de resistencia post-sísmica de 0.06, valor típico para este tipo de materiales.

Los relaves *Feed* y *Overflow* conforman los relaves depositados en el TSF, para fines de la caracterización para los análisis de filtración, se han definido tres zonas:

- Zona con predominio de relaves finos (*Overflow*)
- Zona de relaves totales predominantemente gruesas (*Whole* o *Feed*)
- Zona de mezcla que representa la superposición de relaves *Overflow* y *Whole*.

La distribución de estas zonas en una sección transversal típica se puede observar en la Figura N°3.11, a continuación.

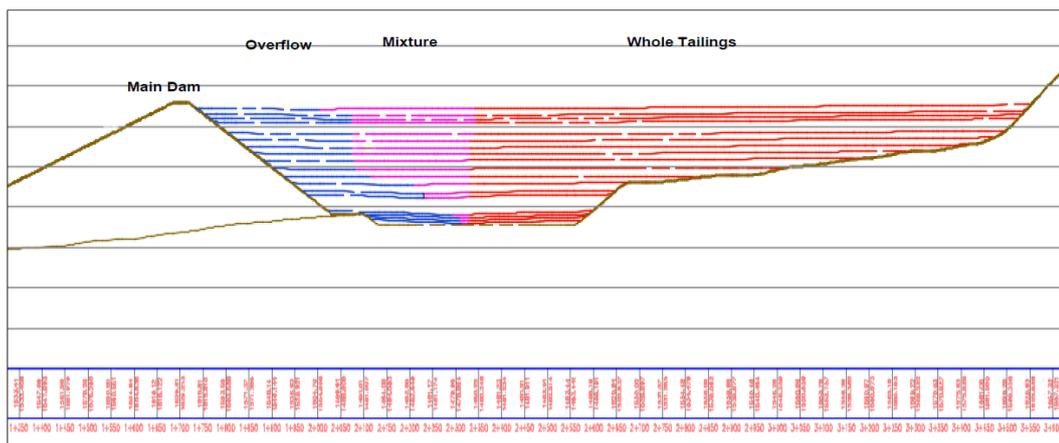


Figura N°3.11: Distribución de relaves depositados

Pruebas de consolidación inducidas por filtración (*seepage induced consolidation*) en muestras de relaves *Feed* y *Overflow* fueron realizadas en la Universidad de

Colorado, Boulder, Estados Unidos. Estos ensayos proporcionaron curvas de variación de la relación de vacíos (e) con el esfuerzo efectivo (σ') así como con la conductividad hidráulica (k), simulándose así el proceso de consolidación por pérdida de agua que experimentaría el depósito de relaves durante el proceso de depositación de este material durante la etapa de operación del TSF del caso de estudio.

Los resultados de las pruebas de consolidación inducidas por filtración tanto en las muestras de relave *Feed* y *Overflow* son mostradas en la Figura N°3.12.

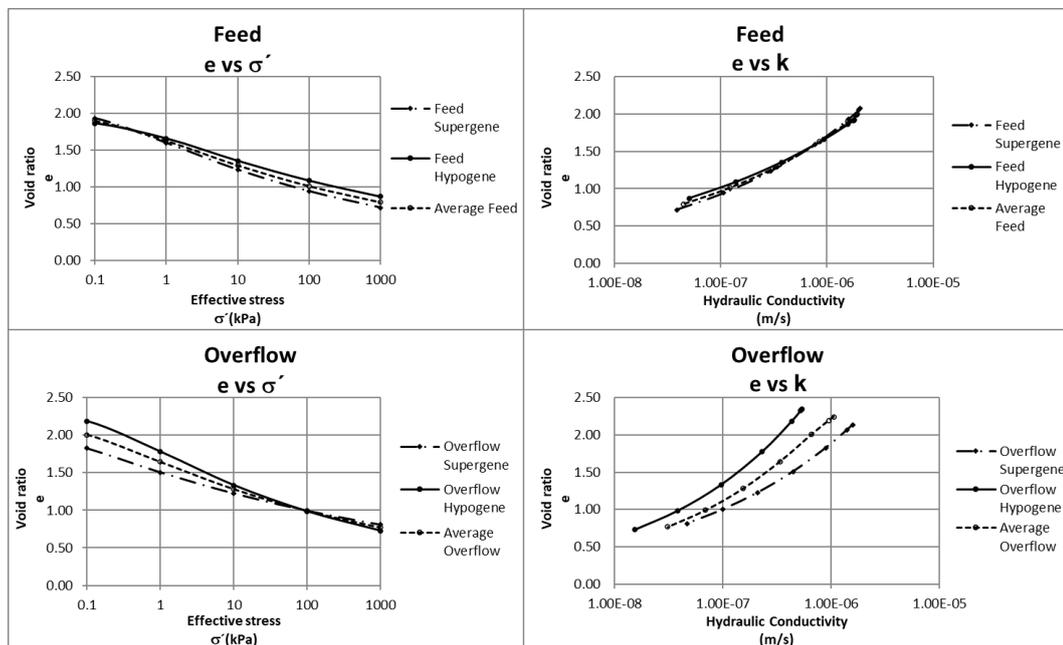


Figura N°3.12: Esfuerzos de corte – Conductividad Hidráulica vs Relación de Vacíos (*Feed* y *Overflow*)

De las figuras se puede observar que la conductividad hidráulica para relaves más gruesos (relaves *Feed*) es ligeramente superior a los relaves *Overflow*. Por otro lado, considerando las propiedades físicas indicadas en la Tabla N°3-3 y los resultados de los ensayos mostrados en la Figura N°3.12 complementados con información de la tasa de crecimiento de los relaves (ver Figura N°3.13), se ha estimado la variación de la densidad seca de los relaves con el tiempo como se ilustra en la Figura N°3.14.

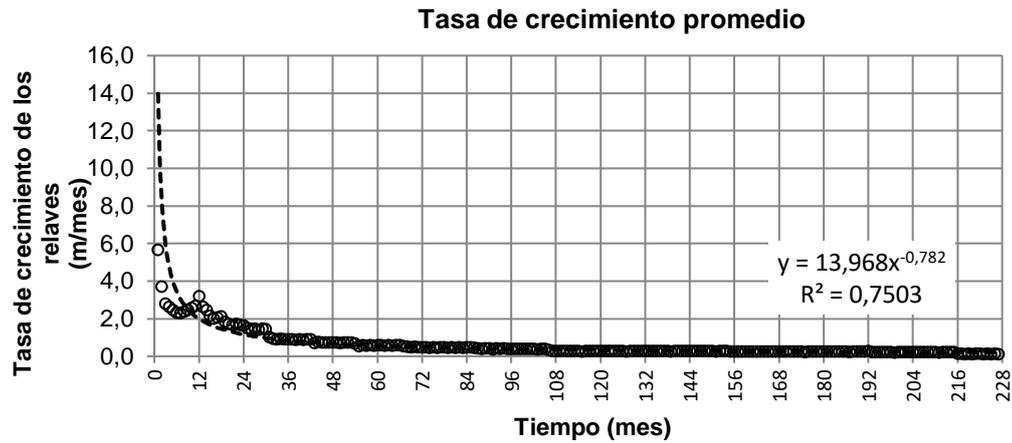


Figura N°3.13: Tasa de crecimiento de los relaves depositados

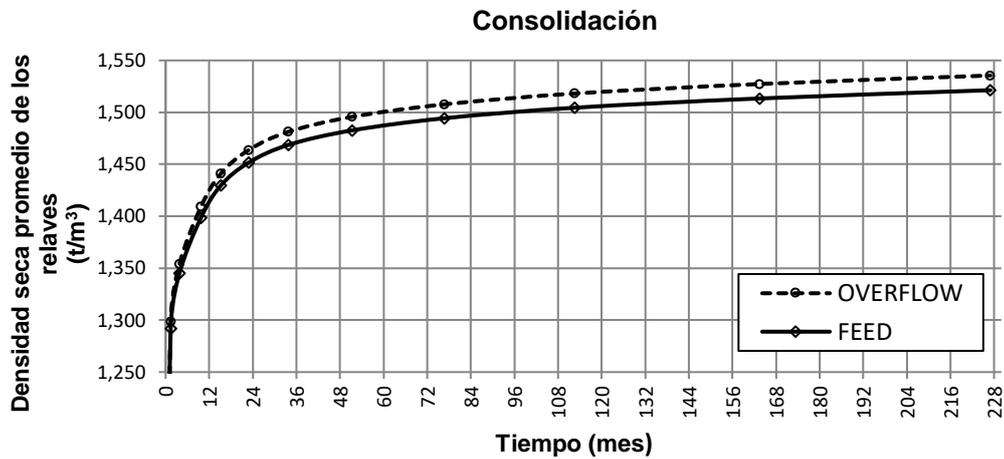


Figura N°3.14: Densidad seca promedio de los relaves

Para fines de la caracterización para los análisis de filtraciones se ha adaptado un comportamiento medio para la estimación de los parámetros de conductividad hidráulica.

Para estimar la curva de contenido volumétrico de agua vs succión, se consideró un valor promedio de densidad seca de relaves, así como los parámetros de distribución granulométrica, gravedad específica de sólidos y la relación de vacíos según se indica en la Tabla N°3-3. Las curvas de retención se ilustran en la Figura N°3.15.

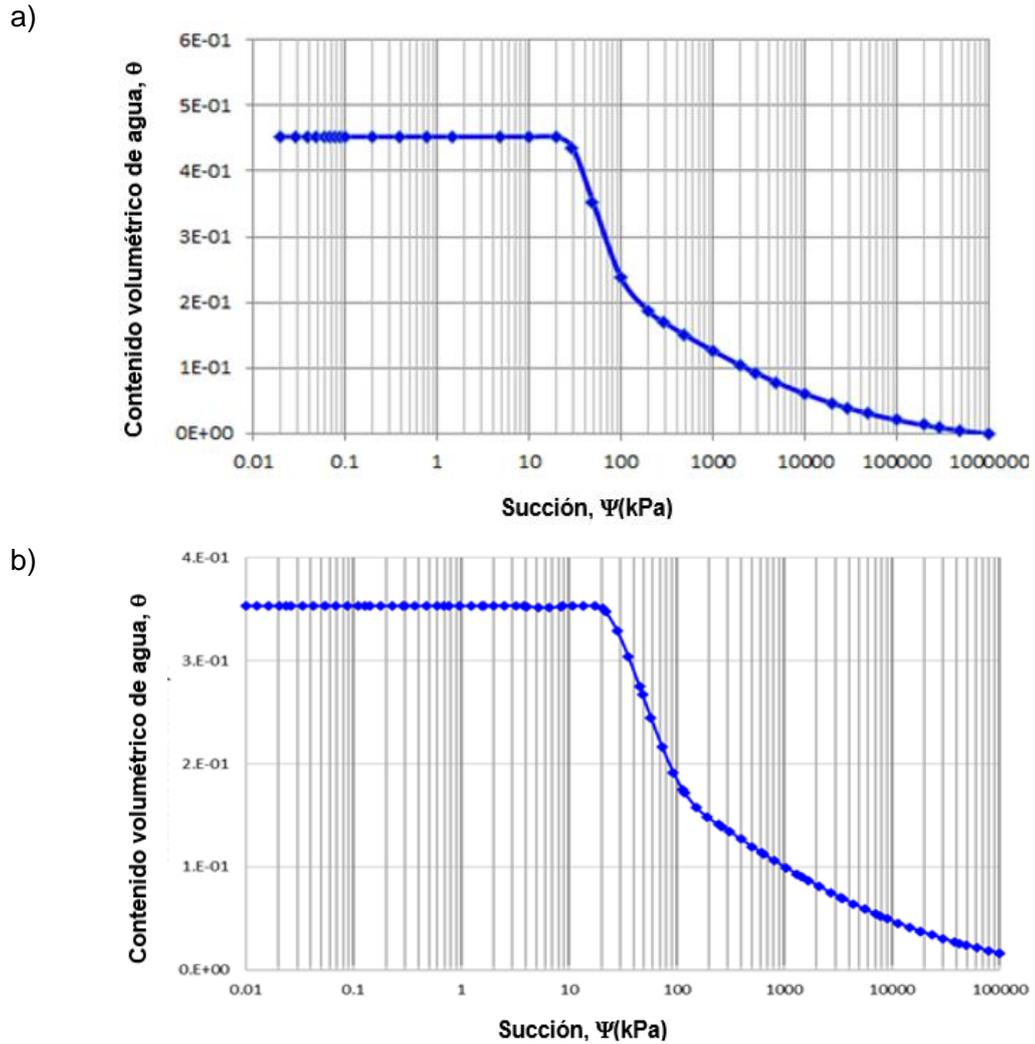


Figura N°3.15: Curva de contenido volumétrico de agua vs succión a) *Overflow*, b) *Feed*

Las conductividades hidráulicas saturadas, k , se muestran en la Tabla N°3-4, las cuales se han determinado de acuerdo con la tasa de crecimiento promedio de los relaves y resultados de los ensayos de consolidación inducidas por filtración.

Tabla N°3-4: Conductividades hidráulicas saturadas *Feed*, *Overflow* y mezcla

Relaves	Conductividades hidráulicas saturadas	
	k (m/seg)	Factor de Anisotropía
<i>Overflow</i>	5.00E-08	5.0
Mezcla	1.66E-07	15.3
<i>Feed</i>	1.68E-07	6.2

3.5.3. Relleno de la Presa de Arranque

Material gravoso con clasificación SUCS de GM y GP-GM. De acuerdo con los resultados de granulometría del material, este contiene entre 45% a 65% de grava, 32% a 62% de arena y 3% a 10% de finos. El material no tiene plasticidad y presenta un contenido de humedad en torno al 0.4% a 3.7%, en estado *in situ*. Las curvas de distribución granulométrica de este material se presentan en la Figura N°3.16.

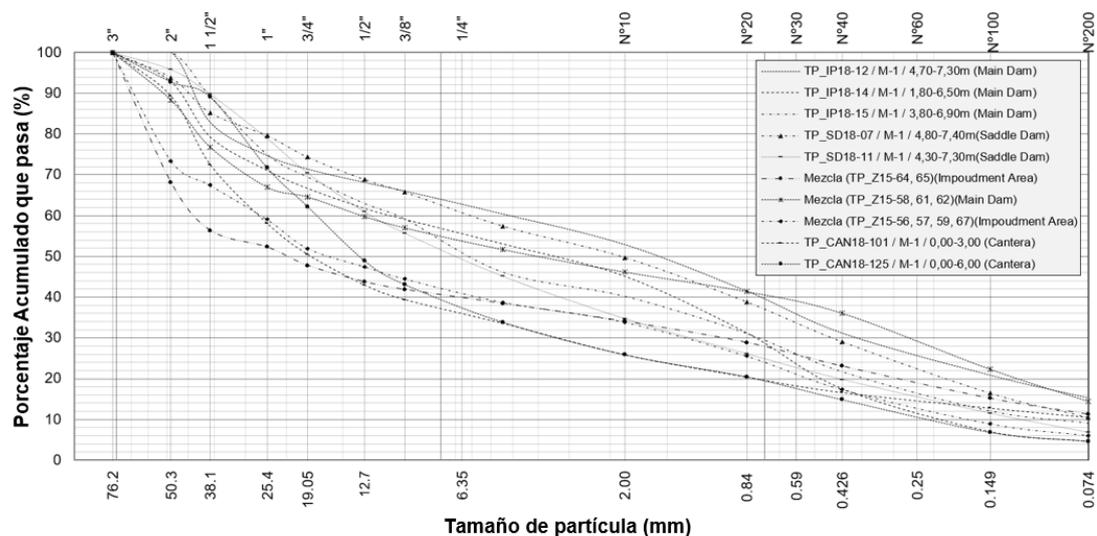


Figura N°3.16: Curvas granulométricas – Relleno de presa de arranque

El peso unitario para este material se determinó con base en pruebas de proctor modificado que indican valores entre 21.2 – 23.6 kN/m³. La densidad de colocación de este material se ha establecido como 22.3 kN/m³, que corresponde al 95% de la máxima densidad seca (MDS) del proctor modificado y, un contenido de humedad del 4% al 6%. La Figura N°3.17 presenta los resultados de los ensayos de proctor modificado.

Por otro lado, de acuerdo con los resultados obtenidos en laboratorio, se ha reportado que la gravedad específica (Gs) varía en el rango de 2.69 - 2.78 y el contenido de humedad (MC) reporta valores que varían en el rango de 0.4% - 2.5%. La Figura N°3.18 muestra los resultados de Gs y MC obtenidos para el material.

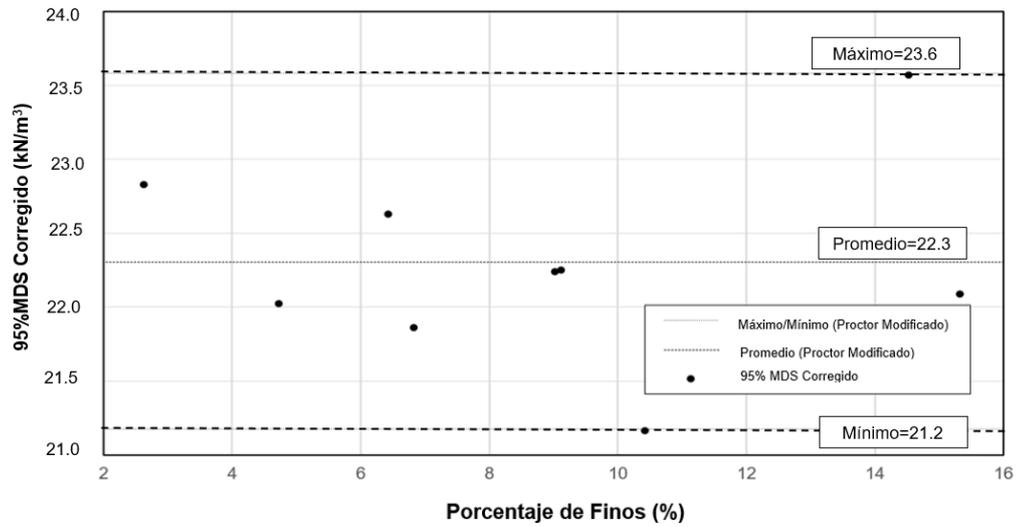


Figura N°3.17: Resultados del proctor modificado – Material de relleno de la presa de arranque

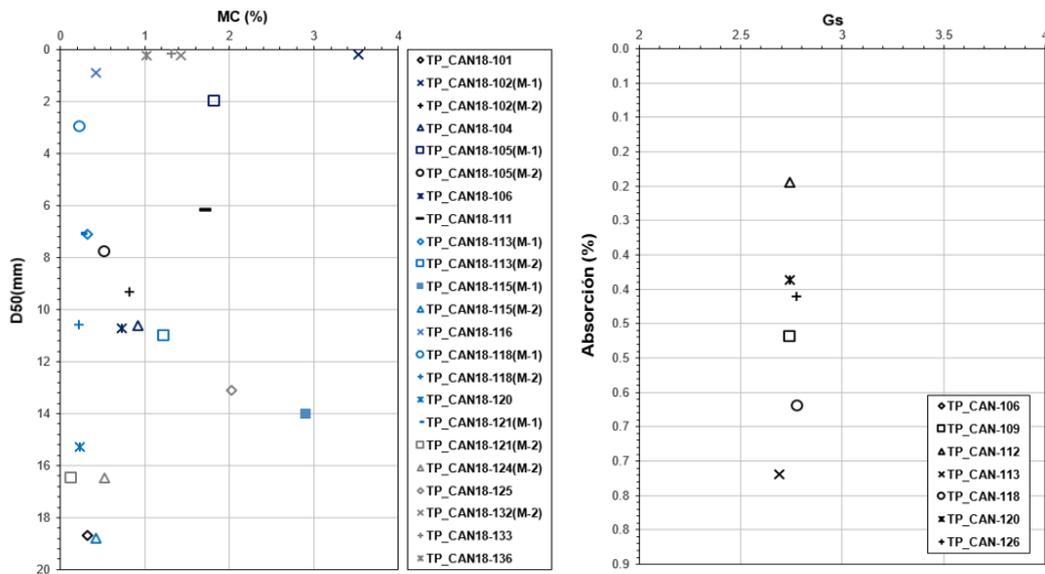


Figura N°3.18: Resultados de MC y Gs – Material de relleno de la presa de arranque

Los parámetros de resistencia en términos de ángulo de fricción interno, en condiciones con y sin drenaje, se obtuvieron a partir de ensayos triaxiales CD y CU de 4" de diámetro de probeta en muestras de suelo aluvial compactado al 95% de la MDS. La resistencia drenada varía de 37.6° a 40.1°, como se muestra en la Figura N°3.19. Este material no presenta comportamiento no drenado ni susceptibilidad a licuefacción; por lo tanto, se ha considerado un ángulo de fricción de 38° y una cohesión de 5 kPa.

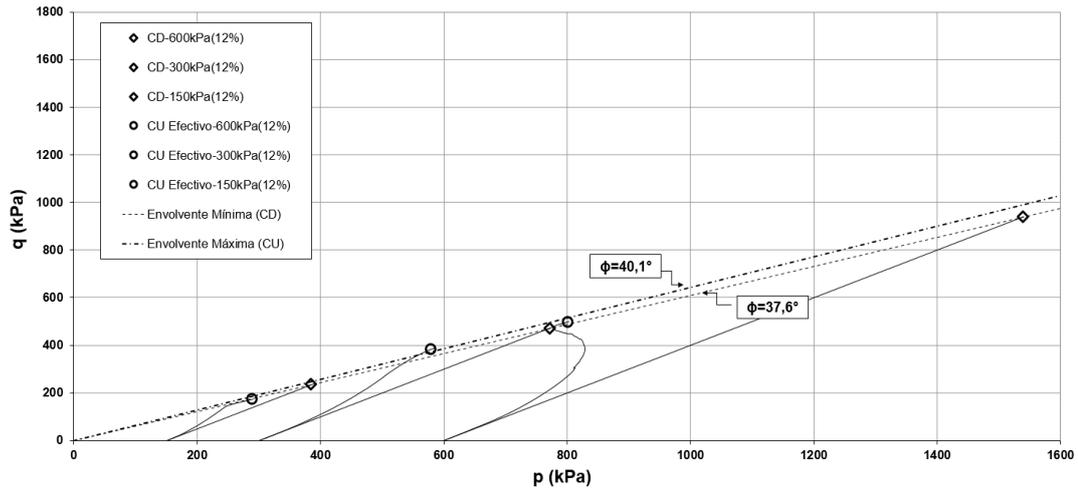


Figura N°3.19: Esfuerzos de corte vs Esfuerzo efectivo promedio – Relleno presa de arranque

La conductividad hidráulica se obtuvo a partir de pruebas de permeabilidad en permeámetros de pared rígida obteniéndose valores entre 5.5×10^{-4} a 2.5×10^{-4} m/s. Para fines de los análisis de infiltración se ha adoptado el valor k de 2.5×10^{-4} m/s.

3.5.4. Dren basal (*Finger Drain*)

Suelo gravoso utilizado como sistema de drenaje en la fundación de la presa. Este material será procesado y tamizado y provendrá de la misma zona de cantera del relleno de la presa de arranque. Por lo que se ha adoptado un ángulo de fricción de 38° y una cohesión nula en base a la experiencia en proyectos similares para este tipo de material.

La conductividad hidráulica de este material se ha estimado en 1.0×10^{-3} típico para un material con $D_{50} = 2''$ (basados en Jay Ameratunga, Nagaratnam Sivakugan y Braja M. Das, 2016; y Michael Carter y Stephen P. Bentley, 2016).

3.5.5. Suelo Aluvial

Material que conforma la fundación de la presa, presenta una distribución de tamaño de grano global compuesta por 45% de bolones, 30% de cantos rodados, 30% de grava, 10% de arena y 4% de finos (pasante la malla N°200).

La Figura N°3.20 muestra registros fotográficos de las calicatas ejecutadas en el material aluvial de la fundación. Se puede reconocer materiales granulares gruesos de gran diámetro de hasta 16" envueltos dentro de una matriz limosa.



Figura N°3.20: Calicata en suelo aluvial

La Figura N°3.21 muestra la granulometría del material pasante la malla de 3", que indica un material homogéneo con un contenido máximo de finos del 15% y una distribución bien graduada. Los resultados de laboratorio muestran que este material no tiene plasticidad.

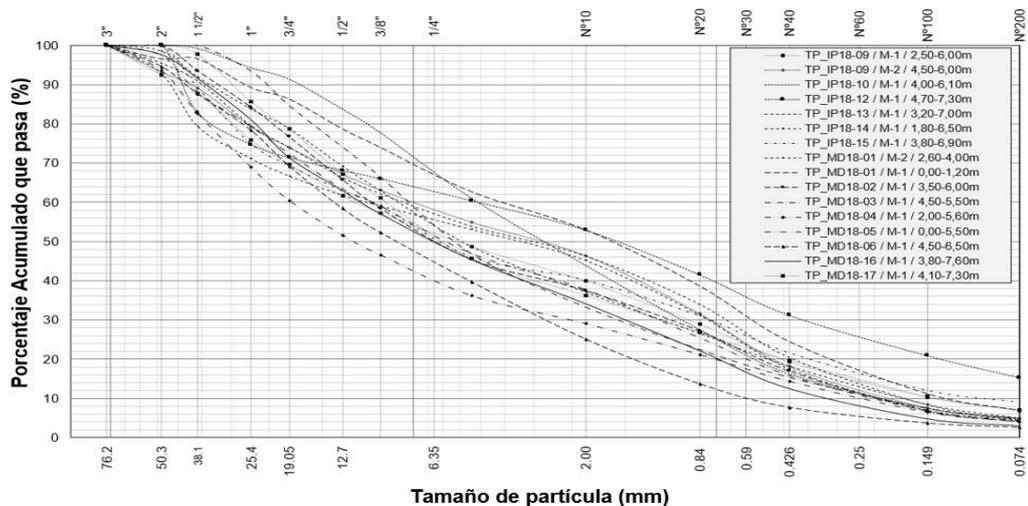


Figura N°3.21: Curvas granulométricas – Suelo aluvial

Se llevaron a cabo varias pruebas de reemplazo de agua *in situ* y pruebas de cono de arena para estimar la densidad de los materiales de cimentación. La Figura N°3.22 presenta los resultados de dichos ensayos, obteniéndose un valor promedio de densidad húmeda *in situ* de 20.8 kN/m³.

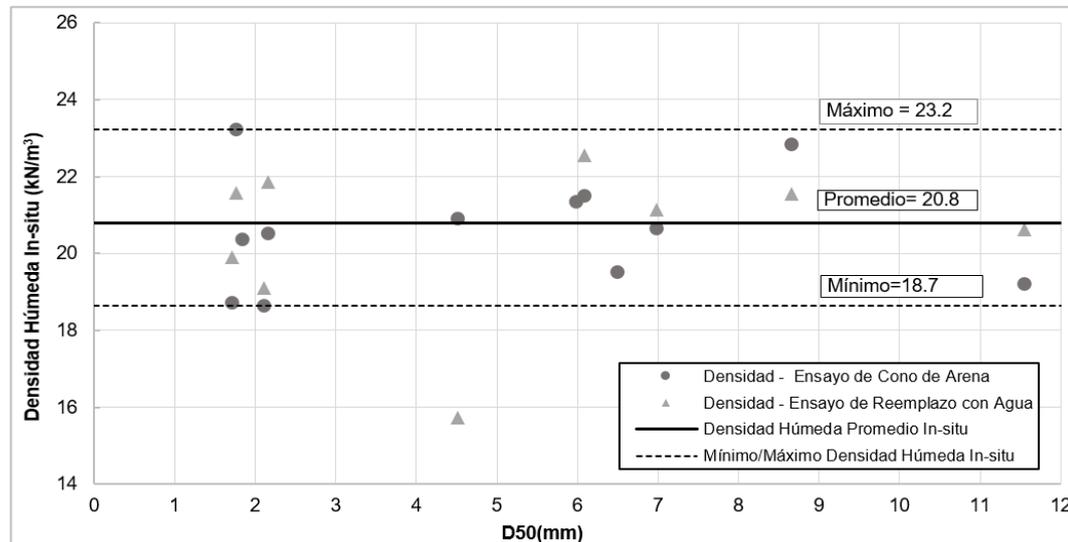


Figura N°3.22: Densidad *in situ* vs D50 – Suelo aluvial

Los valores de gravedad específica varían de 2.69 a 2.78 y los valores de contenido de humedad varían en el rango de 0.4% a 2.5%. Para fines de los análisis de estabilidad se ha considerado un peso unitario promedio representativo de 21 kN/m³.

Los parámetros de resistencia, en términos de ángulo de fricción interna, en condiciones con y sin drenaje, se obtuvieron a partir de ensayos triaxiales CD de 4" y 6" de diámetro de probeta. Las presiones de confinamiento efectivas aplicadas fueron de 150, 300 y 600 kPa. Se analizaron los resultados para cada presión de confinamiento y se generaron dos envolventes de resistencia (máxima y mínima), al 12% de deformación. De acuerdo con la envolvente de resistencia que se muestra en la Figura N°3.23 el ángulo de fricción drenado varía de 39.6° a 42.6°.

Cabe señalar que cuando se presentan materiales mayores de 3" hasta el 40%, se anticipa una envolvente de resistencia mayor a la reportada en los informes de laboratorio. Sin embargo, considerando que la gran altura de la presa (~165 m)

agrega un efecto detrimental a la resistencia, se ha adoptado el valor mínimo de las pruebas de laboratorio, es decir un ángulo de fricción drenado de 39°.

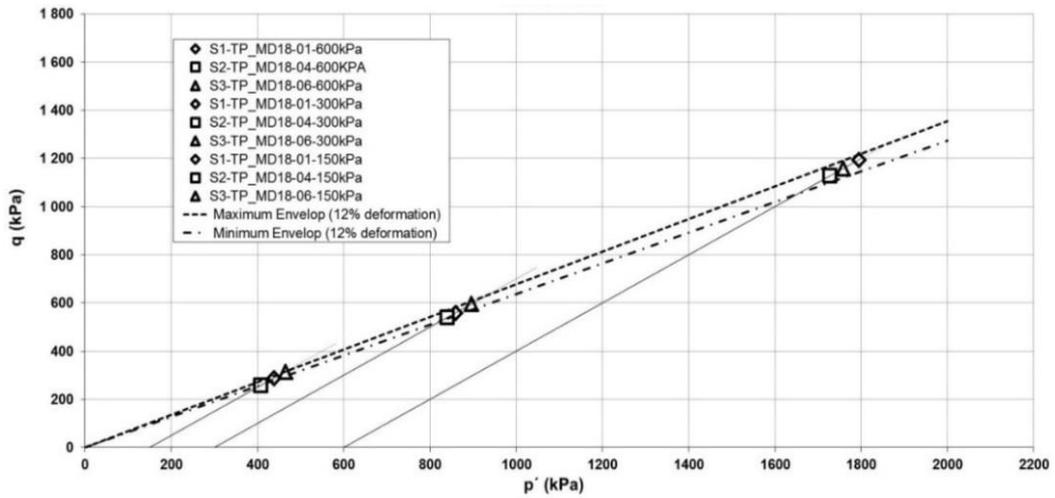


Figura N°3.23: Esfuerzos de corte vs Esfuerzo efectivo promedio – Suelo aluvial

La Figura N°3.24 y la Tabla N°3-5 muestran las conductividades hidráulicas para la cimentación de la Presa Principal obtenidas de pruebas Lefranc, donde se puede notar que a mayor profundidad la conductividad hidráulica se reduce.

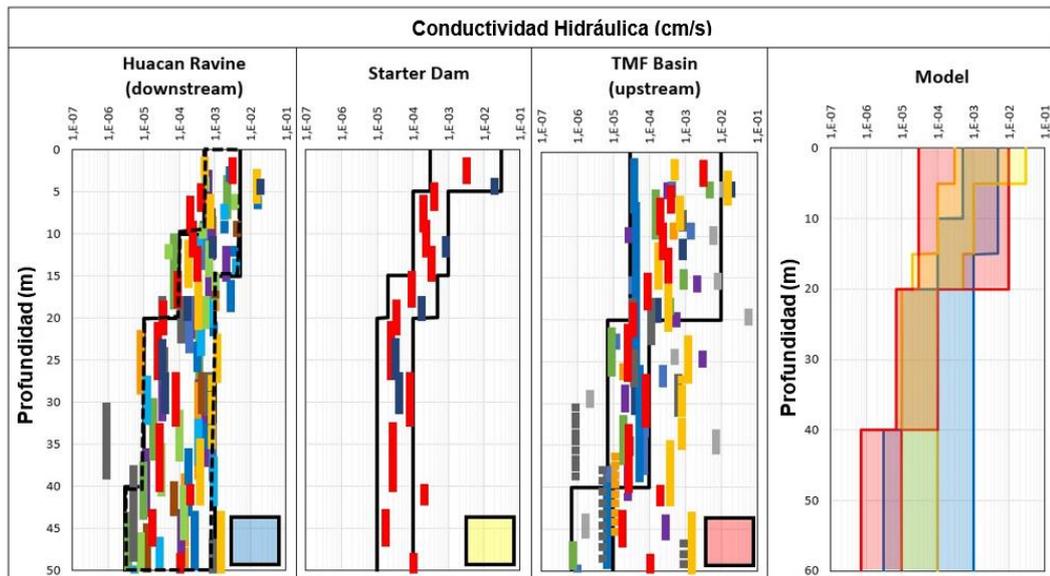


Figura N°3.24: Conductividades hidráulicas – Suelo aluvial

Tabla N°3-5: Conductividades hidráulicas promedio – Suelo aluvial

Aguas abajo		Zona central de la presa		Dentro del área de embalse	
Prof. (m)	$k_{promedio}$ (m/s)	Prof. (m)	$k_{promedio}$ (m/s)	Prof. (m)	$k_{promedio}$ (m/s)
0-10	2.75E-05	0-5	1.52E-04	0-20	5.02E-05
10-15	2.55E-05	5-15	5.50E-06	20-40	5.35E-07
15-20	5.50E-06	15-20	2.60E-06	-	-
20-40	5.05E-06	20-40	5.50E-07	-	-

La distribución de las conductividades hidráulicas en una sección típica se muestra en la Figura N°3.25.

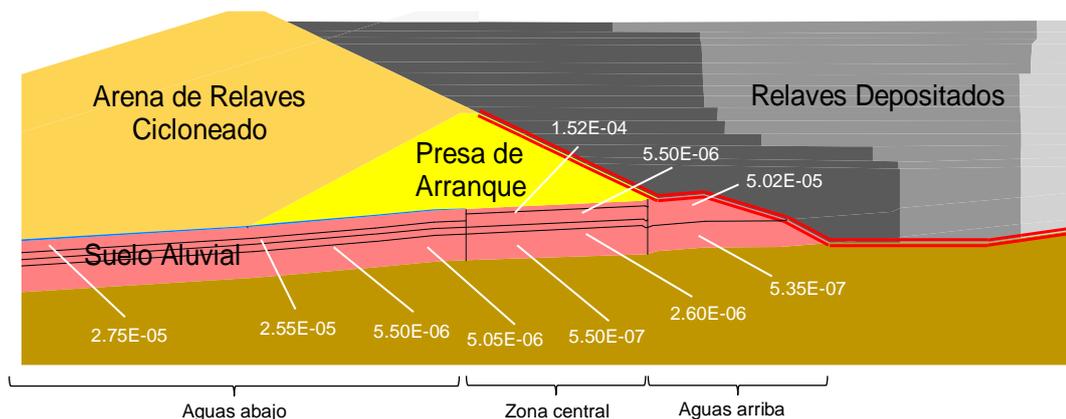


Figura N°3.25: Distribución de conductividades hidráulicas – Suelo aluvial

3.5.6. Basamento Rocoso

El basamento rocoso está conformado por litologías de caliza, lutita, arenisca, limolita y andesita que también incluye pequeños afloramientos de rocas intrusivas de diorita. Estos materiales son considerablemente superiores al suelo de fundación. Por lo tanto, para fines de los análisis de estabilidad se ha modelado como material "impenetrable". Por otro lado, considerando que el suelo de fundación es comparativamente más permeable que el basamento rocoso, y para fines de los análisis de infiltración, este material (basamento rocoso) se ha considerado con una permeabilidad (k) igual a 1.00×10^{-8} m/s, en base a los ensayos de campo realizados (Lugeon).

3.5.7. Resumen

La Tabla N°3-6 presenta un resumen de los parámetros de resistencia e hidráulicos considerados para los análisis de estabilidad e infiltración:

Tabla N°3-6: Resumen de propiedades geotécnicas e hidráulicas

Color	Unidad geotécnica	Material	γ_d (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	Parámetros de resistencia						Parámetros hidráulicos		
					Condición estática y pseudoestática			Condición post-sísmica			k (m/s)	Modelo constitutivo	Modelo de curva de retención
					c' (kPa)	ϕ' (°)	Su/ σ_v'	c' (kPa)	ϕ' (°)	Su/ σ_v'			
	Cuerpo de presa	Arena de relave cicloneado (<i>Underflow</i>)	17.7	20.2	10	33	-	10	30	-	1.20x10 ⁻⁶	Saturado/No saturado	Van Genunchten Mualem
		Relleno de presa de arranque	24.0	24.5	5	38	-	N/A	N/A	-	2.50x10 ⁻⁴	Saturado	-
		Dren basal (<i>Finger Drain</i>)	22.0	23.0	0	38	-	N/A	N/A	-	1.00x10 ⁻³	Saturado	-
	Relaves depositados	Relave <i>Overflow</i>	15.0	16.0	0	25	0.19	-	-	0.06	5.00x10 ⁻⁸	Saturado/No saturado	Kovac
		Relave <i>Feed</i>									1.68x10 ⁻⁷		
		Relave mezcla									1.66x10 ⁻⁷		
	-	Geomembrana	-	-	-	-	-	-	-	-	3.00x10 ⁻¹¹	Saturado	-
	Fundación	Suelo aluvial	21.0	23.0	0	39	-	N/A	N/A	-	ver Tabla N°3-5	Saturado	-
		Basamento rocoso	25.0	26.0	Impenetrable						k = 1.00x10 ⁻⁸ m/s		

Notas:

γ_d : Densidad Seca Promedio; γ_{sat} : Densidad Saturada; c': cohesión; ϕ' : ángulo de fricción; Su/ σ_v' : Razón de Resistencia No Drenada y k: Conductividad hidráulica

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS GEOTÉCNICO COMPARATIVO EN LOS MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN AGUAS ABAJO VS LINEA CENTRAL EN EL CASO DE ESTUDIO

El presente capítulo describe el análisis comparativo entre dos metodologías de construcción de la presa del caso de estudio: crecimiento aguas abajo (*downstream*) y línea central (*centerline*). La evaluación se ha realizado en términos de costos, seguridad de la presa (analizado mediante análisis de estabilidad física y filtraciones) y gestión de manejo de aguas. Se expone a su vez, las ventajas y desventajas de cada metodología de construcción, así como los riesgos de ambas opciones.

Para una evaluación consistente de ambas alternativas, se han establecido los criterios de evaluación indicados en la Tabla N°4-1.

Tabla N°4-1: Criterios de evaluación

Criterio	Unidades	Valor
Presa de arranque		
Ancho de cresta	m	15
Cota de la cresta	m s.n.m	1550
Altura	m	75
Talud aguas abajo	H: V	2.25
Talud aguas arriba	H: V	2.00
Recrecimiento línea central		
Ancho de cresta	m	50
Cota de la cresta	m s.n.m	1630
Altura (19 años)	m	~165
Talud aguas abajo	H: V	N/A
Talud aguas arriba	H: V	3.5:1
Recrecimiento aguas abajo		
Ancho de cresta	m	30
Cota de la cresta	m s.n.m	1630
Altura (19 años)	m	~165

Criterio	Unidades	Valor
Talud aguas abajo	H:V	2.25:1
Talud aguas arriba	H:V	3.5:1

Los criterios indicados en la Tabla N°4-1 se ilustran en la Figura N°4.1, donde se puede observar que se ha mantenido la ubicación de la presa de arranque (línea celeste), así como el talud aguas abajo de los recrecimientos de la presa. Además, se observa que la huella de la presa asociada al recrecimiento aguas abajo (línea azul) se extiende hasta 150 m más aguas abajo en comparación al recrecimiento en línea central (línea roja).

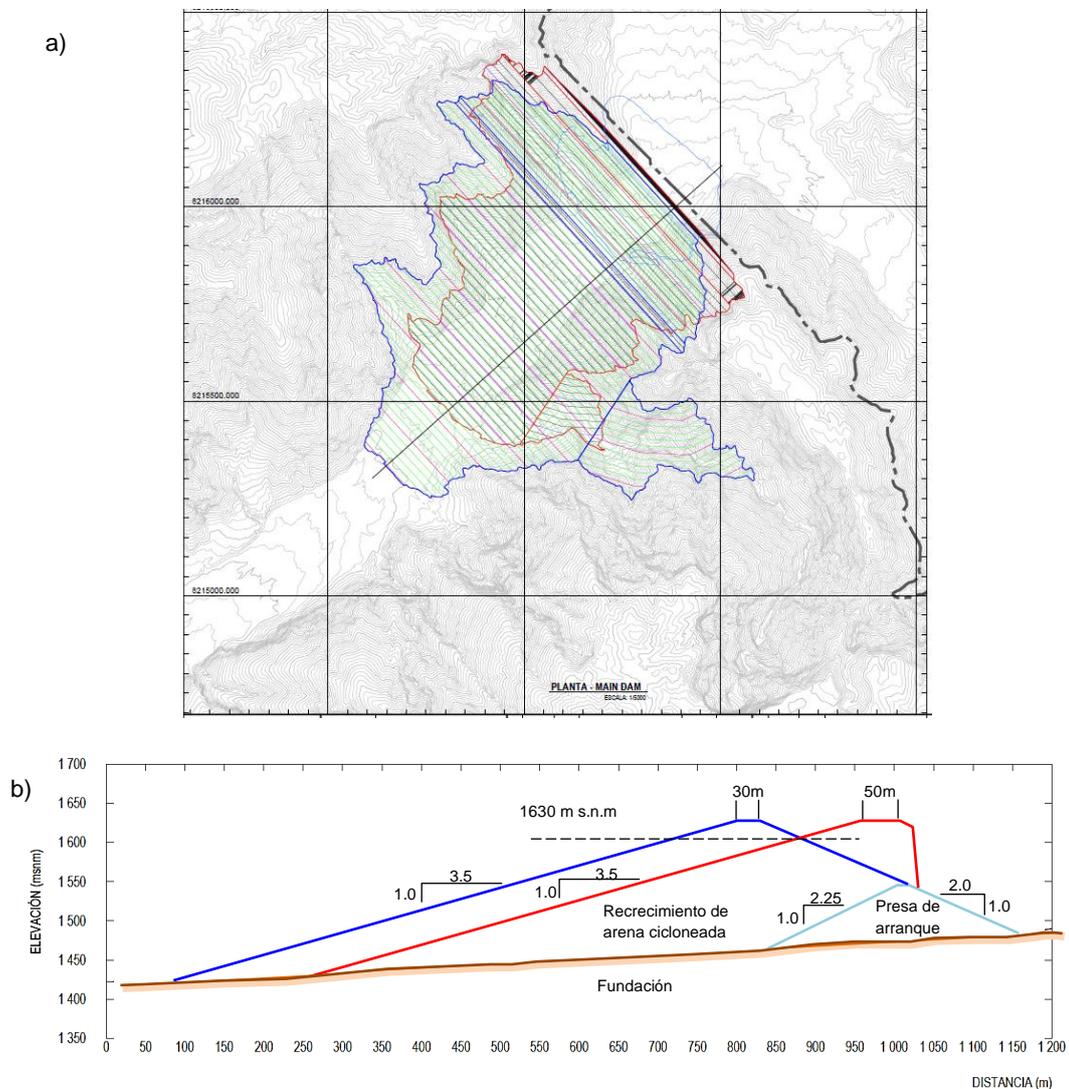


Figura N°4.1: Comparación geometría de métodos de construcción aguas abajo y línea central de la presa del caso de estudio a) vista en planta, b) sección transversal típica

Vistas en planta y detalles del diseño para cada caso se muestran en la Figura N°4.2 (construcción línea central) y Figura N°4.3 (construcción aguas abajo). En las siguientes secciones se discute a detalle el análisis comparativo.

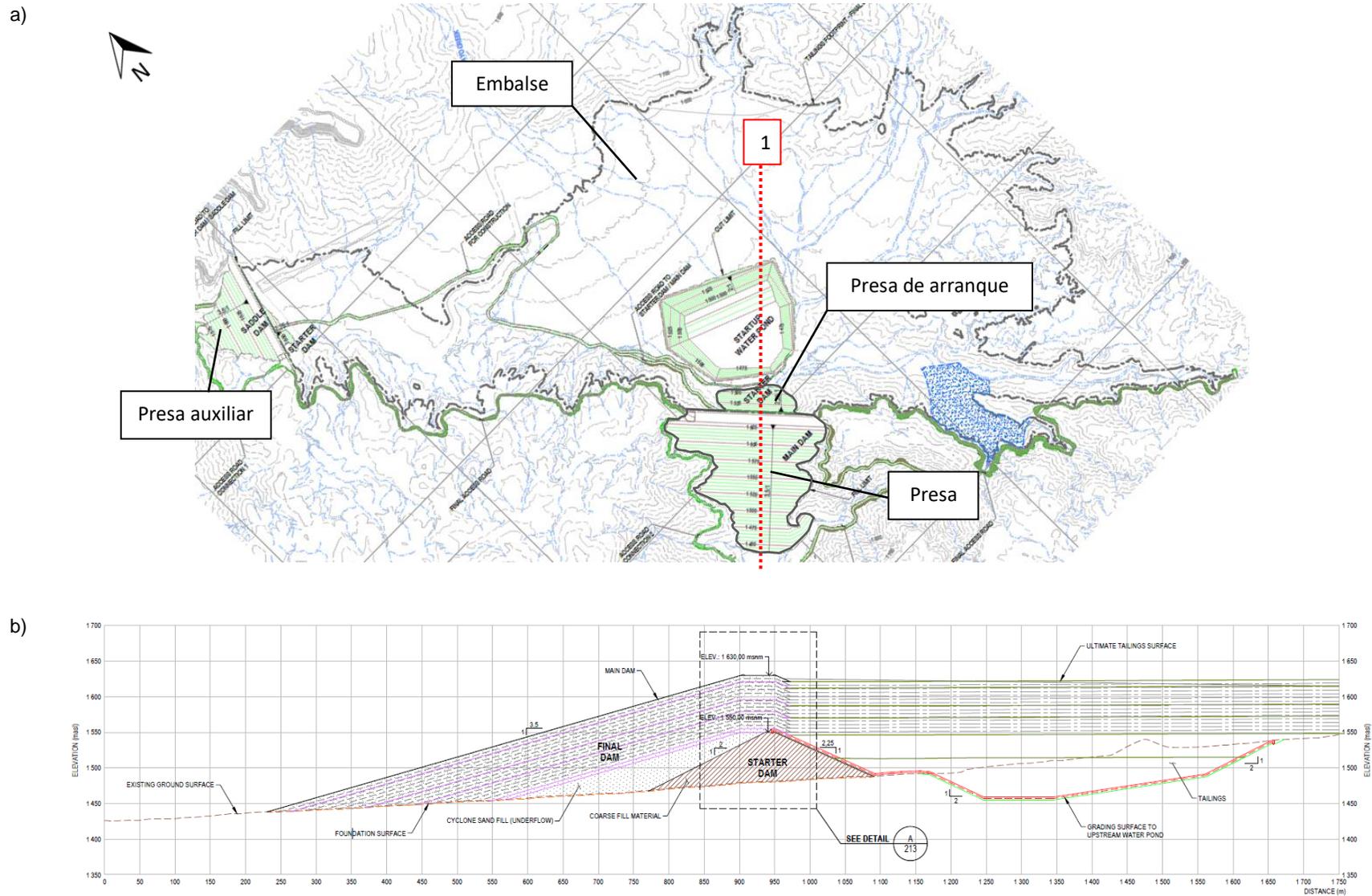
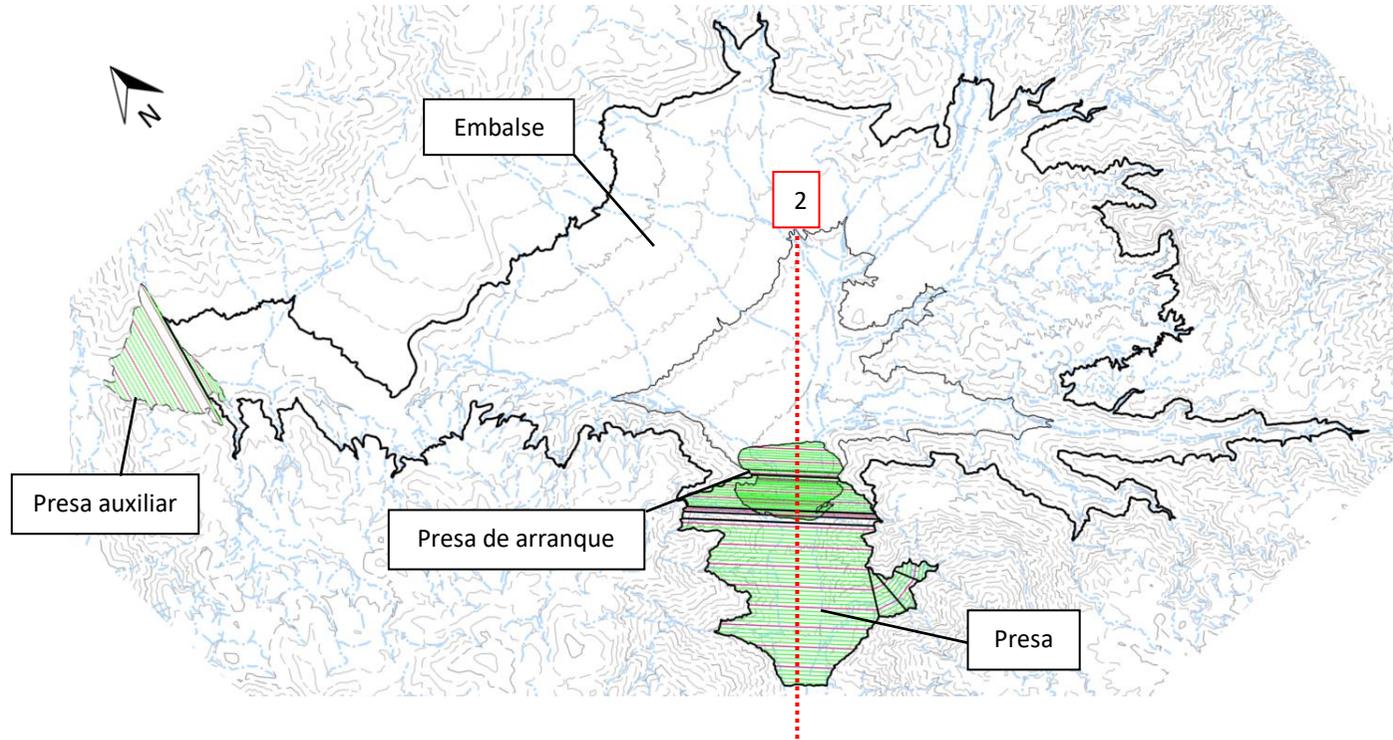


Figura N°4.2: Construcción línea central, a) vista en planta, b) sección transversal típica 1-1'

a)



b)

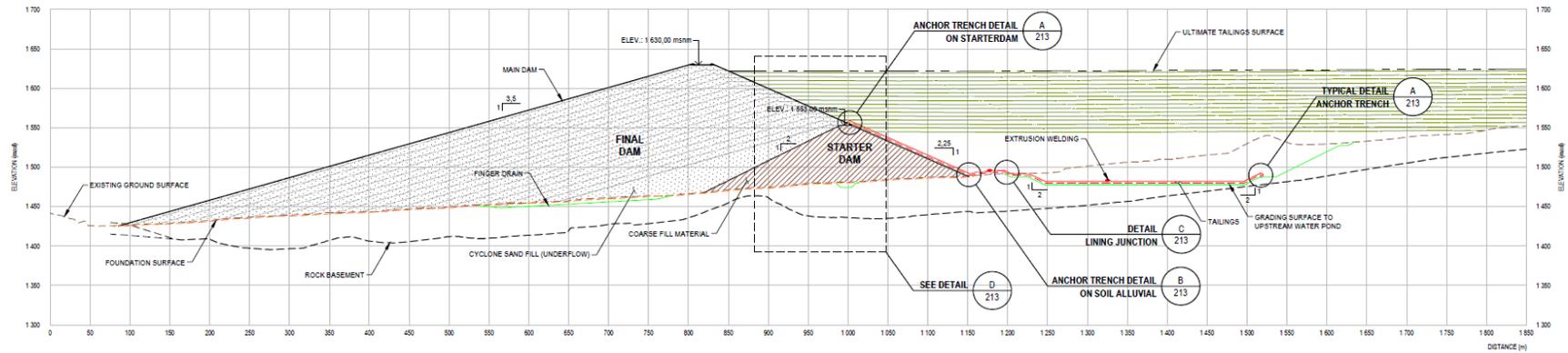


Figura N°4.3: Construcción aguas abajo, a) vista en planta, b) sección transversal típica 2-2'

4.1. COSTOS

Se ha identificado que el volumen de material utilizado para la construcción de la presa tipo aguas abajo es el que tendría mayor impacto en términos de costos. Considerando que la presa de arranque será la misma, independiente de la metodología de construcción utilizada, se han calculado los volúmenes de arena cicloneada (*underflow*) requerida para el recrecimiento de la presa en cada caso.

Se ha adoptado en base a las estimaciones de costos entregadas por la Unidad Minera y los lineamientos de experiencias pasadas en proyectos similares, un costo unitario de US\$ 10.00/m³ para la construcción de la presa de arranque y, de US\$ 2.00/m³ para la construcción de la arena de relaves cicloneada. Los costos totales calculados para cada caso se detallan en la Tabla N°4-2 (CAPEX inicial) y Tabla N°4-3 (CAPEX sostenido).

Tabla N°4-2: Comparación de CAPEX inicial

Métodos Utilizados	Material de Préstamo para la Presa de Arranque	Costo Unitario	Total
	(Mm ³)	(USD/m ³)	(M USD)
Línea central	3.20	10	32.0
Aguas abajo	3.20	10	32.0

Tabla N°4-3: Comparación de CAPEX sostenido

Métodos Utilizados	Volumen total de arena	Costo Unitario	Total
	(Mm ³)	(USD/m ³)	(M USD)
Línea central	24.78	2	49.6
Aguas abajo	36.04	2	72.1
Diferencia	-	-	22.5

De las tablas, se observa una diferencia de hasta USD 22.5 M, lo que implica hasta un 28% más de costo si se considera la construcción aguas abajo versus línea central.

4.2. ANÁLISIS DE FILTRACIONES

Se realizaron análisis de filtración 2D de acuerdo con el plan de disposición de los relaves. El principal objetivo de esta evaluación fue estimar la superficie freática en el embalse, presa y fundación; tanto para la configuración de la presa con crecimiento aguas abajo y línea central. Los resultados de estos análisis se utilizarán posteriormente en los análisis de estabilidad.

Los análisis de filtraciones se han realizado mediante el software SEEP/W 2021 (GeoStudio 2021). Este software resuelve ecuaciones de flujo en estado estacionario y condiciones transitorias utilizando el método de elementos finitos e incluyendo propiedades de materiales saturados – no saturados y determinadas condiciones de flujo y tiempo.

4.2.1.1. Secciones de análisis

Los análisis de filtraciones y estabilidad físicas consideraron secciones típicas para las dos condiciones de crecimiento de la presa como se muestran en la Figura N°4.5a (construcción línea central) y Figura N°4.5b (construcción aguas abajo).

Para los análisis de infiltración mediante elementos finitos, los modelos se discretizaron considerando elementos cuadrangulares como se muestra en la Figura N°4.4. Una mayor densidad del mallado se ha aplicado cerca la interfaz del elemento que representa la geomembrana la cual se colocará en la cara aguas arriba de la presa de arranque.

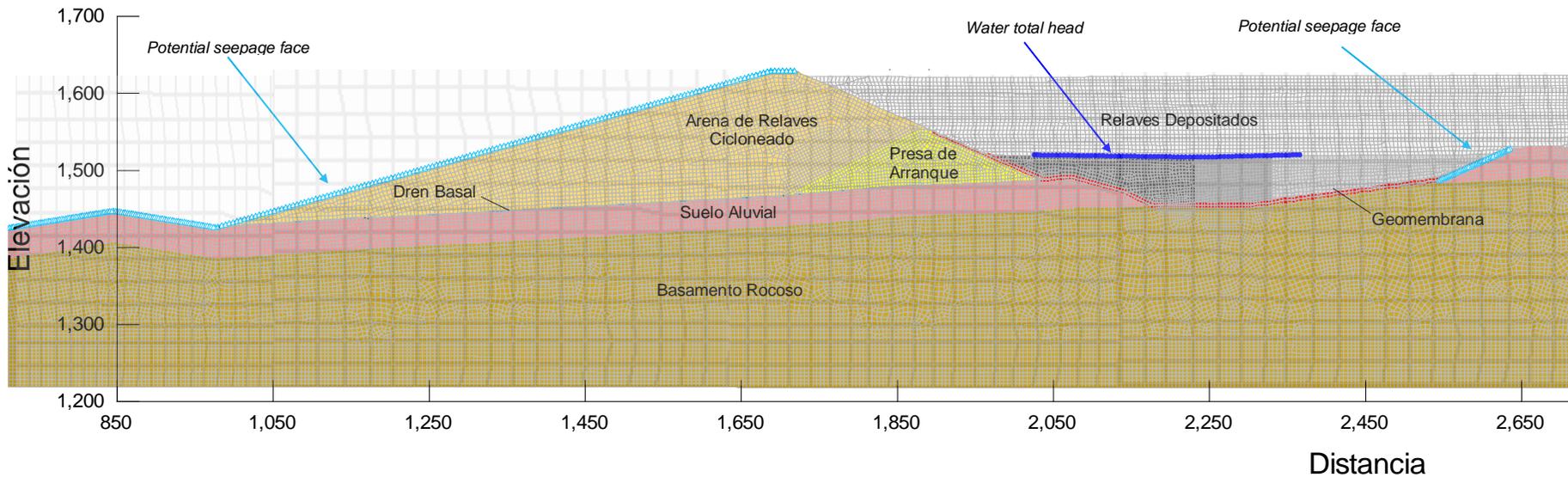


Figura N°4.4 : Modelo discretizado - Construcción aguas abajo

4.2.1.2. *Propiedades hidráulicas*

La caracterización de los parámetros hidráulicos de los materiales que conforman la presa del caso de estudio se ha detallado en el Capítulo III. Un resumen de los parámetros utilizados en los análisis de infiltración se muestra en la Tabla N°3-6.

4.2.1.3. *Condiciones de borde*

Ambos casos se modelaron mediante un análisis estacionario. El área del embalse se representó como una carga hidráulica constante total (*total head*) de 1 514.2 m s.n.m. Las condiciones de borde se indican en la Figura N°4.4.

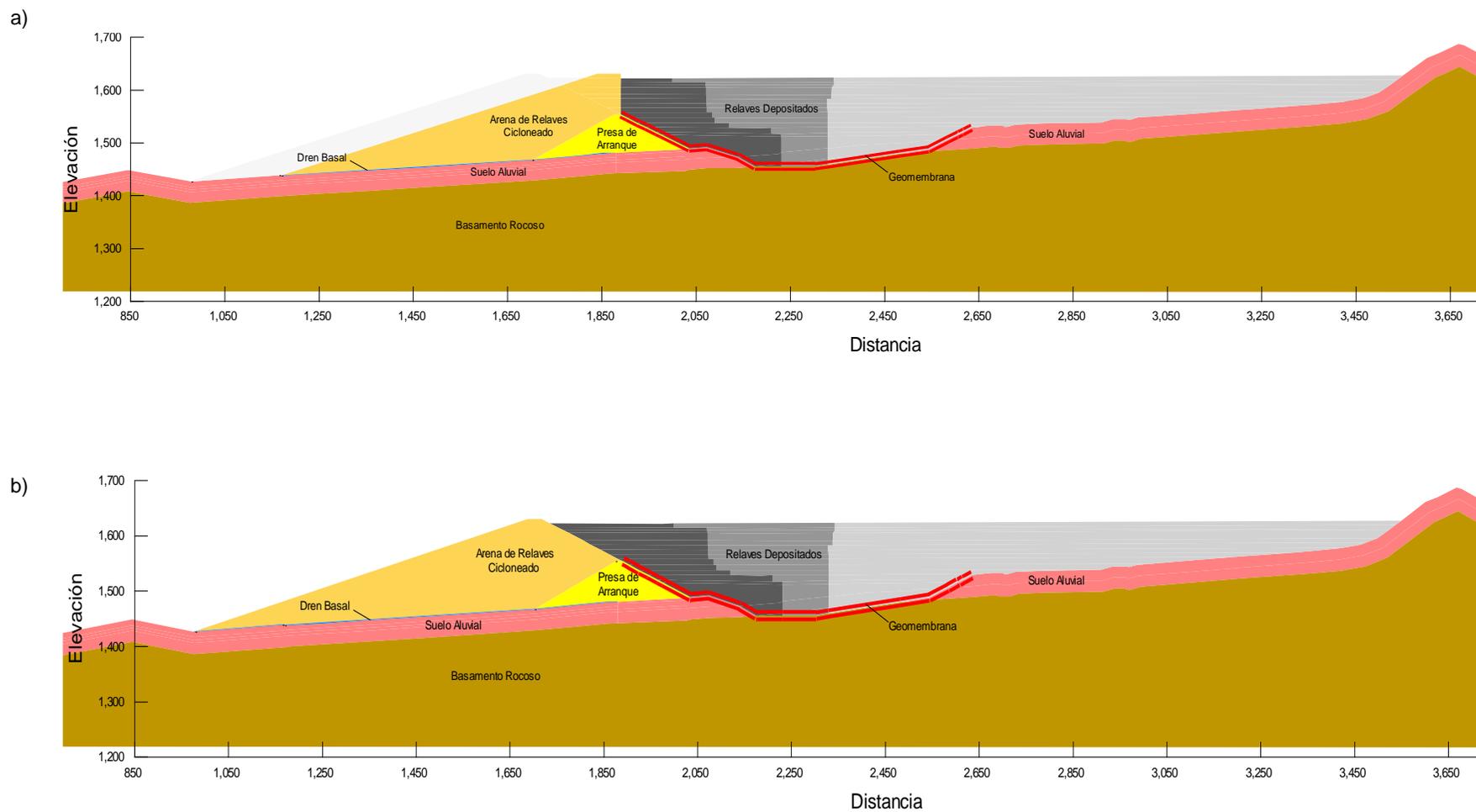


Figura N°4.5: Modelo geotécnico de la presa del caso de estudio, a) crecimiento en línea central, b) crecimiento aguas abajo

4.2.1.4. Superficie freática

La superficie freática resultante de los análisis llevados a cabo durante el período analizado se presenta en las Figura N°4.6 (crecimiento en línea central) y Figura N°4.7 (crecimiento aguas abajo).

Independiente del método de crecimiento de la presa, se puede observar que la superficie freática recorre la cara talud aguas arriba de la presa de arranque (impermeabilizada con geomembrana) y profundiza más de 40 m por debajo del basamento rocoso y suelo aluvial. Asimismo, no atravesaría ninguna región del cuerpo de la presa.

A pesar de la condición de no saturación del cuerpo de la presa, el diseño incluye un sistema de drenaje (dren basal) que se extiende en el fondo de valle de la cimentación de la presa, este sistema otorgaría una contingencia adicional en caso de flujos que atravesen el cuerpo de la presa. Cabe indicar que una premisa en la construcción y diseño de este tipo de estructuras es prevenir y evitar la saturación de las arenas de relave cicloneado o, al menos limitarlo a zonas muy restrictivas dado que podrían ser potencialmente licuables.

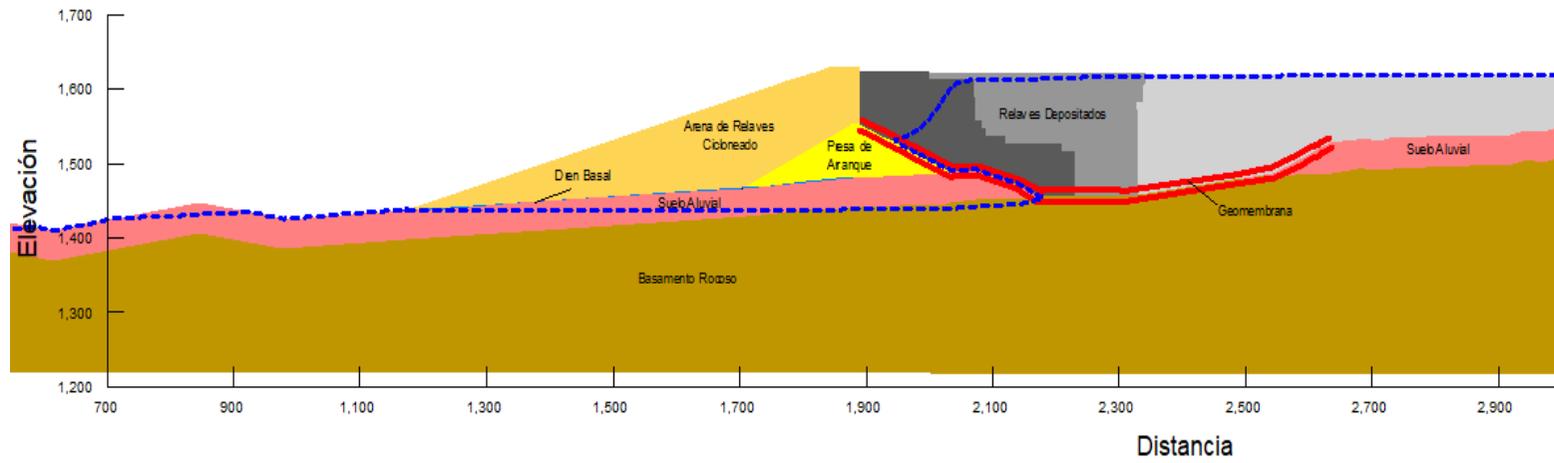


Figura N°4.6: Resultados de análisis de filtraciones – Crecimiento en línea central

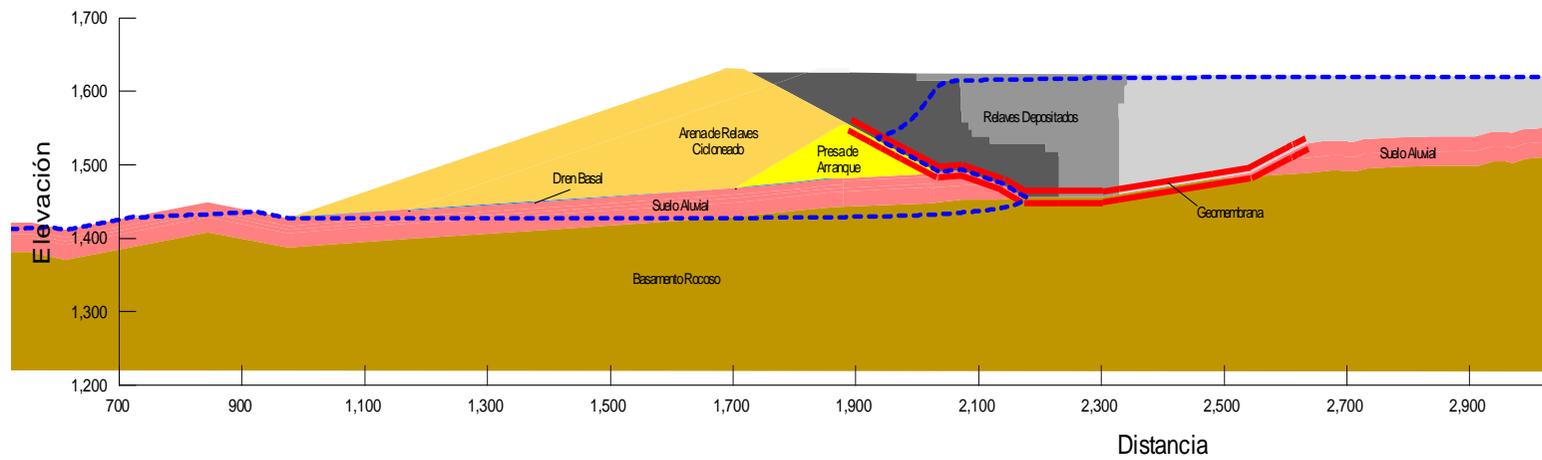


Figura N°4.7: Resultados de análisis de filtraciones – Crecimiento aguas abajo

4.3. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD FÍSICA

Los análisis de estabilidad física se realizaron para la etapa final de construcción de la presa (i.e., etapa 14). Considerando la categoría de consecuencia Extrema establecida para la presa del caso de estudio con base en la guía canadiense CDA (2019), la Tabla N°4-5 resume las bases y criterios de análisis para la evaluación de estabilidad de la presa en condiciones estáticas y pseudoestáticas.

Cabe mencionar que las simulaciones con el método pseudoestático consideraron un valor de coeficiente sísmico (k_h) calculado como 1/2 de la aceleración máxima esperada de diseño (Hynes-Griffin y Franklin, 1984), obteniéndose un k_h de 0.355 (1/2 de 0.71g).

Tabla N°4-4: Bases y criterios de análisis

Item		Bases de diseño	Fuente
1.1	Categoría de consecuencia	Extrema	CDA, 2019
1.2	Sismo de análisis	MCE (sismo máximo creíble)	CDA, 2019
1.3	Aceleración horizontal del terreno (PGA)	0.71 g	Estudio de peligro sísmico específico para la presa (ver Sección 3.1.3)
Item		Criterios de diseño	Fuente
2.1	Min. FS Estático	1.5	CDA, 2019; MEM, 2014
2.2	Min. FS Pseudoestático	1.0	CDA, 2019; MEM, 2014

Siglas: CDA: Canadian Dam Association, MEM: Ministerio de Energía y Minas

4.3.1.1. Secciones de análisis

Los modelos geotécnicos correspondientes a las secciones 2D se presentan en la Figura N°4.5. La sección seleccionada representa la mayor altura de la presa (~165m) y por tanto una condición más crítica.

4.3.1.2. Presiones de poro

Las presiones de poro consideradas para los análisis de estabilidad fueron adoptadas de los análisis de filtraciones descritos en la sección anterior.

4.3.1.3. Metodología de análisis

Los análisis de estabilidad 2D se llevaron a cabo empleando el programa de cómputo Slope/W v.2021.3 (GeoStudio 2021). Asimismo, se ha empleado el método de equilibrio límite y el factor de seguridad crítico se ha calculado considerando la metodología propuesta por Morgenstern & Price (1965).

4.3.1.4. Parámetros geotécnicos

El detalle de la estimación de los parámetros geotécnicos se presenta en el Capítulo 3. El resumen de los parámetros de los materiales considerados para los análisis de estabilidad 2D es presentado en la Tabla N°3-6.

Cabe indicar que, en concordancia con los hallazgos de la caracterización geotécnica, solo se asignaron resistencias no drenadas a los relaves depositados con potencial de pérdida de resistencia. En el resto de las unidades geotécnicas, las propiedades drenadas se mantuvieron en las condiciones de análisis estáticas y pseudoestáticas.

4.3.1.5. Condiciones de análisis

Las condiciones de análisis consideradas para la evaluación de la estabilidad de la presa involucran los siguientes componentes:

- Condición de carga: Se han considerado dos condiciones de carga:
 - Estático: El área encerrada entre la cara del talud y la superficie de falla, conocida como masa de falla, se subdivide en una serie de cortes (dovelas) que luego son analizadas para evaluar el equilibrio (método de equilibrio límite), en este caso en condiciones estáticas.
 - Pseudoestática: Se utiliza un coeficiente horizontal (sísmico), k_h , para representar la fuerza horizontal causada por un posible sismo. Esta fuerza se añade a las dovelas individuales que componen la superficie de falla y se recomputa el equilibrio del sistema.
- Cabe indicar que no se han considerado análisis post-sísmicos dado que los materiales potencialmente licuables (i.e., relaves depositados u overflow) están confinados en la zona aguas arriba del depósito de relaves lo que minimiza sus efectos en la estabilidad post-sísmica.

- Zona de la falla: Se han evaluado principalmente superficies de falla en dirección aguas abajo y aguas arriba.

4.3.1.6. Resultados de análisis de estabilidad

Los análisis de estabilidad física se llevaron a cabo bajo las condiciones de análisis indicadas en la sección anterior. Los resultados de factores de seguridad (FS) del análisis de estabilidad 2D son mostrados en el Anexo A y también son resumidos en la Tabla N°4-6.

Tabla N°4-5: Resumen de factores de seguridad (FS) de los análisis de estabilidad

Configuración	Condición de carga	Zona de la falla	Factor de seguridad (FS)
Línea central	Estático	Aguas abajo	2.4^(*)
			2.4
			2.5
			2.4
		Aguas arriba	4.0
			2.3^(*)
	Pseudoestático	Aguas abajo	1.0^(*)
			1.0
			1.0
			1.0
		Aguas arriba	1.2
			1.1^(*)
Aguas abajo	Estático	Aguas abajo	2.7
			2.6
			2.6
			2.4^(*)
		Aguas arriba	5.0
			5.6
			4.6^(*)
	Pseudoestático	Aguas abajo	1.1

Configuración	Condición de carga	Zona de la falla	Factor de seguridad (FS)
			1.1
			1.1
			1.0^(*)
		Aguas arriba	1.2^(*)
			1.3
			1.4

Nota: (*) Los números en negrita representan los valores mínimos obtenidos de factores de seguridad (F.S) según la zona de falla.

Los análisis de estabilidad física demuestran que para la mayoría de los escenarios ambos tipos de presas cumplen con los criterios estipulados por la CDA y MEM. Sin embargo, considerando los resultados de estabilidad en la condición pseudoestática y falla en la zona aguas arriba, se puede notar un menor FS para la geometría de línea central; esto no representaría un escenario de inestabilidad, en cambio, indicaría que la presa construida con un método de línea central es más susceptible a deformaciones sísmicas. Cabe resaltar que este resultado es consistente con resultados de casos de estudio similares, como el presentado por Figueroa et al. (2017).

Cuando el factor de seguridad del análisis pseudoestático calculado es menor que uno, algunos ingenieros modifican el diseño de la presa o las medidas de estabilización del diseño. Esta no es la aplicación prevista del método pseudoestático.

En cambio, el próximo paso debería ser calcular las deformaciones utilizando métodos simplificados para comprender las deformaciones esperadas.

Si la deformación calculada utilizando métodos simplificados tampoco es aceptable para la presa, entonces se llevará a cabo un modelado de deformación avanzado. (CDA,2019).

4.4. MANEJO DE AGUAS

Un tema importante en el diseño y operación de presas de relaves de arena cicloneada es la gestión del flujo de diseño (*Inflow Design Flood, IDF*), en términos

de almacenamiento. Basado en experiencias similares al caso de estudio, para el caso de recrecimiento de línea central, el control es más crítico dado que el crecimiento de la presa (con relaves *overflow*) y el ratio de depositación de relaves (*underflow*) están estrechamente relacionados. En cambio, en la construcción aguas abajo, la dependencia de la razón de depositación de relaves dentro del embalse es menor y, por tanto, el manejo de aguas (IDF) es menos crítico.

4.5. PRODUCCIÓN DE ARENA

Dado que se requiere arena adicional para el crecimiento aguas abajo en comparación con la línea central, es requerido evaluar la disponibilidad de la producción de arena frente a la demanda para el crecimiento de la presa. Para el caso de la presa del caso de estudio, se ha considerado esta evaluación año a año como se ilustra en la Figura N°4.20. Como se observa en la figura, la oferta de arena es suficiente indistintamente del método de construcción de la presa.

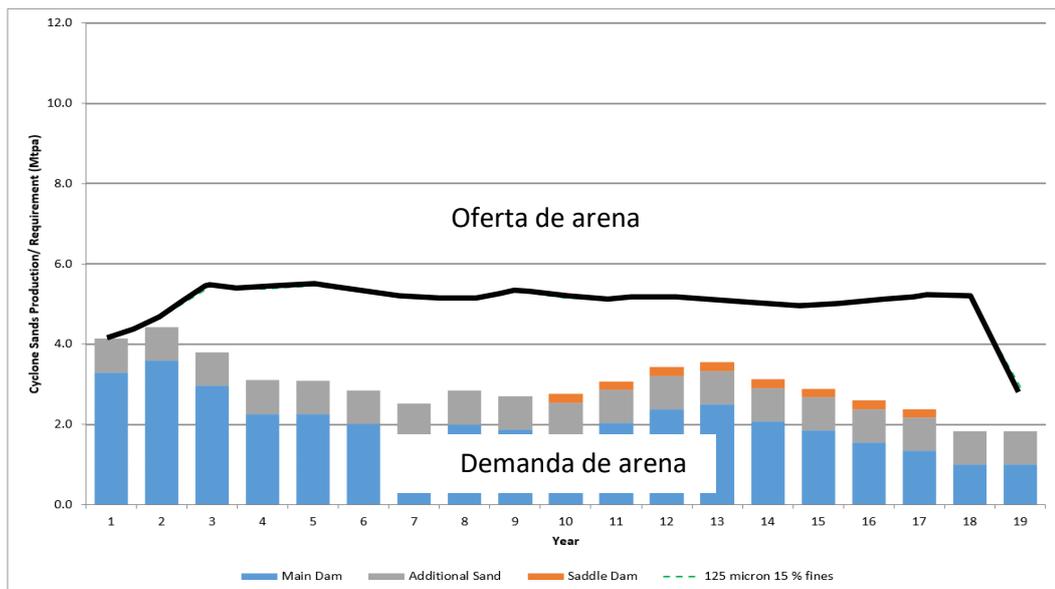


Figura N°4.8: Producción de arena cicloneada y requerimiento a lo largo de la vida útil de la presa

4.6. COMPORTAMIENTO DINÁMICO

A pesar de que no se ha comparado el comportamiento dinámico de la estructura del caso de estudio. Se tienen antecedentes en literatura (Figuroa et al., 2017) que muestran una mayor susceptibilidad a deformaciones (especialmente en el pie y cresta) de una presa con crecimiento de línea central en comparación a una presa aguas abajo (ver Figura N°4.21).

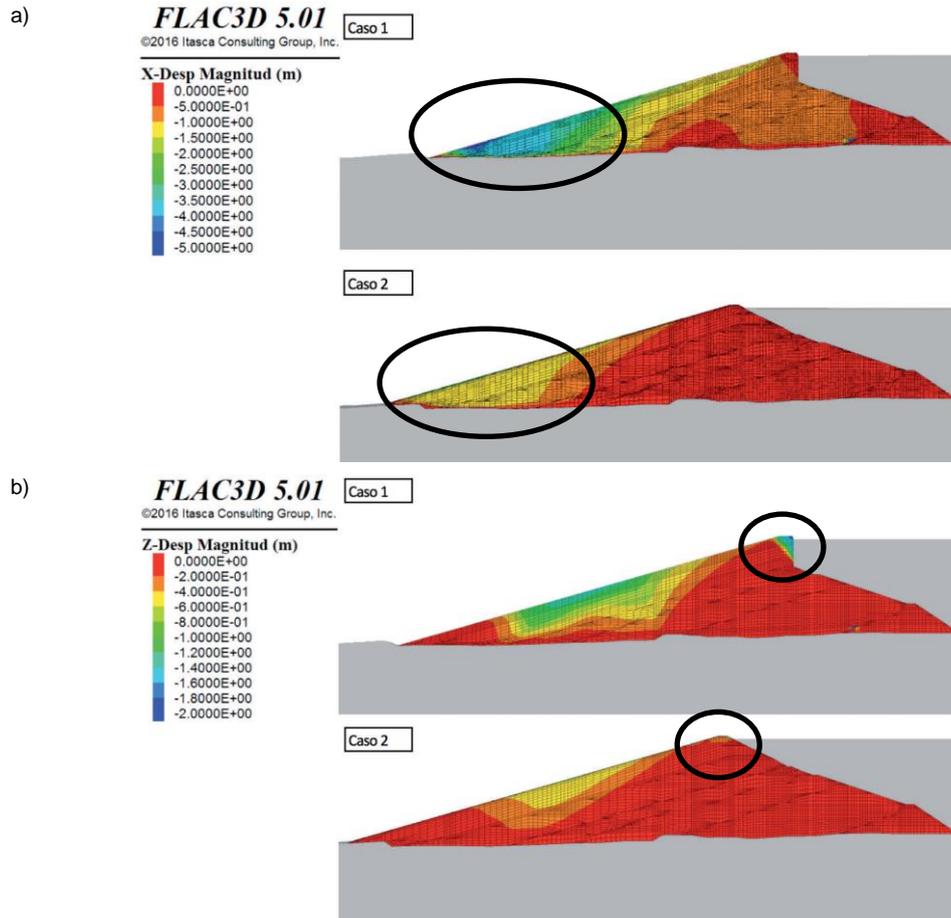


Figura N°4.9: Comparación del comportamiento sísmico de una presa de arena cicloneada con construcción línea central (caso 1) y aguas abajo (caso 2), a) deformaciones sísmicas horizontales, b) deformaciones sísmicas verticales

Fuente: Figueroa et al., 2017

Está claro que el riesgo inherente asociado con una estructura recrecida aguas abajo es menor en comparación con una construcción en la línea central. Sin embargo, el método de elevación de la línea central está bien probado, incluso bajo condiciones sísmicas significativas, y puede cumplir con las normas y directrices aplicables en términos de seguridad de presas como se ha demostrado en la presente investigación.

CONCLUSIONES

Con base en los análisis del caso de estudio y revisión bibliográfica, se tienen las siguientes conclusiones:

- El análisis comparativo del método de construcción (aguas abajo y línea central) de la presa de relaves cicloneados de gran altura del caso de estudio, se ha efectuado comparando los siguientes aspectos técnicos: análisis de estabilidad, análisis de infiltración, manejo de aguas y costos. Los resultados obtenidos indican que ambos métodos de construcción son factibles bajo los aspectos técnicos estudiados. Sin embargo, es necesario resaltar que estos aspectos no son los únicos que deben de evaluarse durante el proceso de selección de un método de construcción. Aspectos ambientales, sociales, riesgos, entre otros; son también relevantes para la evaluación de ambas alternativas.
- Los factores de seguridad obtenidos de los análisis de estabilidad física para ambos métodos de construcción son generalmente satisfactorios a los criterios recomendados por la CDA y MEM.
- En base a los resultados del análisis de estabilidad de taludes, se ha observado que los factores de seguridad del método de construcción aguas abajo son generalmente mayores en comparación al método de línea central.
- Para el caso de estudio, se ha observado que independiente del método de crecimiento de la presa, las superficies freáticas obtenidas son similares en tendencias. El nivel freático no atraviesa ninguna región del cuerpo de la presa, dado que se ha considerado la colocación de geomembrana en la cara del talud aguas arriba.
- La gestión y control del flujo de diseño (*Inflow Design Flood*, IDF) para el caso de recrecimiento de línea central es más crítico dado que el crecimiento de la presa (con relaves *overflow*) y el ratio de depositación de relaves (*underflow*) están estrechamente relacionados. Por otro lado, en la construcción aguas abajo, la dependencia de la razón de depositación de relaves dentro del embalse es menor y, por tanto, el manejo de aguas (IDF) es menos crítico.

- La construcción de la presa tipo aguas abajo aumentaría el CAPEX en 28% más en comparación con la presa tipo de línea central durante la vida útil del TSF. Esto debido a un aumento del volumen de arena de relaves en más de un 45%. Esta diferencia podría afectar el cronograma de implantación de la estructura.
- Mediante el caso de estudio presentado en la presente tesis, se ha destacado la aplicación de estructuras de relaves conformados por arena cicloneada. Demostrándose que este tipo de soluciones puede atender proyectos mineros de gran envergadura donde es esperado estructuras de contención de relaves de gran altura. En particular, el caso de estudio es proyectado para almacenar ~430 Mt de relaves y para una altura final de 165 m. Otros casos de la literatura técnica también fueron revisados, con similar tamaño de estructura.
- En el Perú existen pocas presas de relaves cicloneados de gran altura, el tipo de tecnología es relativamente nueva en nuestro país y generalmente es considerada una opción favorable en operaciones mineras de gran porte (p.e., Cerro Verde en Arequipa, Mauro en Chile, etc.). La presente tesis tuvo como propósito poder servir como referente para estudios posteriores en estructuras similares e incrementar los casos de estudio de este tipo de construcción geotécnica.

RECOMENDACIONES

- Una de las limitaciones de la presente tesis fue que el análisis comparativo solo se enfocó en los siguientes aspectos técnicos: análisis de estabilidad, análisis de infiltración, manejo de aguas y costos. Por tanto, se recomienda realizar la selección del tipo de recrecimiento de la presa, tomando en cuenta también otros factores como los aspectos sociales, medioambientales y entre otros.
- La presente tesis no ha abordado aspectos técnicos relacionados al comportamiento dinámico, cálculo de deformaciones y potencial de licuación de la presa de relaves cicloneados de gran altura. Se recomienda que estos aspectos deben también ser considerados en próximos estudios de evaluación de selección del método de construcción (aguas abajo o línea central) de la presa de relaves cicloneados.
- Se recomienda realizar un estudio de rotura de presa, que permita estimar las consecuencias aguas abajo en la población e infraestructuras que podrían ser afectados, tomando como base una distancia peligrosa del flujo recorrido ante una hipotética rotura de la presa.
- La parte fundamental y crítica para realizar un análisis comparativo es la caracterización geotécnica de los materiales y del sitio de estudio. Es necesario contar con una base de datos consistente que contemple mapeos geológicos, investigaciones geotécnicas, ensayos de campo y ensayos de laboratorio (estándares y especiales).
- En la presente tesis no todos los materiales contaron con los ensayos de laboratorio requeridos (p.e, ensayos triaxiales) para la caracterización como por ejemplo los relaves finos (*Overflow*), por lo que se optó por basarse en literatura. Por lo tanto, se recomienda estudiar las propiedades geotécnicas en todos los materiales que componen la estructura, con el fin de calibrar los modelos de análisis de estabilidad y reevaluar los resultados.
- Es clave para el diseño de la presa especificar un contenido máximo de finos e identificar los sistemas de ciclones a utilizar de acuerdo con los requerimientos

propios de cada proyecto, con el fin de favorecer un drenaje rápido y poder mantener el nivel freático bajo.

- Se recomienda que este tipo de análisis comparativo de los métodos constructivos aguas abajo y línea central, se evalúen también con otros tipos de materiales, por ejemplo, considerando materiales de préstamo de tierra y/o enrocados.
- En base al análisis geotécnico comparativo realizado con solo los puntos revisados (análisis de estabilidad, análisis de filtración, costos y manejo de aguas). Se recomienda el método de construcción aguas abajo de la presa de relaves cicloneados, ya que presenta un mejor comportamiento estático, pese a que sea más costoso respecto al otro método analizado (línea central). Cabe indicar que en caso por particularidades del proyecto no se pueda seleccionar este método (aguas abajo), también es factible el método de construcción línea central, pero implicaría un análisis más exhaustivo en el comportamiento dinámico de la presa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANM. (2019), National Mining Agency.

Ausenco Perú (2018). "Seismic Hazard Assessment TMF".

Barrera.S et al. (2011). "Sand Tailings Dams: Design, Construction and Operation". Proceedings Tailings and Mine Waste 2011.

Braja M. Das. (2016) Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 4ta edición.

Brawner, et al., (1973) "The Tailings Structure and its Characteristics - A Soil's Engineer's Viewpoint." In: Tailings Disposal Today, Proceedings of the First International Tailings Symposium, Tucson, Arizona, October 31, November 1, 2 and 3, 1977. C.L. Aplin and G.O. Arsell Jr. (Editors).

Campaña et al., (2015) "Permeability and consolidation parameters in tailings treated with seawater". XV Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Buenos Aires.

Campaña, J. (2011) "Comportamiento de arenas de relave a altas presiones". Thesis of master's degree in Engineering Sciences specialized in Geotechnical Engineering, University of Chile (in Spanish)

Carter & Bentley (2016), Soil properties and their correlations, U.K

CDA. (2019). Canadian Dam Association, Association Canadienne des Barrages.

Figuroa et al, (2017). Comportamiento sísmico de presas de relaves construidas aguas abajo y línea central. Obras y Proyectos 21, 30-37

GeoStudio (2021), Geo-Slope International, Ltd.

Gibson, R. E., (1953). Experimental determination of the true cohesion and true angle of internal friction in clays. Proceedings of 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Zurich, 126–130.

Global Industry Standard on Tailings Management (GISTM), 2020.

Hynes-Griffin y Franklin, (1984). "Rationalizing the Seismic Coefficient Method," Miscellaneous Paper GL-84-13, US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg.

IBC, (2015). Código Internacional de Construcción.

ICOLD, (2001). "Tailings dams – risk of dangerous occurrences". Bulletin 121

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET,1982). Inventario nacional de sustancias no metálicas: Anexo III - Relación de yacimientos.

Kovacs, G. (1981), Seepage Hydraulic.

Mesri, G., (1975). "New Design Procedure for Stability of Soft Clays." Discussion, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 101, GT4 (1975): pp. 409 - 412.

Ministerio de Energía y Minas (MEM,2014). Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para las Actividades de Explotación, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento Minero.

Mittal,H. y Morgenstern,N.,(1977). "Design and Performance of Tailings Dams", ASCE Conference on Geotechnical Practice for Disposal of Solid Waste Materials, University of Michigan.

Morgenstern,N. & Price,V. (1965). "The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces".

Obermeyer, J. and Alexieva, T. (2011) "Design, construction and operation of a large centerline tailings storage facility with high rate of rise". Proc. Tailings and Mine Waste, Vancouver.

Rico et al, (2008) "Reported tailings dam failures. A review of the European incidents in the worldwide context", Journal of Hazardous Materials, pp. 846–852.

Skempton, A. (1957), Discussion: Further data on the c/p ratio in normally consolidated clays, Proceedings of the Institution of Civil Engineers

Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE / SEI 7-10), 2013.

Valenzuela, L. (2016). "Design, construction, operation and the effect of fines content and permeability on the seismic performance of tailings sand dams in Chile", *Obras y Proyectos* 19, pp. 6-22.

Valenzuela, L. y Campaña, J. (2008). *Geotechnical Challenges in the Mining Industry: The Case of High Tailings Dams and Waste Rock Dumps*. COBRAMSEG 2008. Buzios, Brasil.

Van Genuchten, M. Th. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal* 44:892-898.

Vick, S.G. (1990). *Planning, design and analysis of tailings dams*. John Wiley & Sons.

Villanueva, A. (2006). "Diseño de Presa de Relaves Alpamarca y el uso de materiales de mina como cuerpo de presa", Tesis de Grado, UNI-FIC, Lima, Perú.

Villavicencio et al., (2013). "Failure of sand tailings dams in a highly seismic country", *Canadian Geotechnical Journal* 51(4), pp. 449-464

World Information Service on Energy (WISE, 2018). *Chronology of major tailings dam failures*.

Znidarčić et al., (2011). "Consolidation Testing of Oil Sand Fine Tailings".

Zongjie.L et al., (2019). "A comprehensive Review on Reasons for Tailings Dam Failures Based on Case History".

ANEXOS

ANEXO A

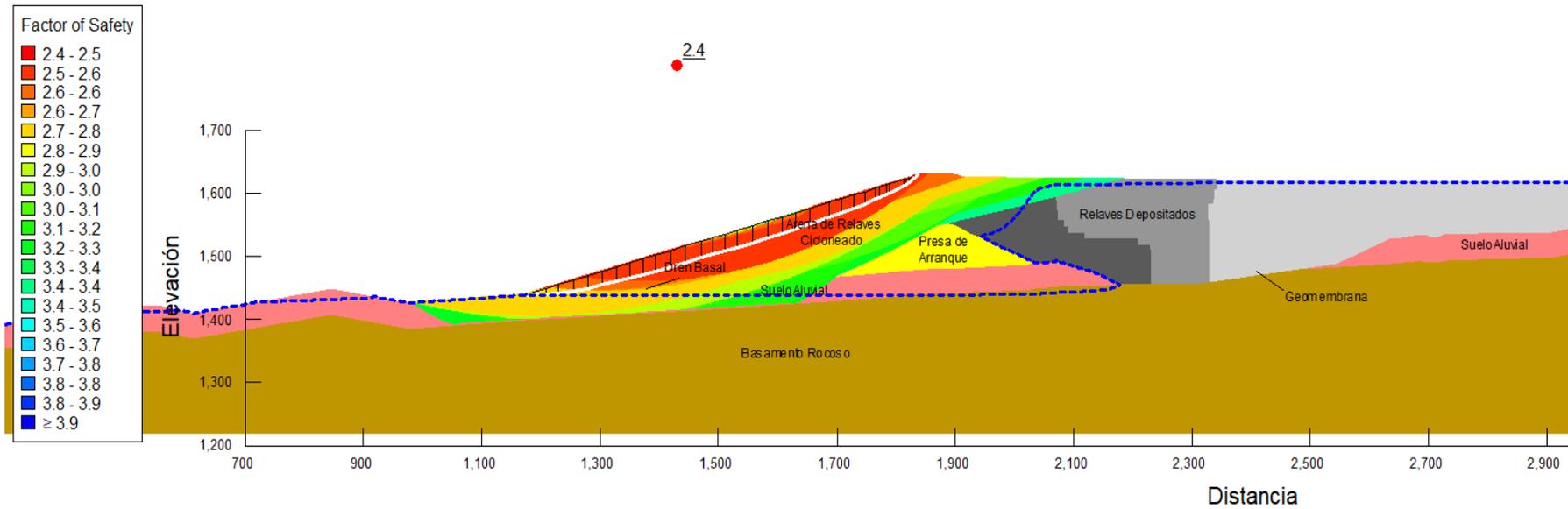
Análisis de estabilidad

(Metodología de Morgenstern & Price (1965) - Slope/W v.2021.3 (GeoStudio 2021)).

Resultados de análisis de estabilidad

Crecimiento línea central – Falla I

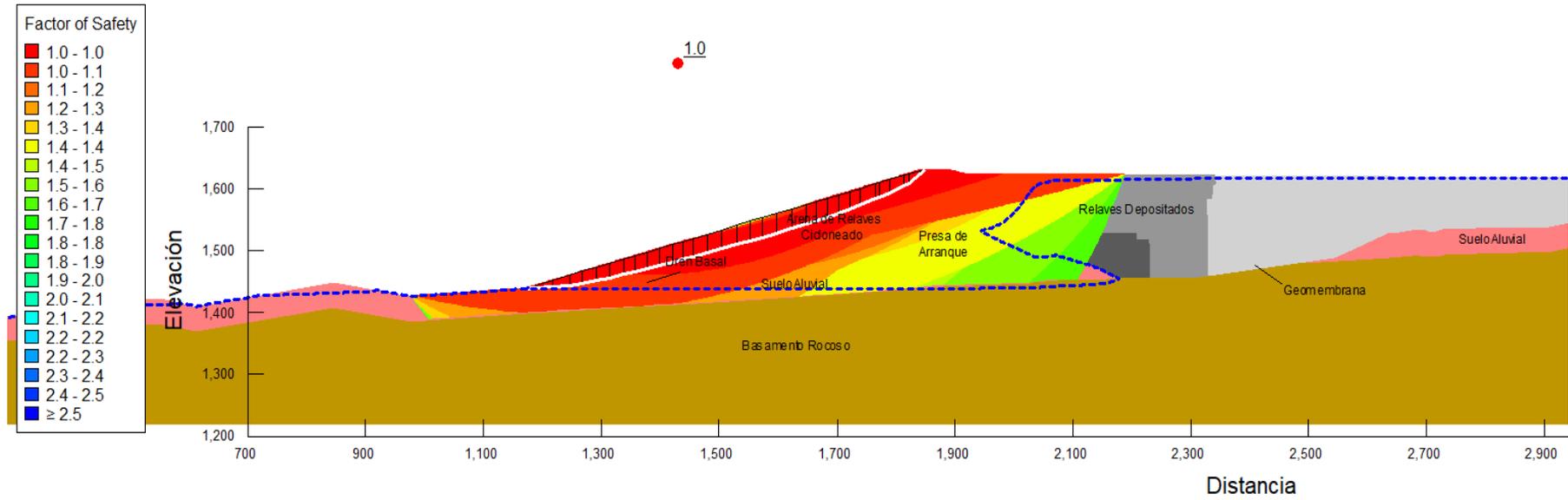
a) Estático y falla aguas abajo



Resultados de análisis de estabilidad

Crecimiento línea central – Falla I

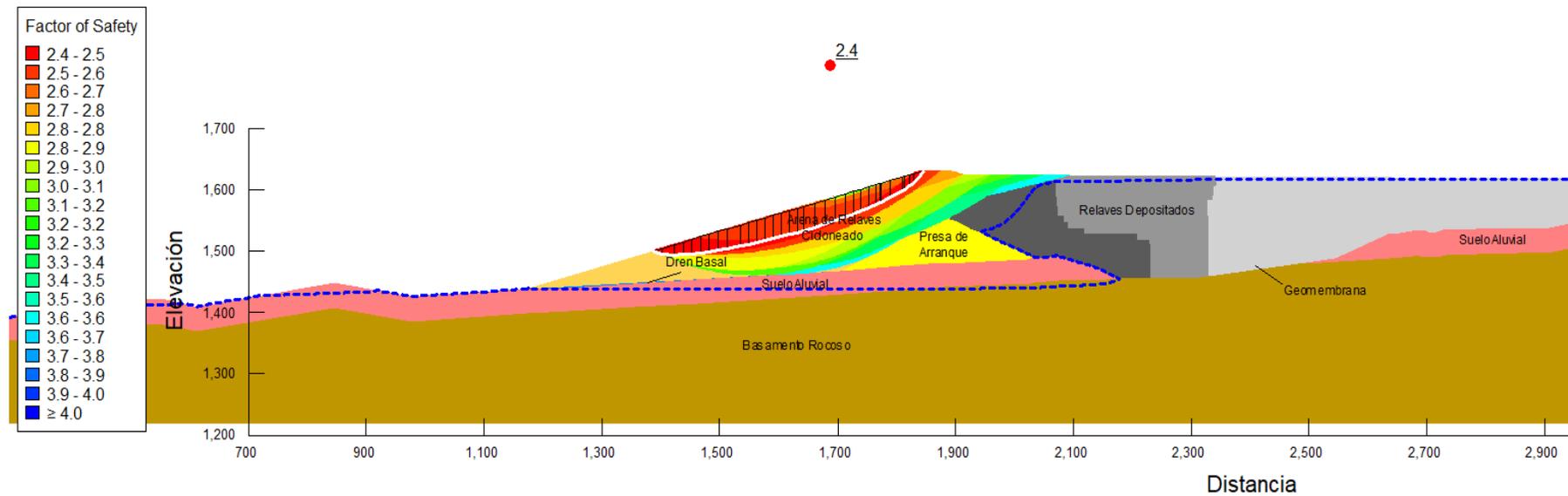
b) Pseudoestático y falla aguas abajo



Resultados de análisis de estabilidad

Crecimiento línea central – Falla II

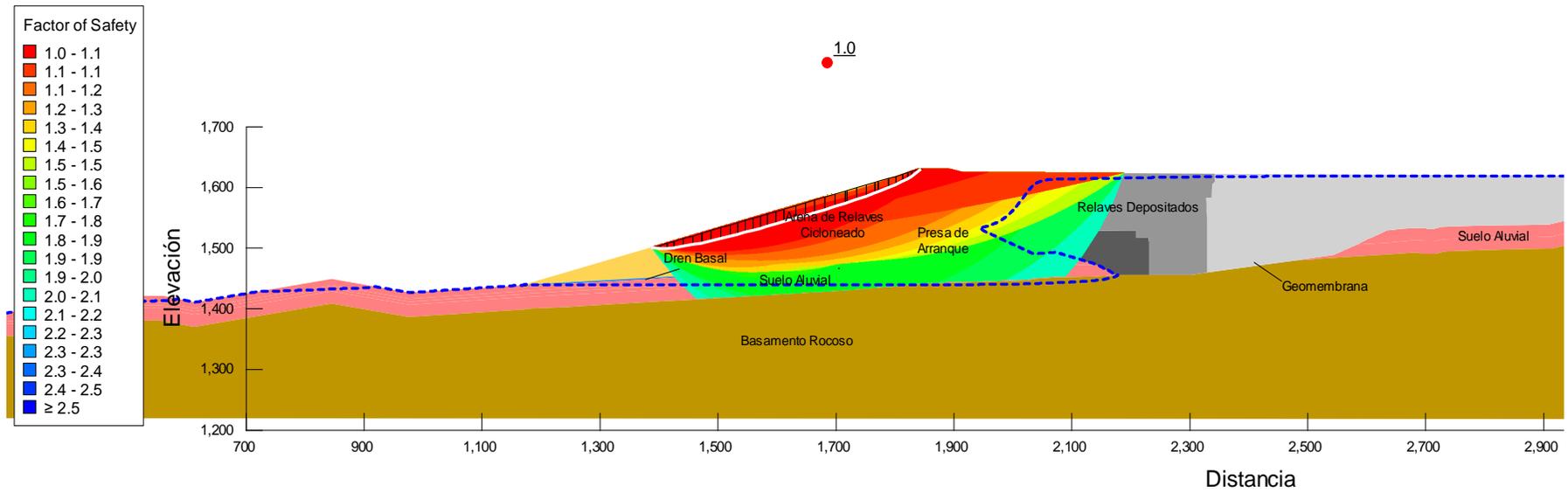
a) Estático y falla aguas abajo



Resultados de análisis de estabilidad

Crecimiento línea central – Falla II

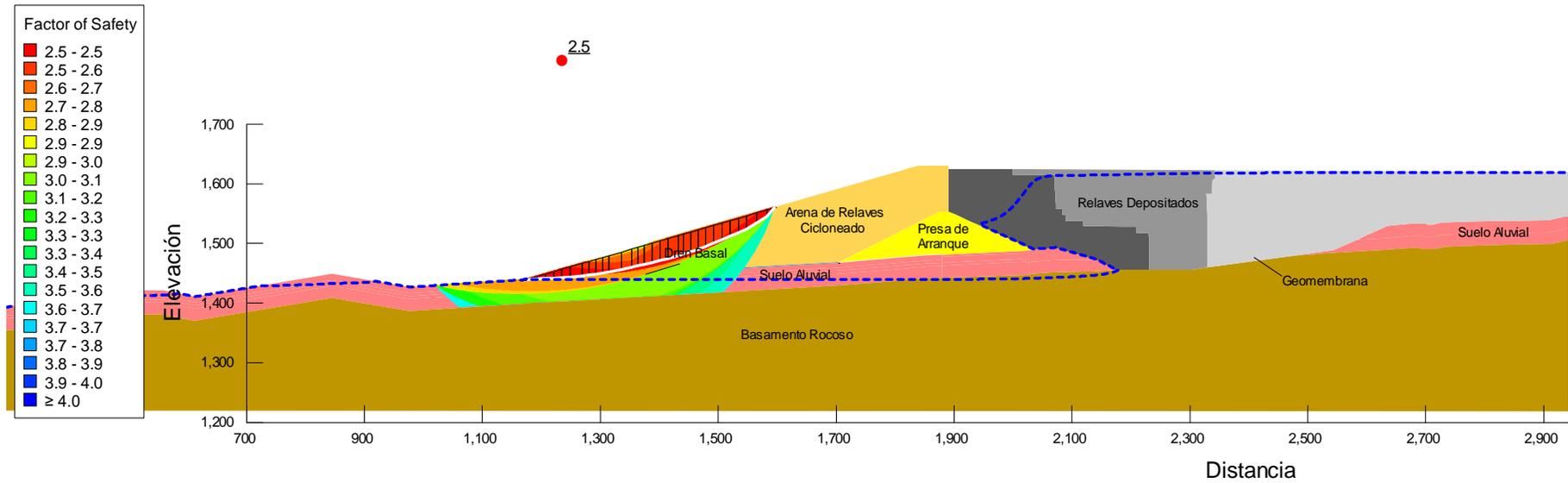
b) Pseudoestático y falla aguas abajo



Resultados de análisis de estabilidad

Crecimiento línea central – Falla III

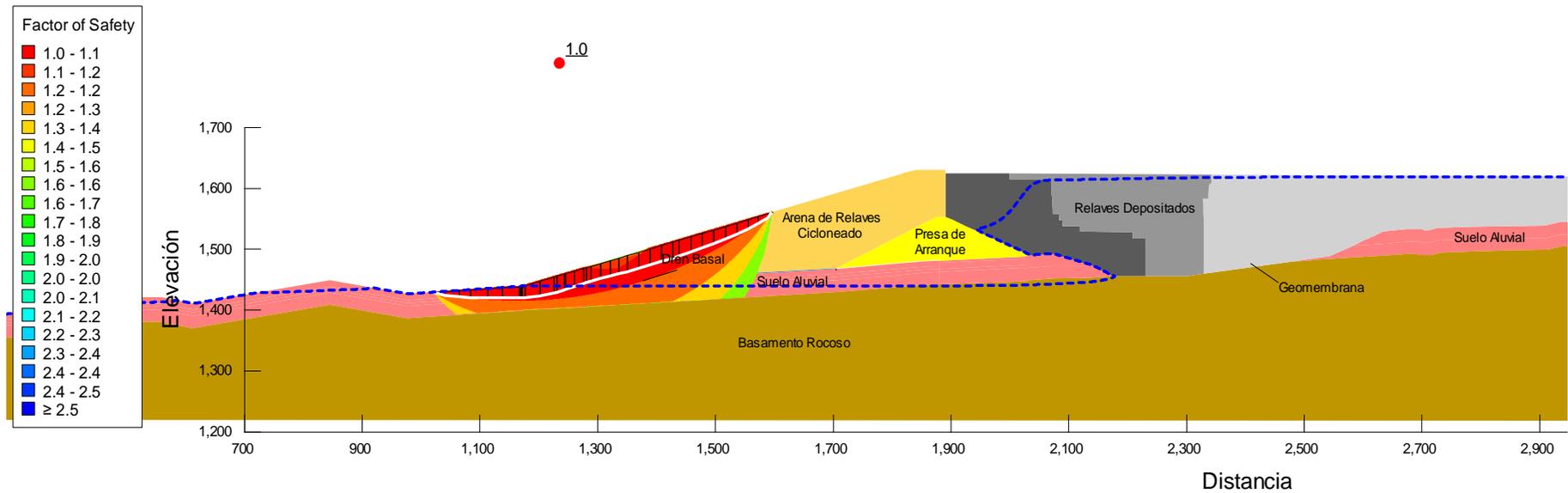
a) Estático y falla aguas abajo



Resultados de análisis de estabilidad

Crecimiento línea central – Falla III

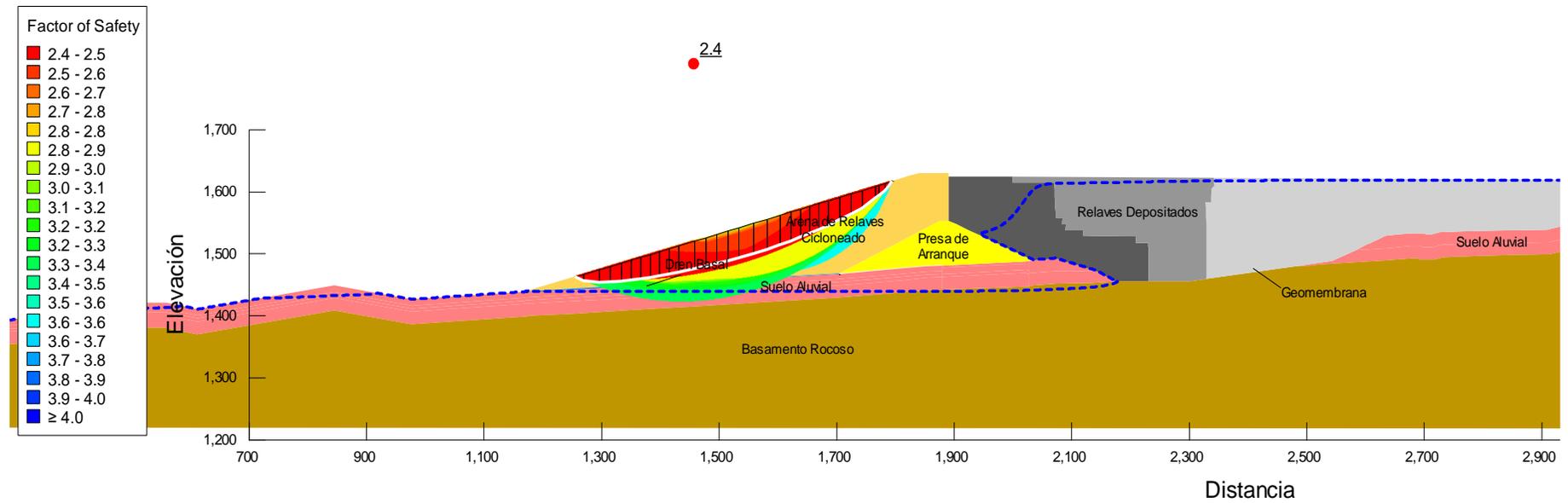
b) Pseudoestático y falla aguas abajo



Resultados de análisis de estabilidad

Crecimiento línea central – Falla IV

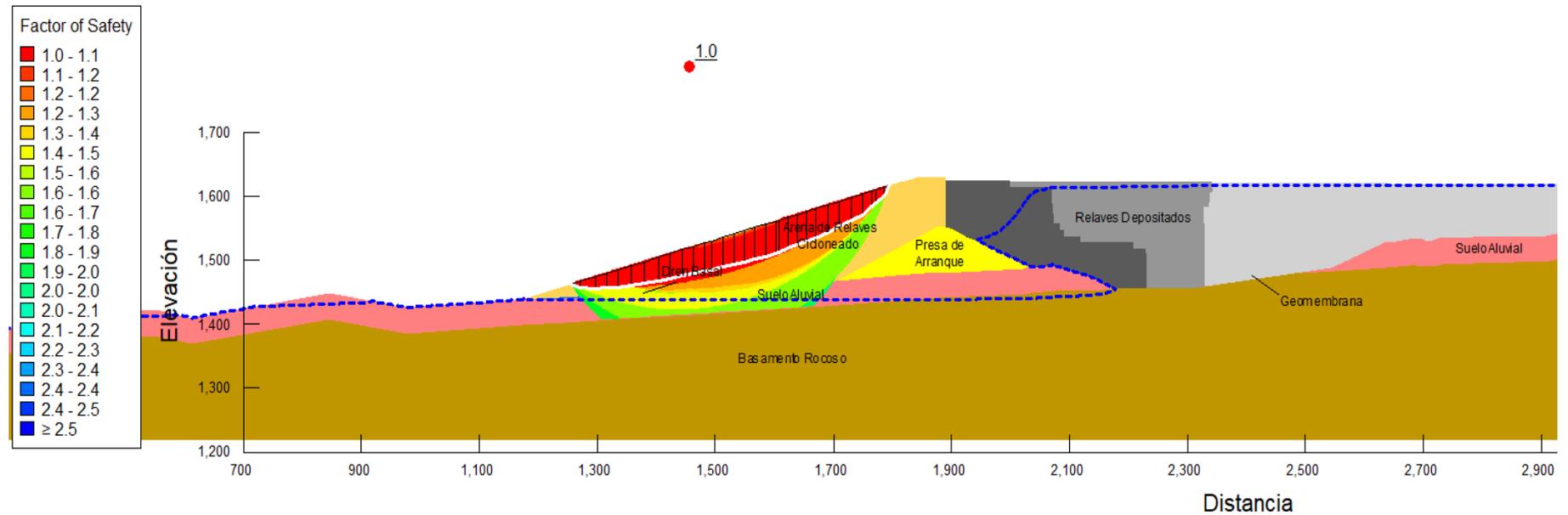
a) Estático y falla aguas abajo



Resultados de análisis de estabilidad

Crecimiento línea central – Falla IV

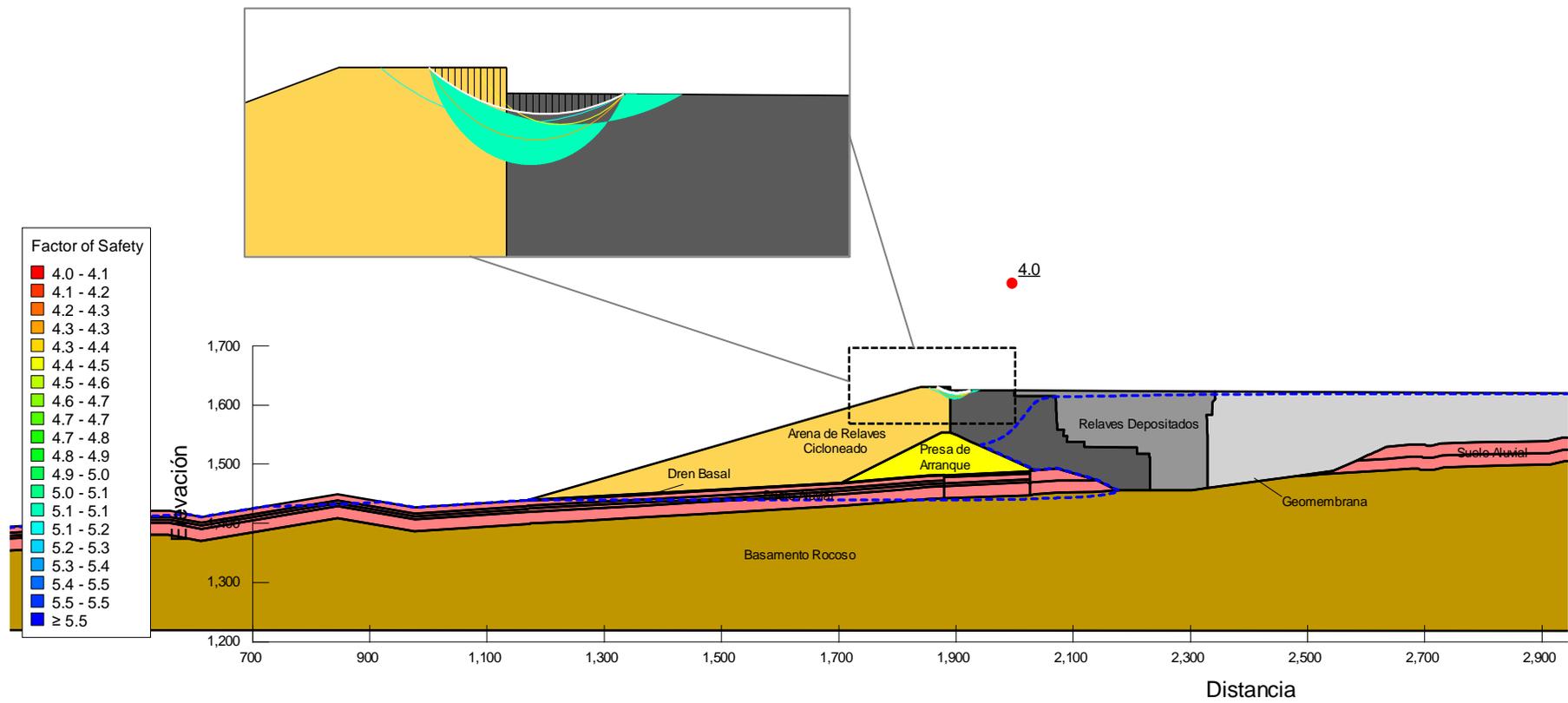
b) Pseudoestático y falla aguas abajo



Resultados de análisis de estabilidad

Crecimiento línea central – Falla V

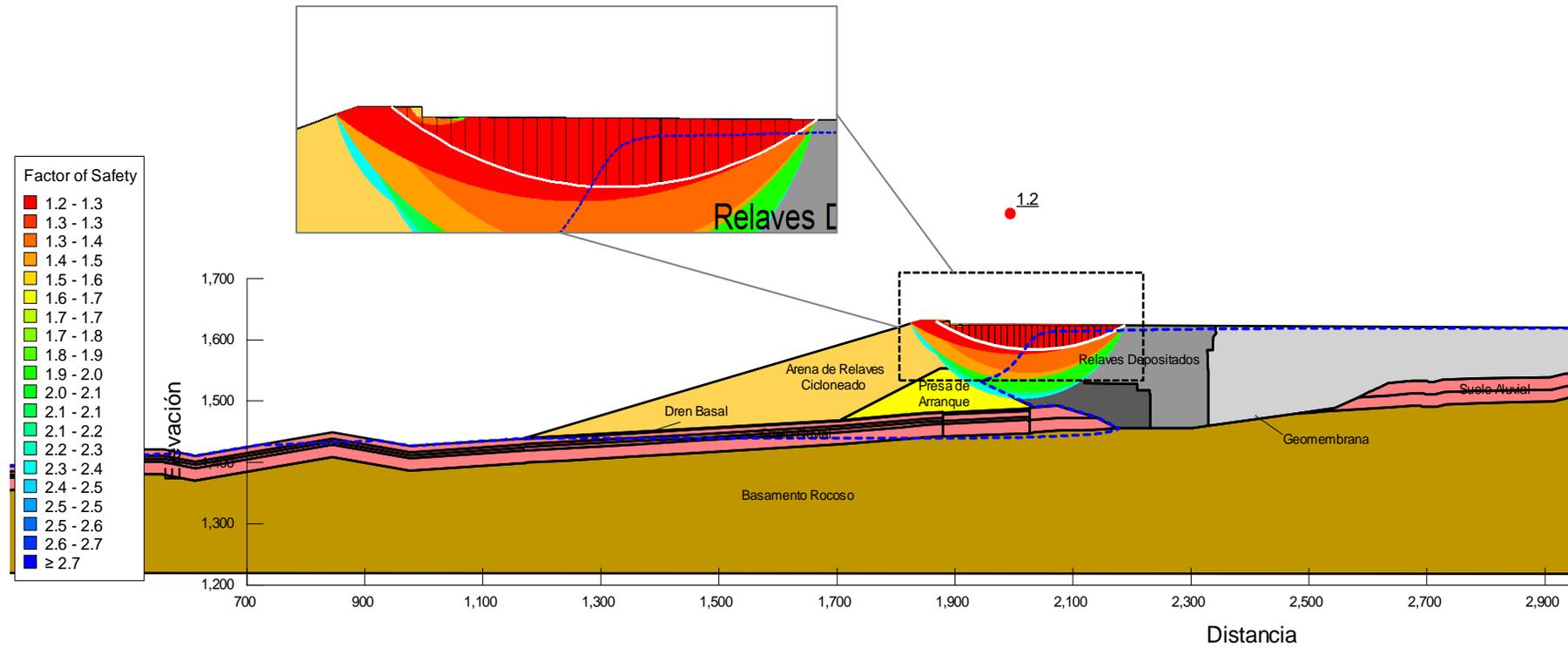
a) Estático y falla aguas arriba



Resultados de análisis de estabilidad

Crecimiento línea central – Falla V

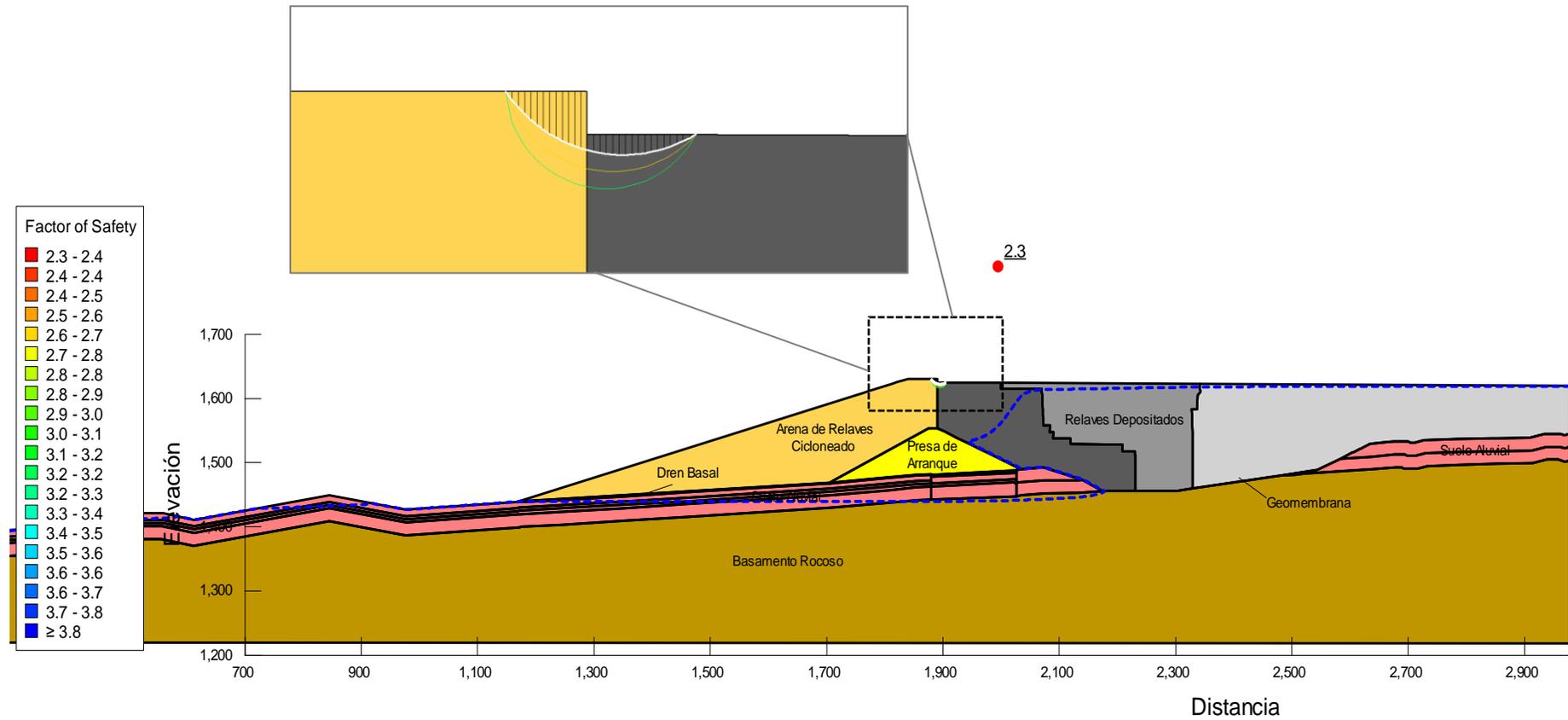
b) Pseudoestático y falla aguas arriba



Resultados de análisis de estabilidad

Crecimiento línea central – Falla VI

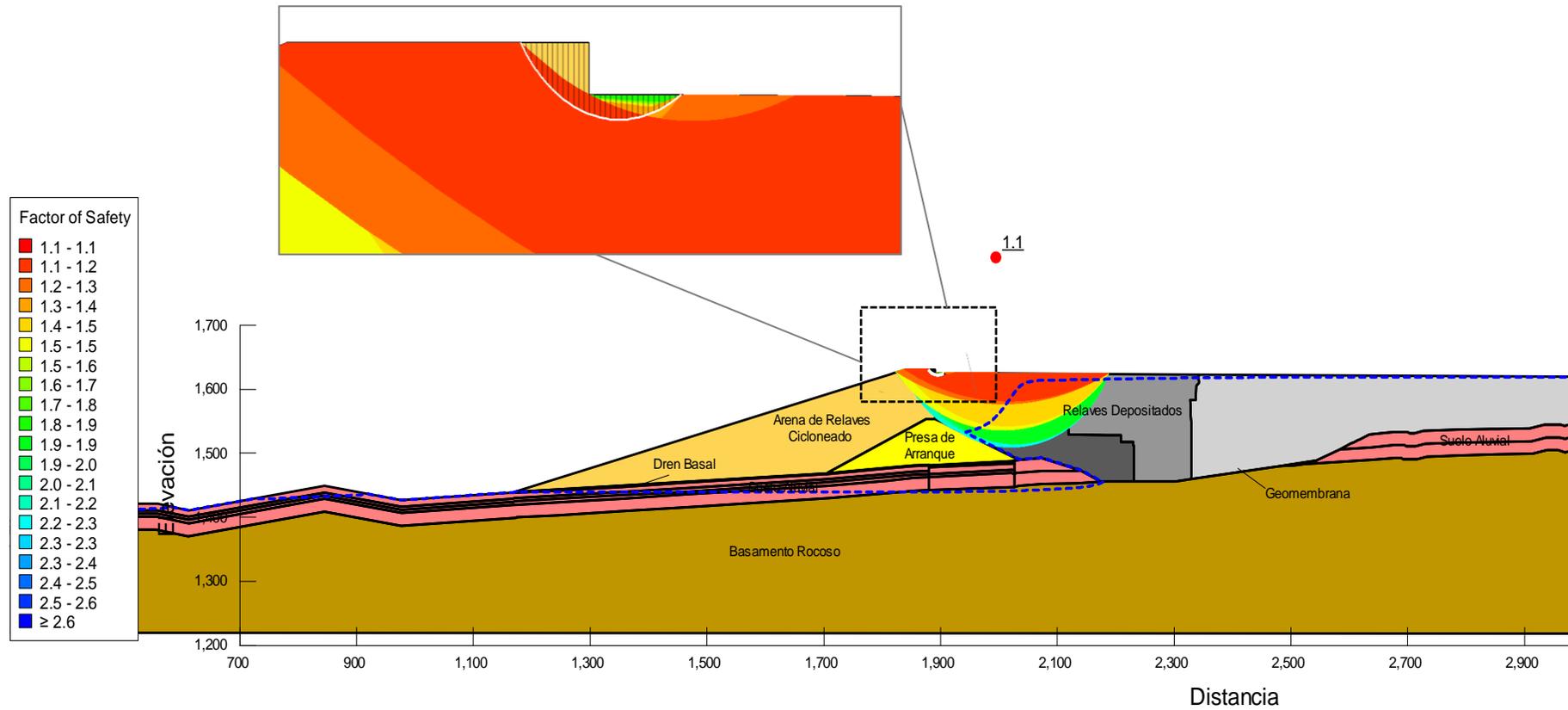
a) Estático y falla aguas arriba



Resultados de análisis de estabilidad

Crecimiento línea central – Falla VI

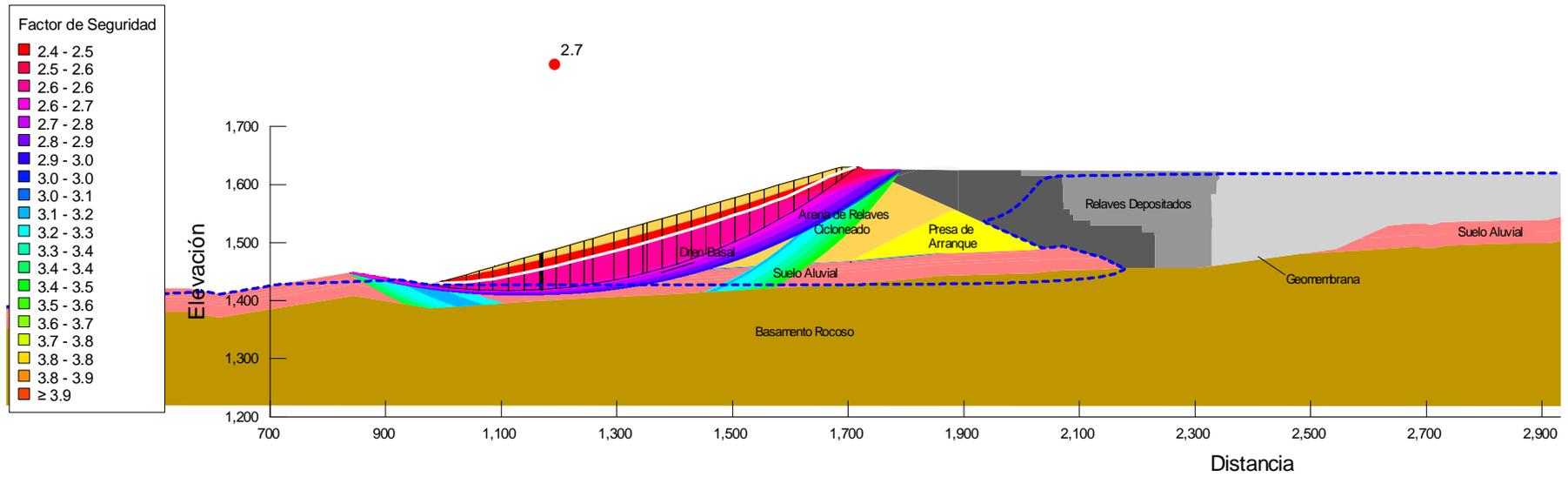
b) Pseudoestático y falla aguas arriba



Resultados de análisis de estabilidad

Crecimiento Aguas Abajo– Falla I

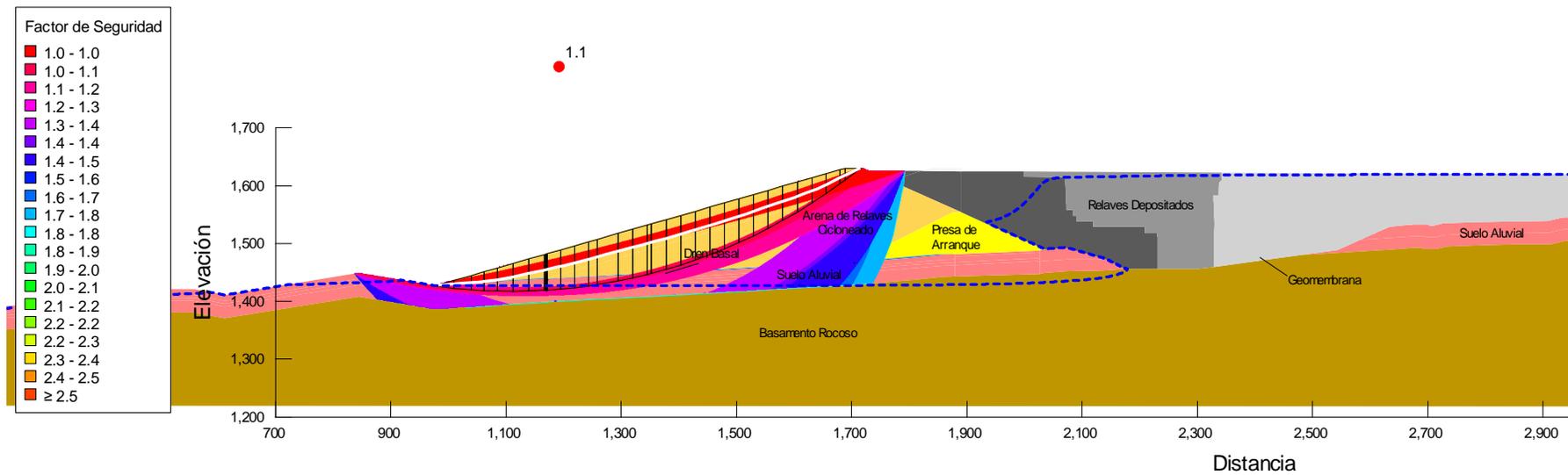
a) Estático y falla aguas abajo



Resultados de análisis de estabilidad

Crecimiento Aguas Abajo– Falla I

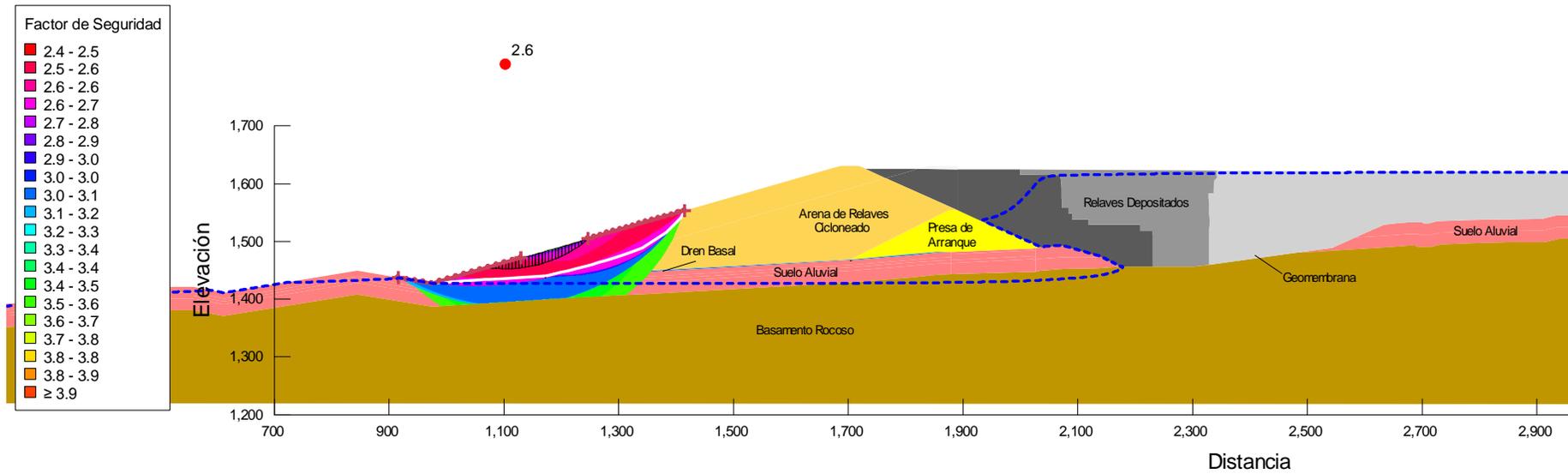
b) Pseudoestático y falla aguas abajo



Resultados de análisis de estabilidad

Crecimiento Aguas Abajo– Falla II

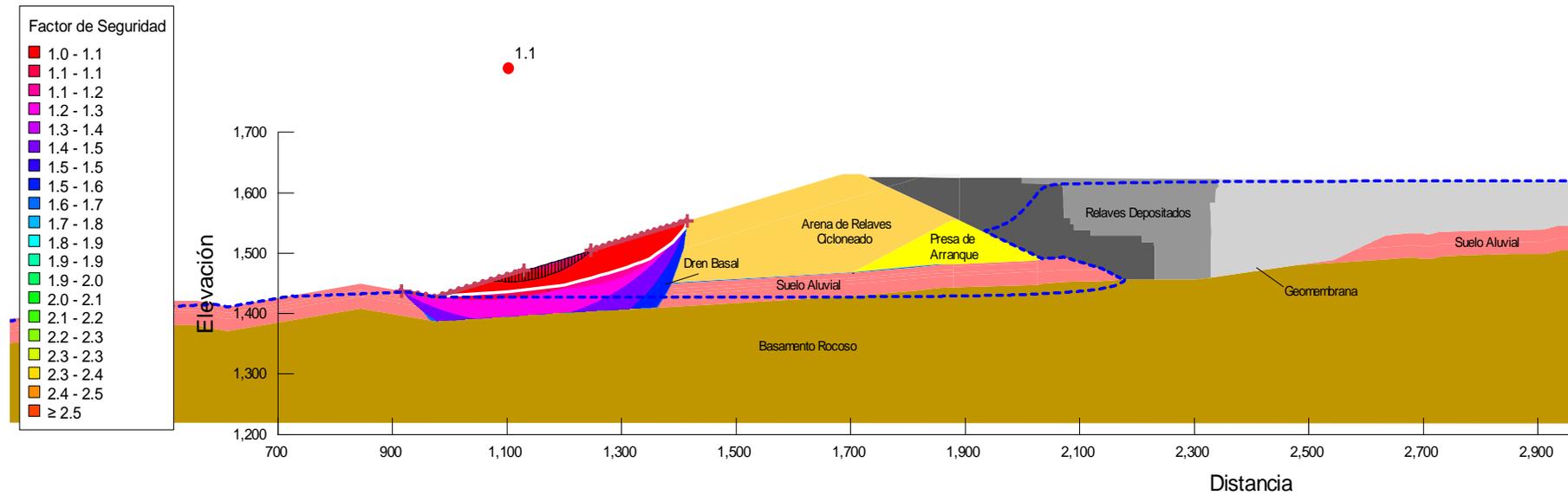
a) Estático y falla aguas abajo



Resultados de análisis de estabilidad

Crecimiento Aguas Abajo – Falla II

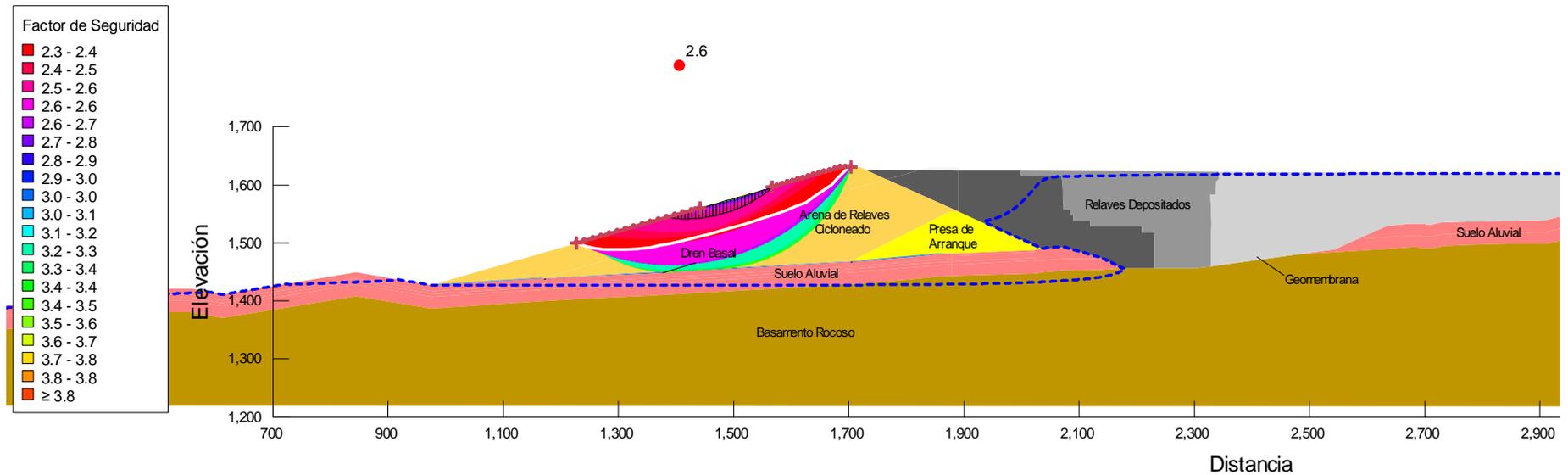
b) Pseudoestático y falla aguas abajo



Resultados de análisis de estabilidad

Crecimiento Aguas Abajo– Falla III

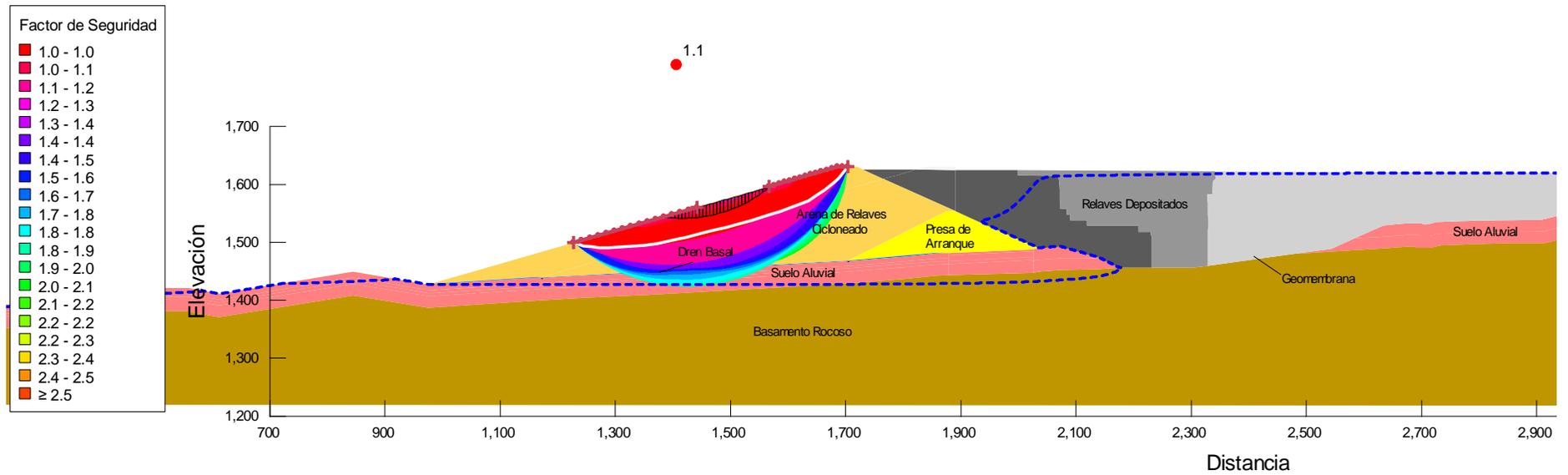
a) Estático y falla aguas abajo



Resultados de análisis de estabilidad

Crecimiento Aguas Abajo – Falla III

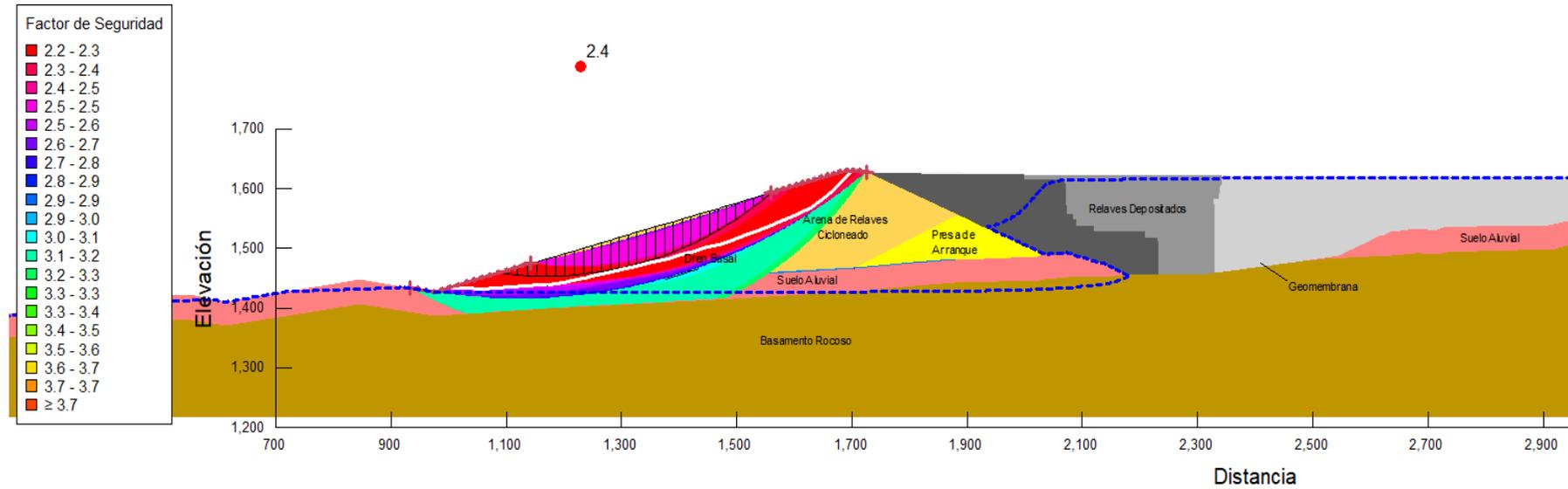
b) Pseudoestático y falla aguas abajo



Resultados de análisis de estabilidad

Crecimiento Aguas Abajo– Falla IV

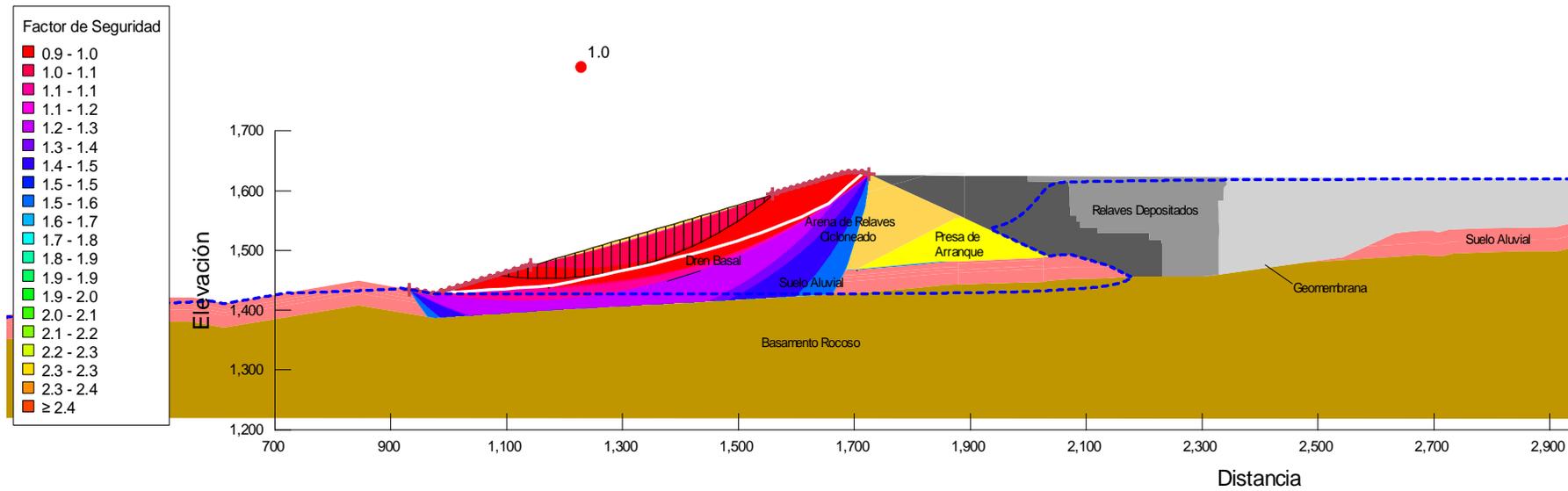
a) Estático y falla aguas abajo



Resultados de análisis de estabilidad

Crecimiento Aguas Abajo – Falla IV

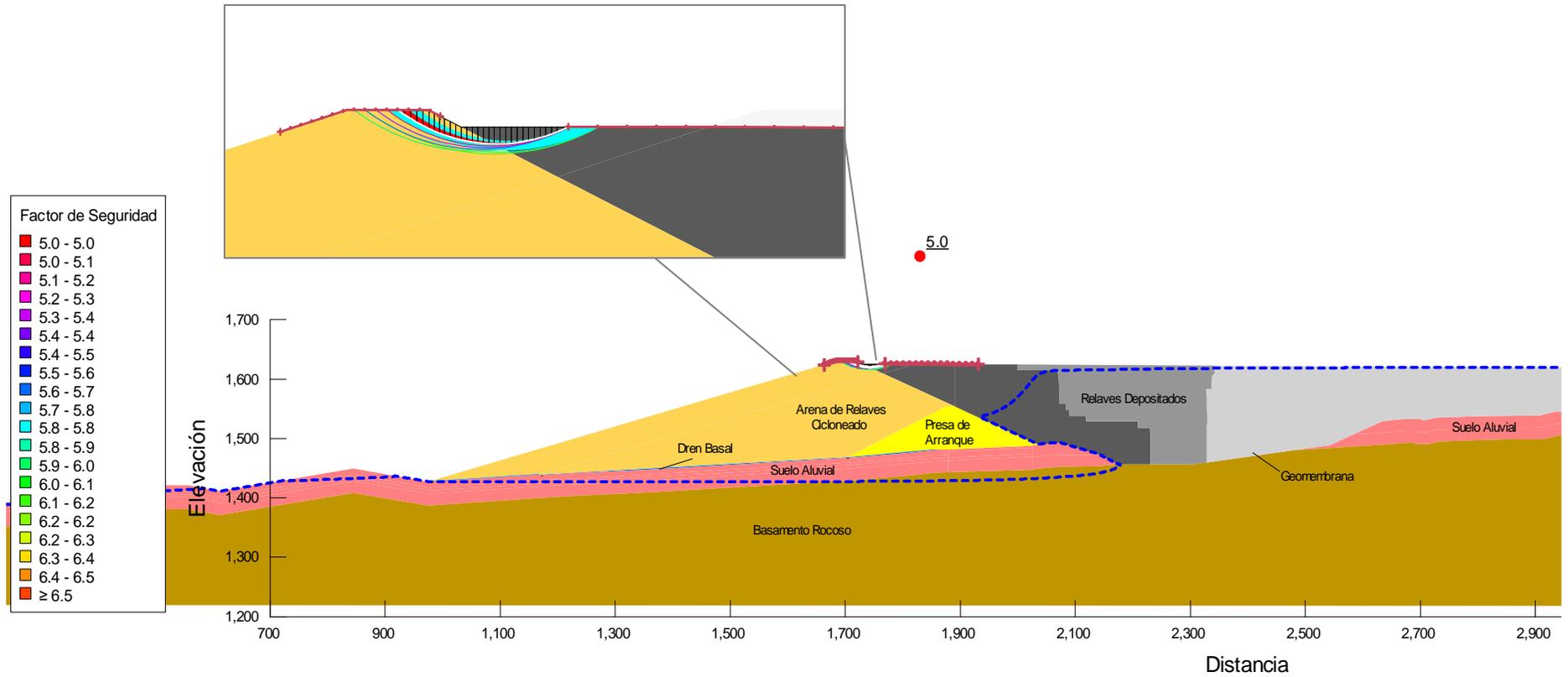
b) Pseudoestático y falla aguas abajo



Resultados de análisis de estabilidad

Crecimiento Aguas Abajo– Falla V

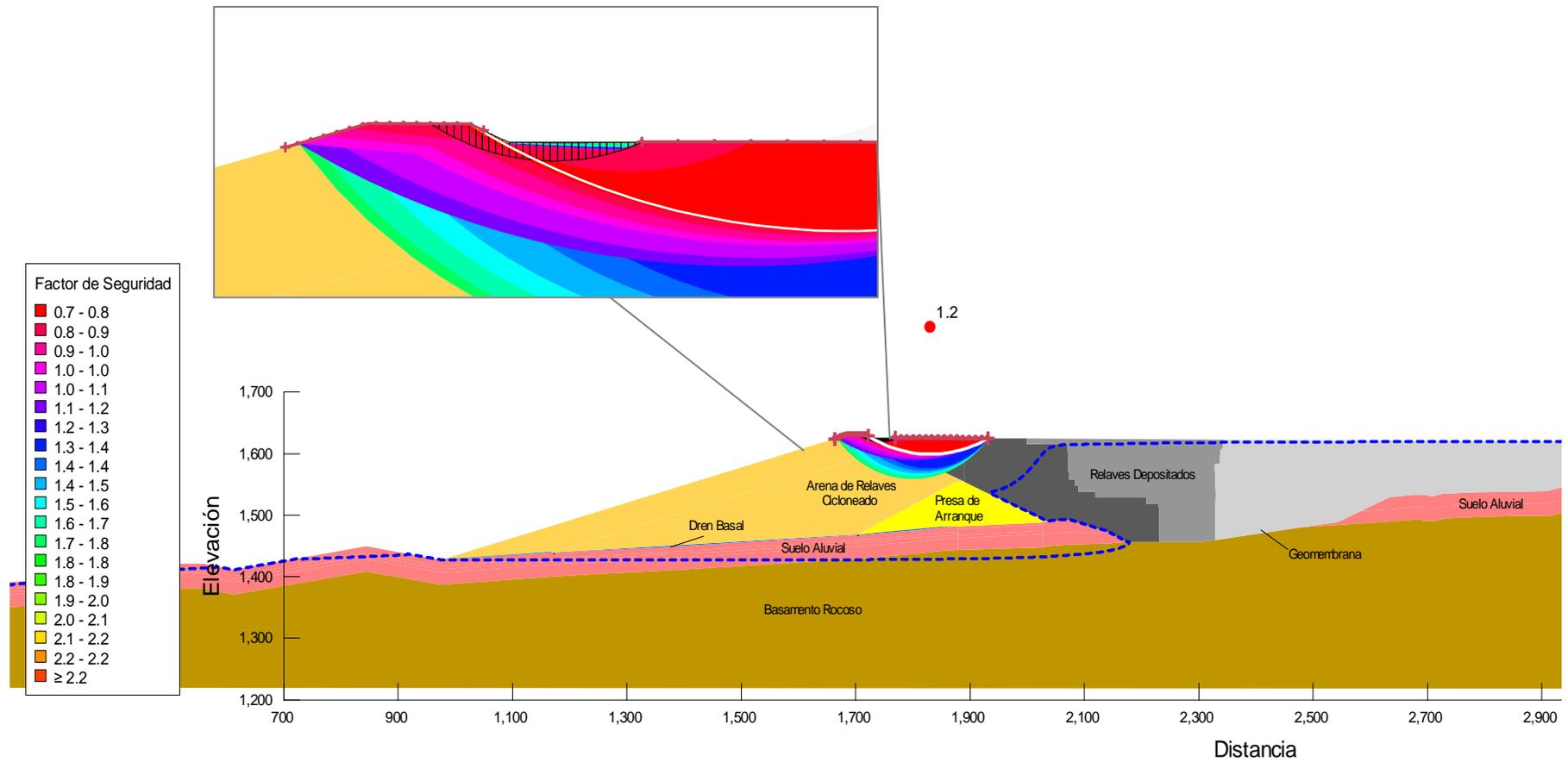
a) Estático y falla aguas arriba



Resultados de análisis de estabilidad

Crecimiento Aguas Abajo – Falla V

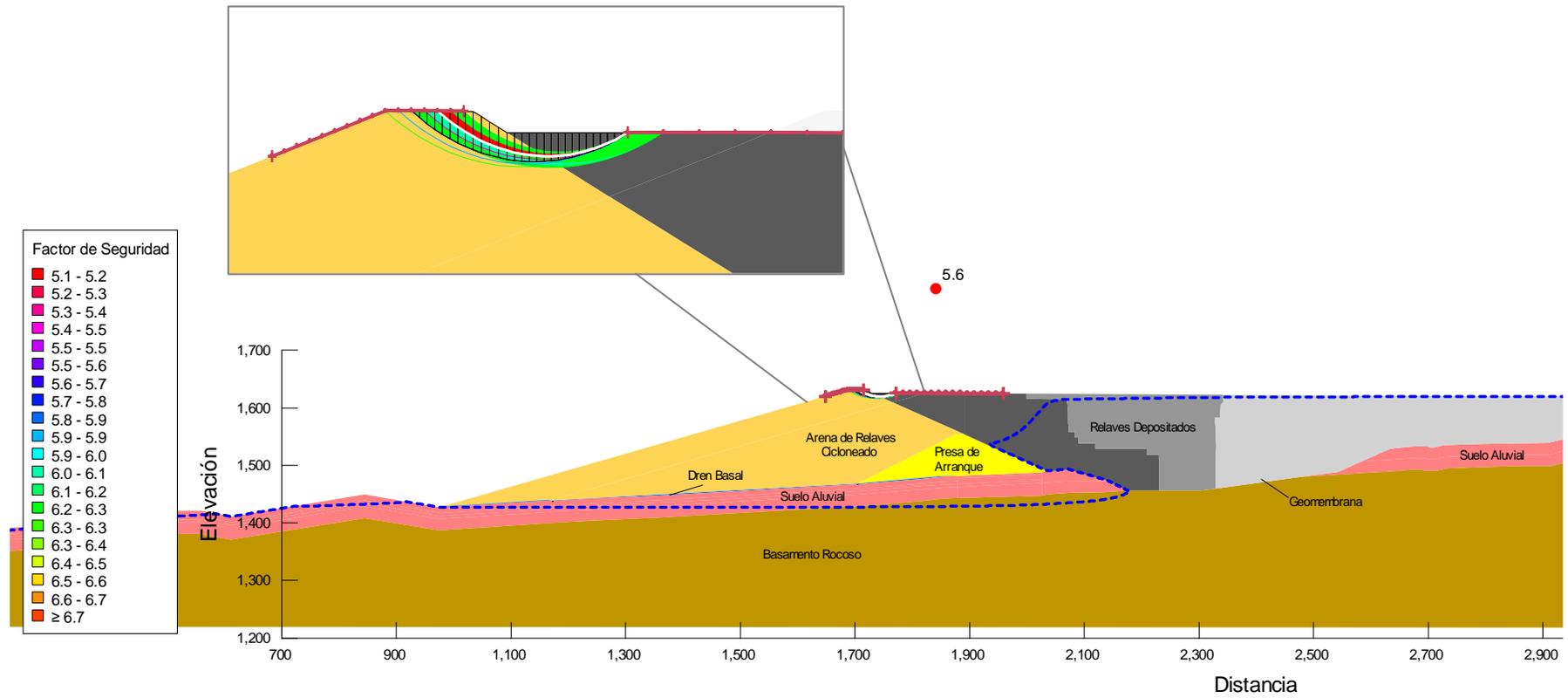
b) Pseudoestático y falla aguas arriba



Resultados de análisis de estabilidad

Crecimiento Aguas Abajo– Falla VI

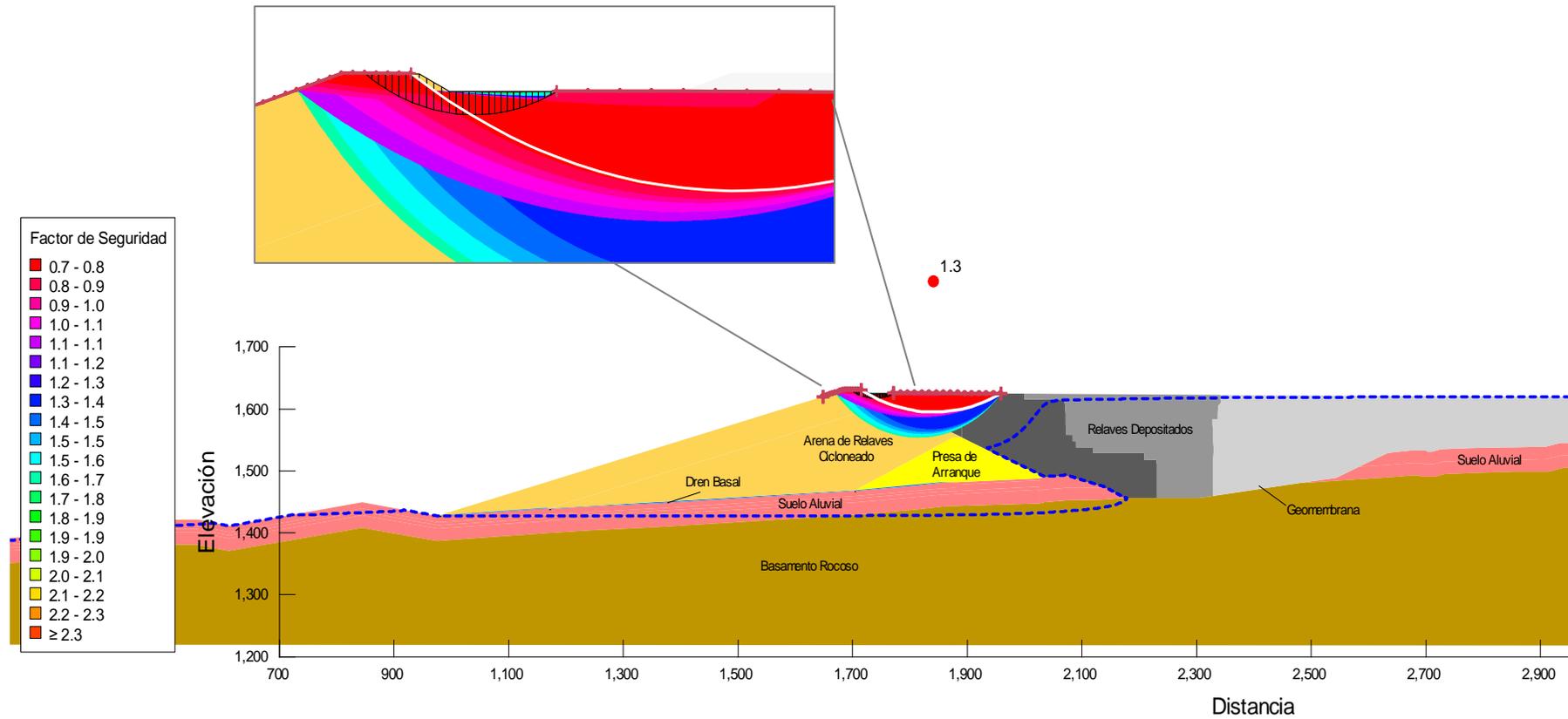
a) Estático y falla aguas arriba



Resultados de análisis de estabilidad

Crecimiento Aguas Abajo – Falla VI

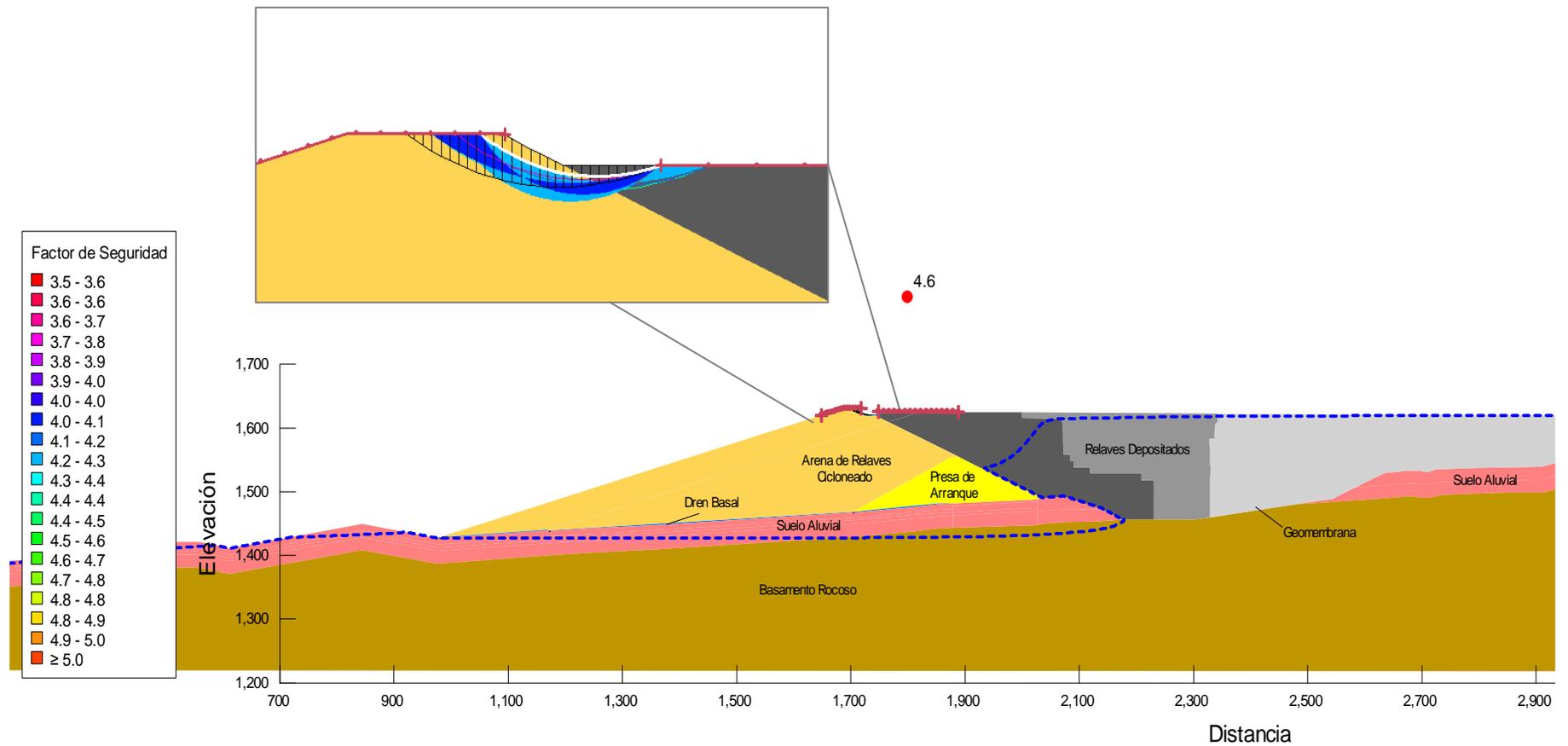
b) Pseudoestático y falla aguas arriba



Resultados de análisis de estabilidad

Crecimiento Aguas Abajo– Falla VI

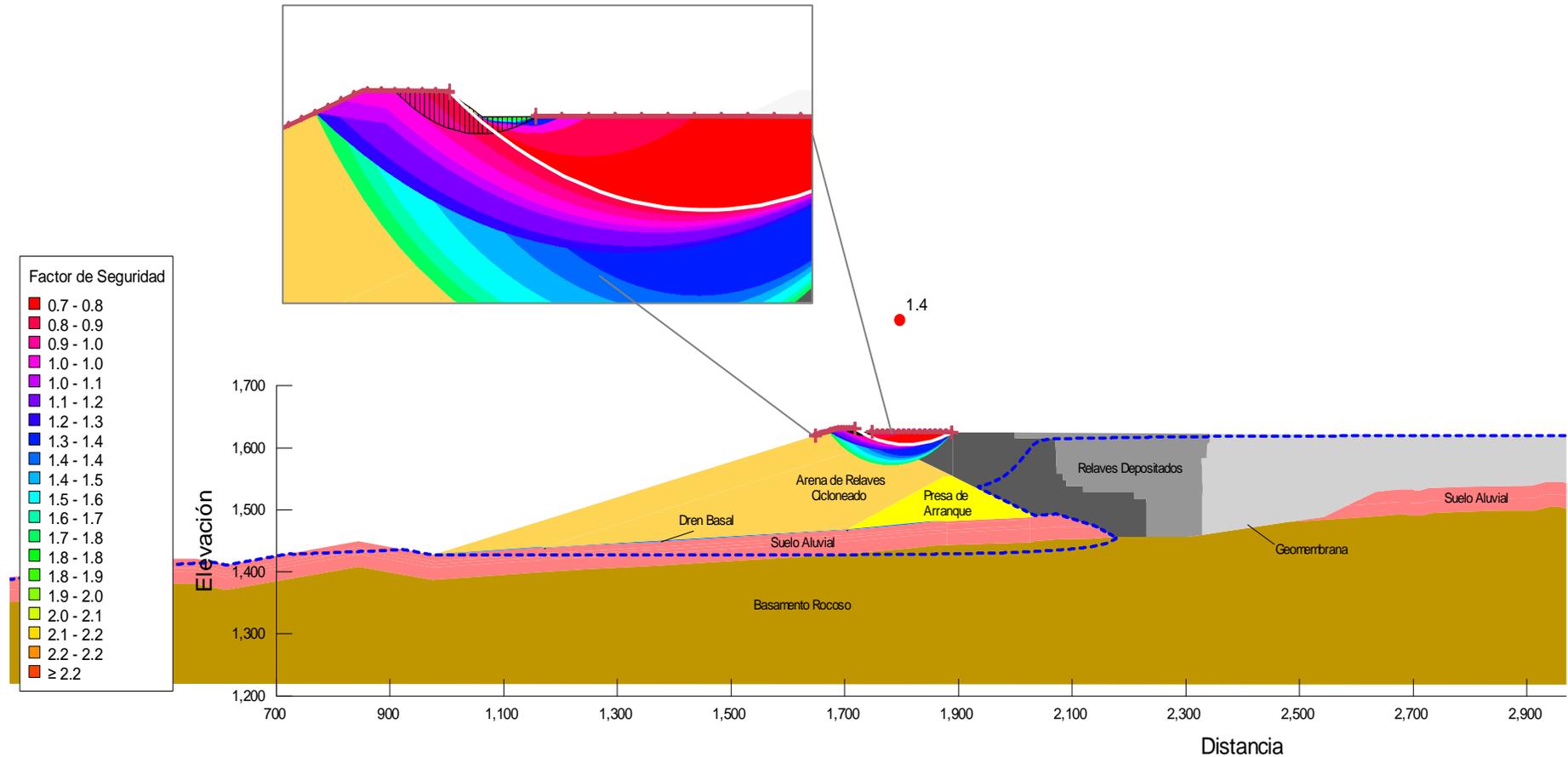
a) Estático y falla aguas arriba



Resultados de análisis de estabilidad

Crecimiento Aguas Abajo – Falla VI

b) Pseudoestático y falla aguas arriba



Anexo B:
Certificados de Ensayos de Laboratorio

Anexo B.1

Muestras de Relaves

Nº de muestra / Prof. (m): **ZGC-01**

Nº Informe Lab : **AP-019-18E**

Descripción / Zona: **Feed Supergene**

Ubicación: **Arequipa**

Fecha: **20-feb-19**

Partículas >3" (%) : ---

Grava (%) : -

Arena (%) : 32,5

Limos y Arcillas (%) : 67,5

Límites de Atterberg:

LL (%) : 26

LP (%) : 16

IP (%) : 10

Humedad (%) : 189,9

Clasificación SUCS : CL

Arcilla de baja plasticidad arenosa

D10 :

D30 :

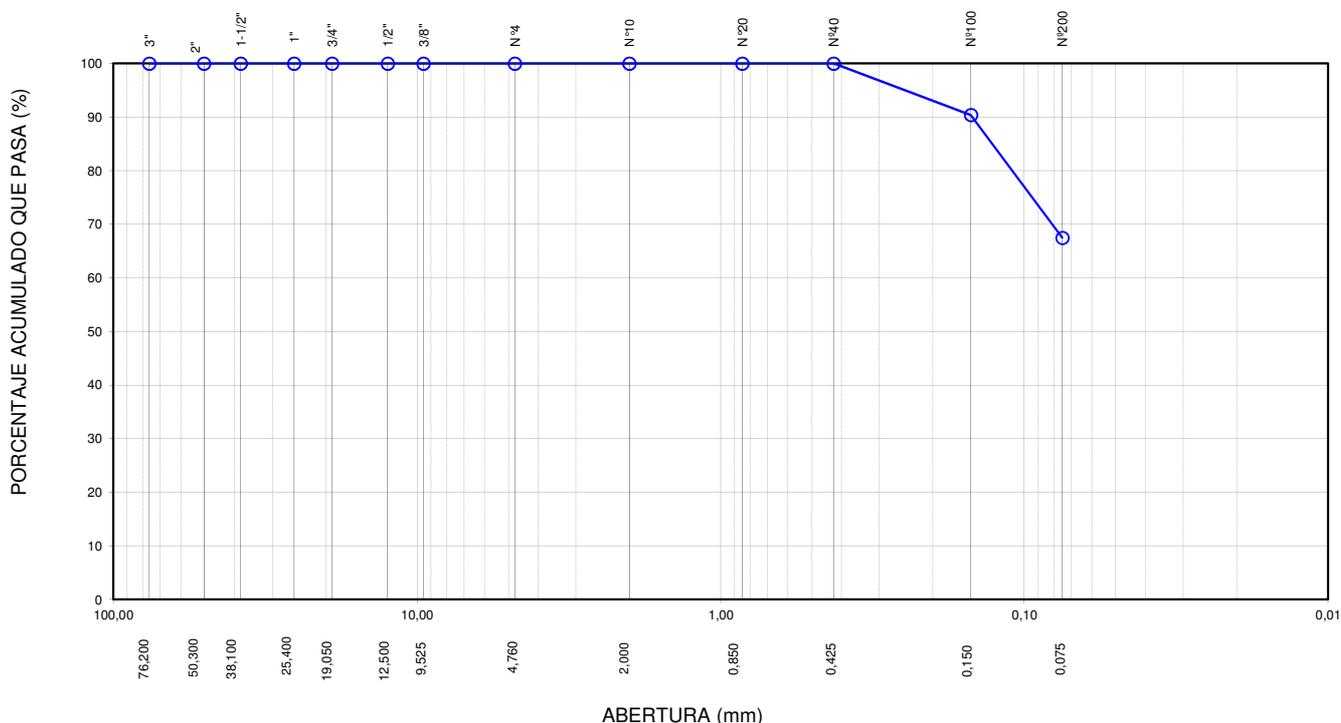
D60 :

Cu :

Cc :

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,300	100,0
1 1/2"	38,100	100,0
1"	25,400	100,0
3/4"	19,050	100,0
1/2"	12,500	100,0
3/8"	9,525	100,0
Nº4	4,760	100,0
Nº10	2,000	100,0
Nº20	0,850	100,0
Nº40	0,425	100,0
Nº100	0,150	90,4
Nº200	0,075	67,5

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:

EHB

Revisado por:

JSG

Nº Informe Lab :

AP-019-18E

Nº de muestra / Prof. (m): **ZGC-01**

Nº Informe Lab : **AP-019-18E**

Descripción / Zona: **Feed Supergene**

Ubicación: **Arequipa**

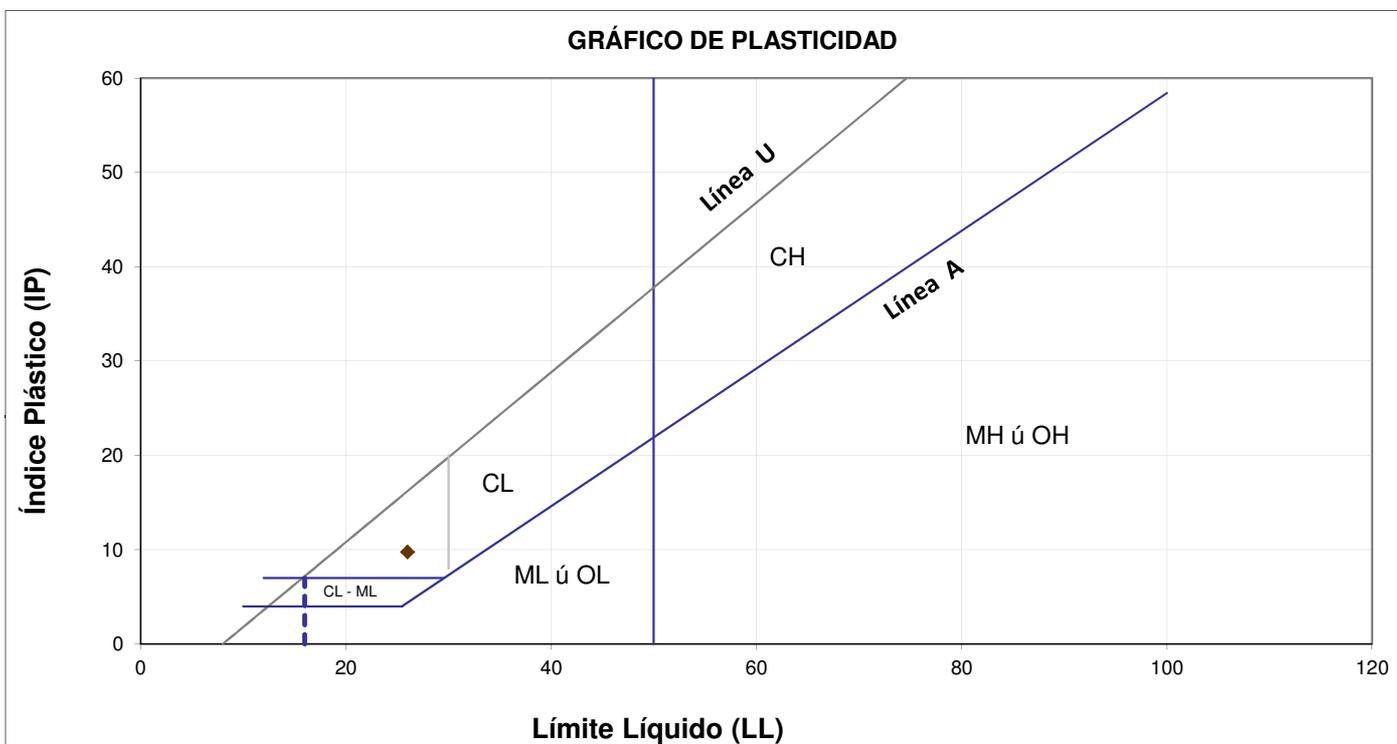
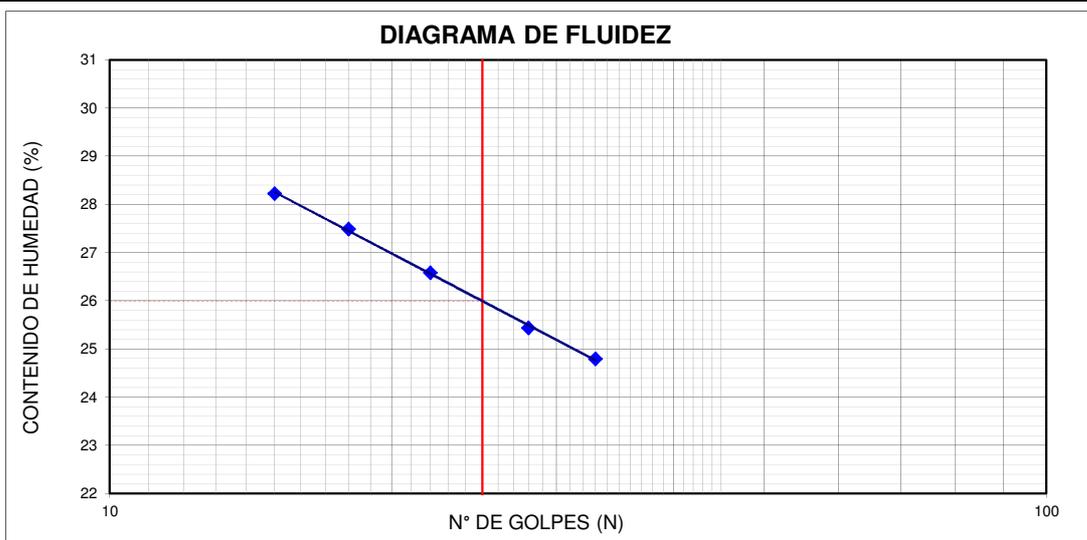
Fecha: **20-feb-19**

Límites de Atterberg

LL (%): 26

LP (%): 16

IP (%): 10



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:
EHB

Revisado por:
JSG

Nº Informe Lab :
AP-019-18E

Nº de muestra / Prof. (m): **ZGC-01**

Nº Informe Lab : **AP-019-18E**

Descripción / Zona: **Feed Supergene**

Ubicación: **Arequipa**

Fecha: **20-feb-19**

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA Nº 4

% Retenido en la Malla Nº 4		P ₁		0,0	
Nº de Prueba		1		2	
1) Peso de grava en agua S.S.S. en aire (gr)					
2) Peso de grava en agua S.S.S. en agua (gr)					
3) Peso de grava seca (gr)					Promedio
4) Gravedad Específica de Sólidos Aparente	(3) / [(3)-(2)]	G _{s1}			
5) Gravedad Específica de Sólidos Seca	(3) / [(1)-(2)]				
6) Gravedad Específica de Sólidos S.S.S.	(1) / [(1)-(2)]				
7) Absorción (%)	[(1)-(3)] / (3) * 100				

MATERIAL PASA LA MALLA Nº 4

% Pasa la Malla Nº 4		P ₂		100,0	
1) Nº de Fiola		1		2	
2) Peso de Fiola (gr)		163,1	181,3		
3) Peso de Muestra Seca (gr)		100,0	100,0		
4) Peso de Muestra Seca + Fiola (gr)		263,1	281,3		
5) Peso de Muestra Seca + Fiola + Agua (gr)		724,4	743,2		
6) Peso de Fiola + Peso de agua		661,7	680,3		
7) Gravedad Específica de Sólidos	(3)/[(3)+(6)-(5)]	G _{s2}	2,68	2,70	
8) Temperatura (°C)			19	19	
9) Corrección por Temperatura (K)			1,0002	1,0002	
10) Gravedad Específica de Sólidos Corregido	(7)*(9)	G _{s2 (20°C)}	2,69		

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

G _{s_{prom}} =	2,69
---------------------------------	------

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

El G_{s_{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:

DCF

Ingresado por:

EHB

Revisado por:

JSG

Nº Informe Lab :

AP-019-18E

Nº de muestra / Prof. (m): **ZGC-01**

Nº Informe Lab : **AP-019-18E**

Descripción / Zona: **Feed Supergene**

Ubicación: **Arequipa**

Fecha: **20-feb-19**

Partículas >3" (%): ---

Grava (%): -

Arena (%): 31,4

Limos y Arcillas (%): 68,6

Límites de Atterberg:

LL (%): 26

LP (%): 16

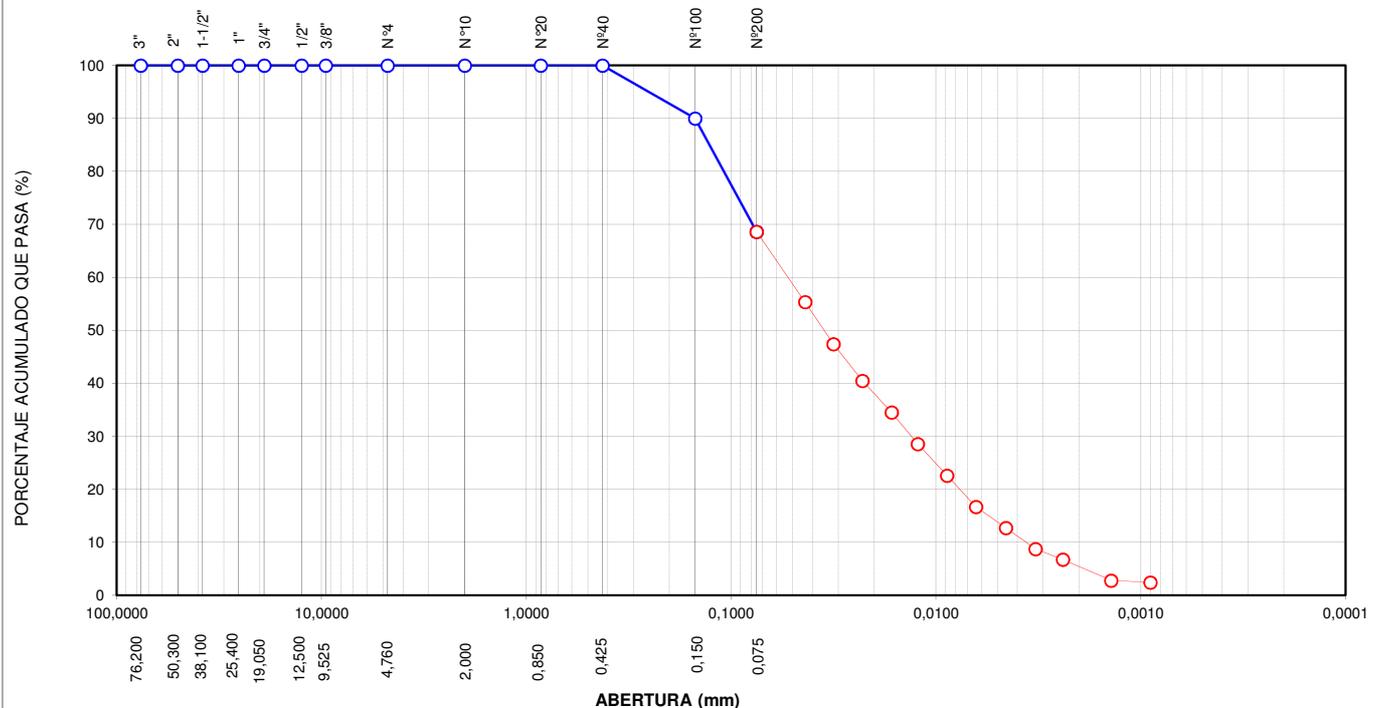
IP (%): 10

Clasificación SUCS : **CL**

Arcilla de baja plasticidad arenosa

Análisis por Tamizado			Análisis por Hidrómetro		
Tamiz	Abertura(mm)	% Acumulado que pasa	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa	Material
3"	76,200	100,0	0,0435	55,3	Limos
2"	50,300	100,0	0,0316	47,4	Limos
1 1/2"	38,100	100,0	0,0228	40,4	Limos
1"	25,400	100,0	0,0165	34,5	Limos
3/4"	19,050	100,0	0,0123	28,6	Limos
1/2"	12,500	100,0	0,0088	22,6	Limos
3/8"	9,525	100,0	0,0064	16,7	Limos
Nº4	4,760	100,0	0,0045	12,7	Arcillas
Nº10	2,000	100,0	0,0033	8,7	Arcillas
Nº20	0,850	100,0	0,0024	6,7	Arcillas
Nº40	0,425	100,0	0,0014	2,8	Arcillas
Nº100	0,150	90,0	0,0009	2,4	Coloides
Nº200	0,075	68,6			

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:

EHB

Revisado por:

JSG

Nº Informe Lab :

AP-019-18E

Nº de muestra / Prof. (m): **ZGC-01**

Nº Informe Lab : **AP-019-18E**

Descripción / Zona: **Overflow Supergene**

Ubicación: **Arequipa**

Fecha: **20-feb-19**

Partículas >3" (%) : ---

Grava (%) : -

Arena (%) : 8,6

Limos y Arcillas (%) : 91,4

Límites de Atterberg:

LL (%) : 26

LP (%) : 16

IP (%) : 10

Humedad (%) : 389,5

Clasificación SUCS : CL

Arcilla de baja plasticidad

D10 :

D30 :

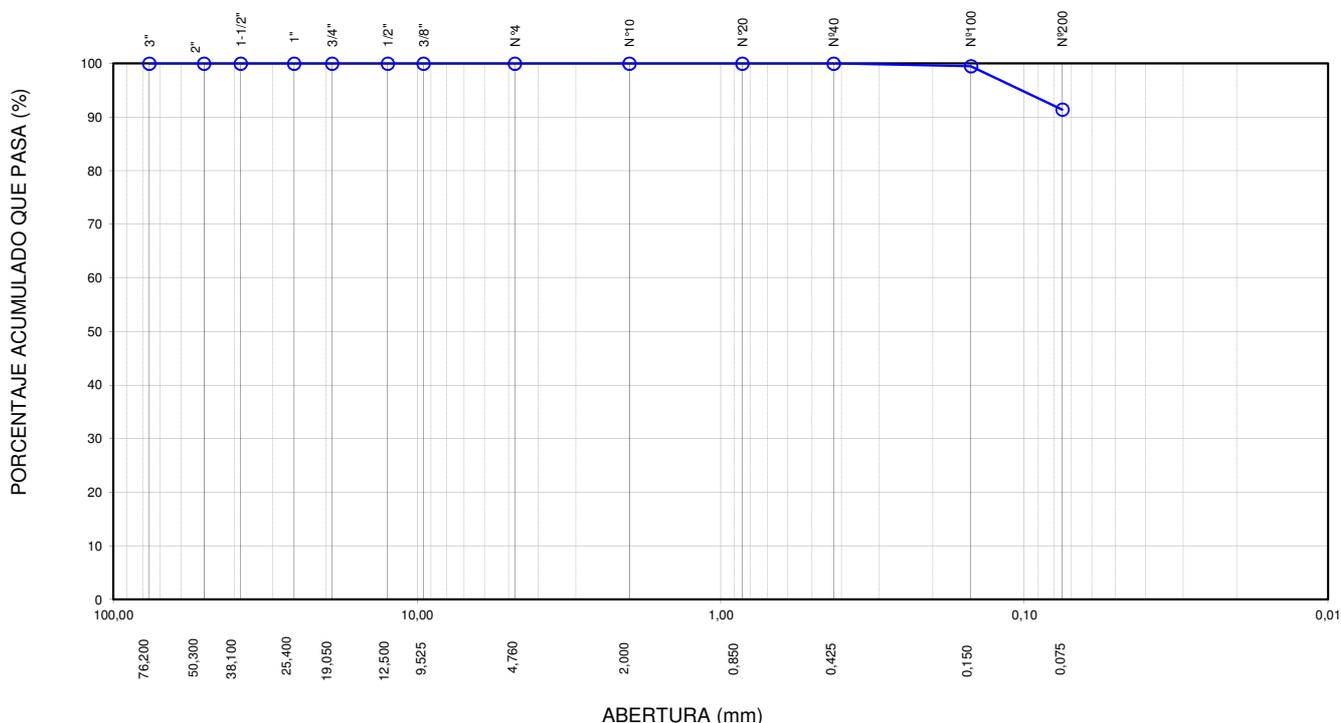
D60 :

Cu :

Cc :

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,300	100,0
1 1/2"	38,100	100,0
1"	25,400	100,0
3/4"	19,050	100,0
1/2"	12,500	100,0
3/8"	9,525	100,0
Nº4	4,760	100,0
Nº10	2,000	100,0
Nº20	0,850	100,0
Nº40	0,425	100,0
Nº100	0,150	99,5
Nº200	0,075	91,4

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:

EHB

Revisado por:

JSG

Nº Informe Lab :

AP-019-18E

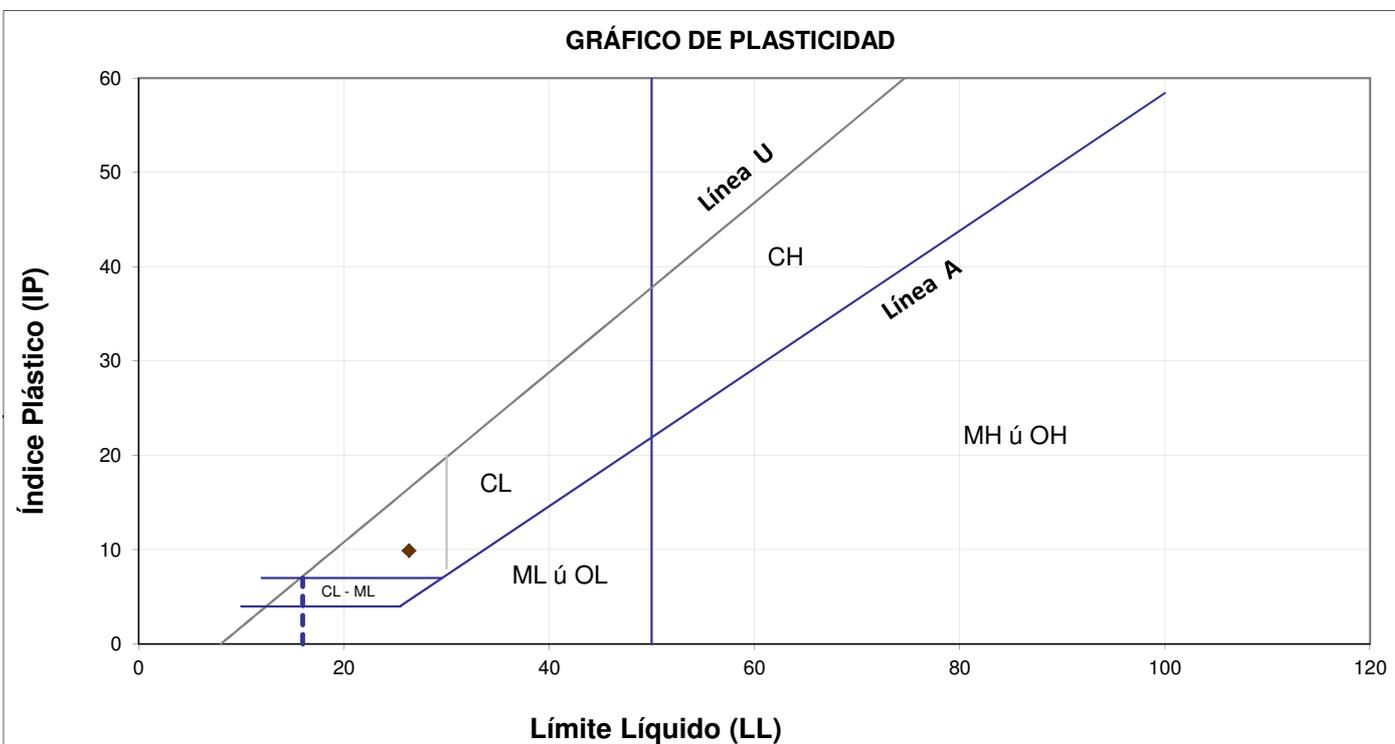
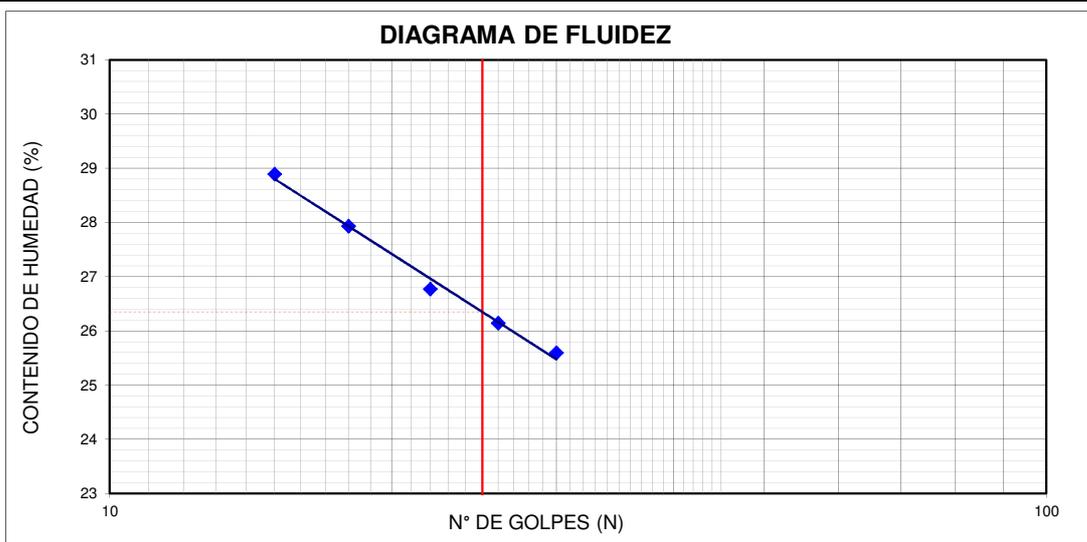
Nº de muestra / Prof. (m): **ZGC-01**
 Descripción / Zona: **Overflow Supergene**
 Ubicación: **Arequipa**

Nº Informe Lab : **AP-019-18E**

Fecha: **20-feb-19**

Límites de Atterberg

LL (%): 26
 LP (%): 16
 IP (%): 10



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:
EHB

Revisado por:
JSG

Nº Informe Lab :
AP-019-18E

Nº de muestra / Prof. (m): **ZGC-01**

Nº Informe Lab : **AP-019-18E**

Descripción / Zona: **Overflow Supergene**

Ubicación: **Arequipa**

Fecha: **20-feb-19**

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA Nº 4

% Retenido en la Malla Nº 4		P ₁		0,0	
Nº de Prueba		1	2		
1) Peso de grava en agua S.S.S. en aire (gr)					
2) Peso de grava en agua S.S.S. en agua (gr)					
3) Peso de grava seca (gr)				Promedio	
4) Gravedad Específica de Sólidos Aparente	(3) / [(3)-(2)]	G _{s1}			
5) Gravedad Específica de Sólidos Seca	(3) / [(1)-(2)]				
6) Gravedad Específica de Sólidos S.S.S.	(1) / [(1)-(2)]				
7) Absorción (%)	[(1)-(3)] / (3) * 100				

MATERIAL PASA LA MALLA Nº 4

% Pasa la Malla Nº 4		P ₂		100,0	
1) Nº de Fiola		1	2		
2) Peso de Fiola (gr)		163,5	158,2		
3) Peso de Muestra Seca (gr)		100,0	100,0		
4) Peso de Muestra Seca + Fiola (gr)		263,5	258,2		
5) Peso de Muestra Seca + Fiola + Agua (gr)		725,2	720,0		
6) Peso de Fiola + Peso de agua		662,4	657,3		
7) Gravedad Específica de Sólidos	(3)/[(3)+(6)-(5)]	G _{s2}	2,69	2,68	
8) Temperatura (°C)		19	19		
9) Corrección por Temperatura (K)		1,0002	1,0002		
10) Gravedad Específica de Sólidos Corregido	(7)*(9)	G _{s2} (20°C)	2,69		

$$G_{s_{prom}} = \frac{1}{\frac{P_1}{100 \times G_{s_1}} + \frac{P_2}{100 \times G_{s_2} (20^\circ C)}}$$

G _{s_{prom}} =	2,69
---------------------------------	------

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

El G_{s_{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:

DCF

Ingresado por:

EHB

Revisado por:

JSG

Nº Informe Lab :

AP-019-18E

Nº de muestra / Prof. (m): **ZGC-01**

Nº Informe Lab : **AP-019-18E**

Descripción / Zona: **Overflow Supergene**

Ubicación: **Arequipa**

Fecha: **20-feb-19**

Partículas >3" (%): ---

Grava (%): -

Arena (%): 8,4

Limos y Arcillas (%): 91,6

Límites de Atterberg:

LL (%): 26

LP (%): 16

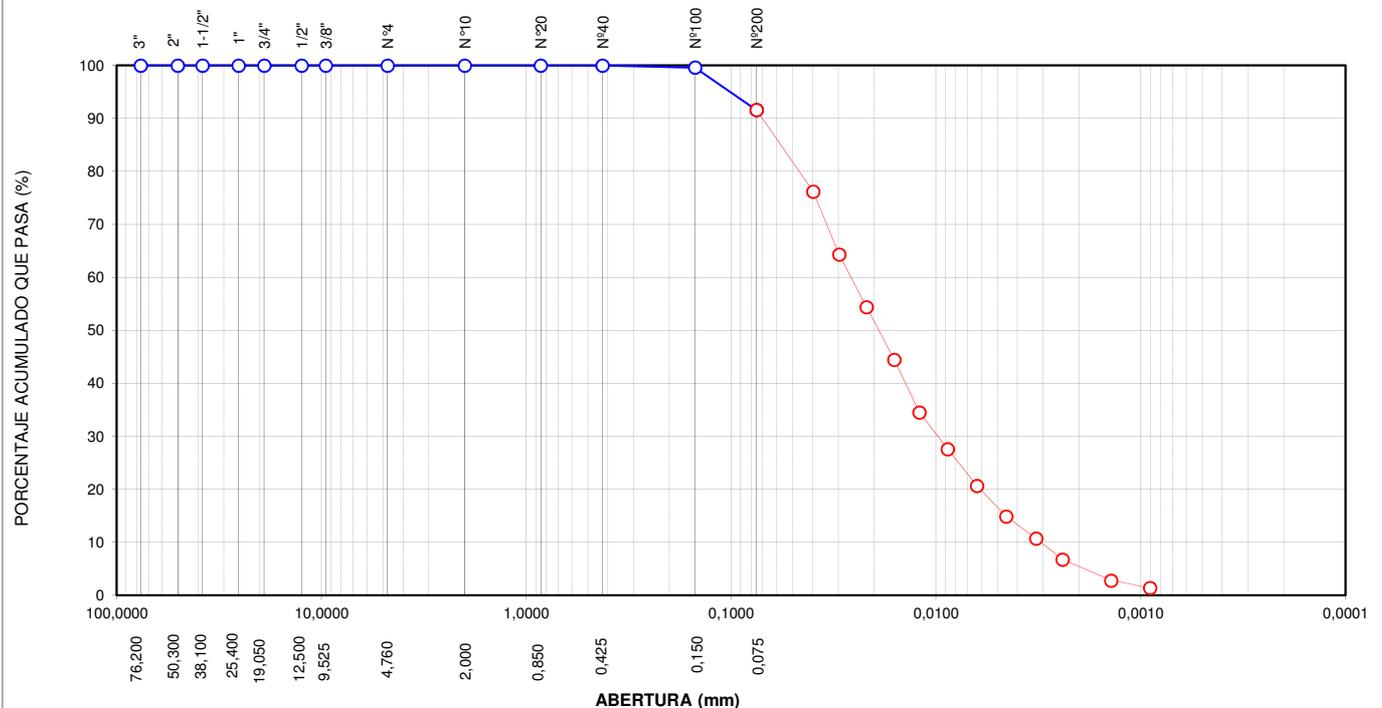
IP (%): 10

Clasificación SUCS : **CL**

Arcilla de baja plasticidad

Análisis por Tamizado			Análisis por Hidrómetro		
Tamiz	Abertura(mm)	% Acumulado que pasa	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa	Material
3"	76,200	100,0	0,0398	76,2	Limos
2"	50,300	100,0	0,0296	64,3	Limos
1 1/2"	38,100	100,0	0,0218	54,4	Limos
1"	25,400	100,0	0,0160	44,4	Limos
3/4"	19,050	100,0	0,0120	34,5	Limos
1/2"	12,500	100,0	0,0088	27,6	Limos
3/8"	9,525	100,0	0,0063	20,6	Limos
Nº4	4,760	100,0	0,0045	14,9	Arcillas
Nº10	2,000	100,0	0,0032	10,7	Arcillas
Nº20	0,850	100,0	0,0024	6,7	Arcillas
Nº40	0,425	100,0	0,0014	2,8	Arcillas
Nº100	0,150	99,6	0,0009	1,4	Arcillas
Nº200	0,075	91,6			

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:

EHB

Revisado por:

JSG

Nº Informe Lab :

AP-019-18E

Nº de muestra / Prof. (m): **ZGC-01**

Nº Informe Lab : **AP-019-18E**

Descripción / Zona: **Underflow Supergene**

Ubicación: **Arequipa**

Fecha: **12-feb-19**

Partículas >3" (%) : ---

Grava (%) : -

Arena (%) : 77,6

Limos y Arcillas (%) : 22,4

Límites de Atterberg:

LL (%) : NP

LP (%) : NP

IP (%) : NP

Humedad (%) : 29,4

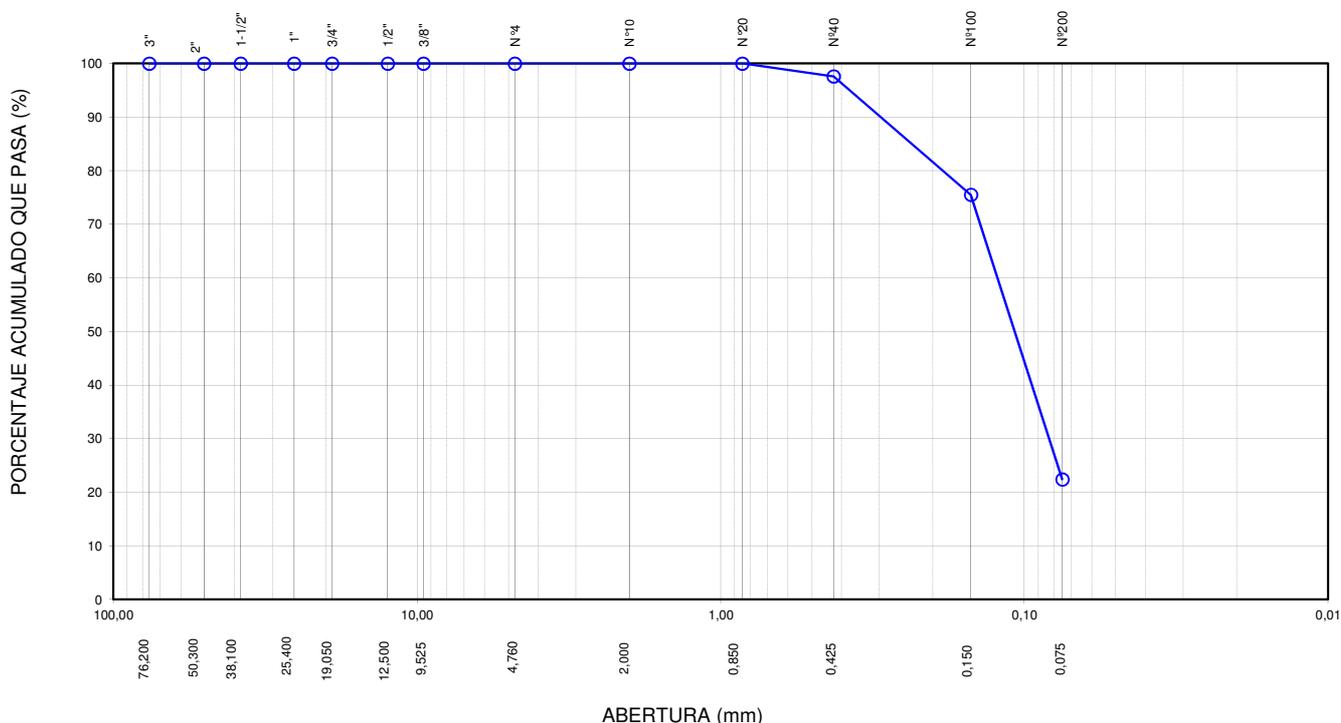
Clasificación SUCS : SM

Arena limosa

D10 :
D30: 0,08
D60: 0,12
Cu:
Cc:

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,300	100,0
1 1/2"	38,100	100,0
1"	25,400	100,0
3/4"	19,050	100,0
1/2"	12,500	100,0
3/8"	9,525	100,0
Nº4	4,760	100,0
Nº10	2,000	100,0
Nº20	0,850	100,0
Nº40	0,425	97,6
Nº100	0,150	75,5
Nº200	0,075	22,4

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:
EHB

Revisado por:
JSG

Nº Informe Lab :
AP-019-18E

Nº de muestra / Prof. (m): **ZGC-01**

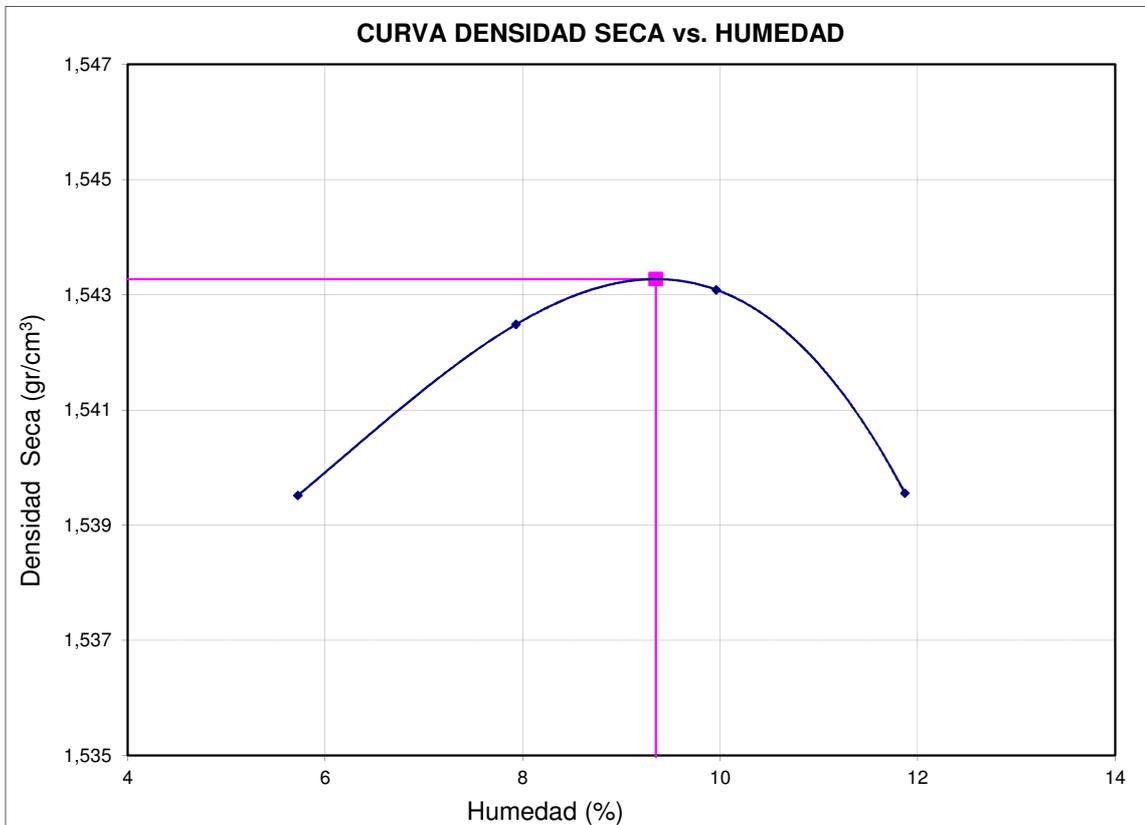
Nº InformeLab: **AP-019-18E**

Descripción / Zona: **Underflow Supergene**

Ubicación: **Arequipa**

Fecha: **12-feb-19**

Prueba Nº	1	2	3	4	5	6
Densidad seca (gr/cm ³)	1,540	1,542	1,543	1,540		
Humedad(%)	5,7	7,9	10,0	11,9		



Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	1,543
Óptimo Contenido de Humedad (%)	9,3

Máx. Dens. Seca Corregida (gr/cm ³)	--
Ópt. Cont. de Humedad Corregida (%)	--

Fracción Sobre tamaño	
GS (Bulk)	=
w(%)	=

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:

EHB

Revisado por:

JSG

Nº /

CommandButton1

AP-019-18E

Nº de muestra / Prof. (m): ZGC-01	Nº Informe Lab : AP-019-18E
Descripción / Zona: Underflow Supergene	
Ubicación: Arequipa	Fecha: 12-feb-19

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA Nº 4			
% Retenido en la Malla Nº 4	P ₁	0,0	
Nº de Prueba		1	2
1) Peso de grava en agua S.S.S. en aire (gr)			
2) Peso de grava en agua S.S.S. en agua (gr)			
3) Peso de grava seca (gr)			Promedio
4) Gravedad Específica de Sólidos Aparente	(3) / [(3)-(2)]	G _{s1}	
5) Gravedad Específica de Sólidos Seca	(3) / [(1)-(2)]		
6) Gravedad Específica de Sólidos S.S.S.	(1) / [(1)-(2)]		
7) Absorción (%)	[(1)-(3)] / (3) * 100		

MATERIAL PASA LA MALLA Nº 4			
% Pasa la Malla Nº 4	P ₂	100,0	
1) Nº de Fiola		1	2
2) Peso de Fiola (gr)		158,1	179,5
3) Peso de Muestra Seca (gr)		100,0	100,0
4) Peso de Muestra Seca + Fiola (gr)		258,1	279,5
5) Peso de Muestra Seca + Fiola + Agua (gr)		720,8	742,1
6) Peso de Fiola + Peso de agua		656,5	678,1
7) Gravedad Específica de Sólidos	(3)/[(3)+(6)-(5)]	G _{s2}	
8) Temperatura (°C)		23	23
9) Corrección por Temperatura (K)		0,9993	0,9993
10) Gravedad Específica de Sólidos Corregido	(7)*(9)	G _{s2 (20°C)}	2,79

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

G _{s_{prom}} =	2,79
---------------------------------	------

Notas: Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.
El G_{s_{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: DCF	Ingresado por: EHB	Revisado por: JSG	Nº Informe Lab : AP-019-18E
---------------------------	---------------------------	--------------------------	------------------------------------

N° de muestra / Prof. (m): **ZGC-01**

N° Informe Lab : **AP-019-18E**

Descripción / Zona: **Underflow Supergene**

Ubicación: **Arequipa**

Fecha: **20-feb-19**

Partículas >3" (%): ---

Grava (%): -

Arena (%): 77,2

Limos y Arcillas (%): 22,8

Límites de Atterberg:

LL (%) : NP

LP (%) : NP

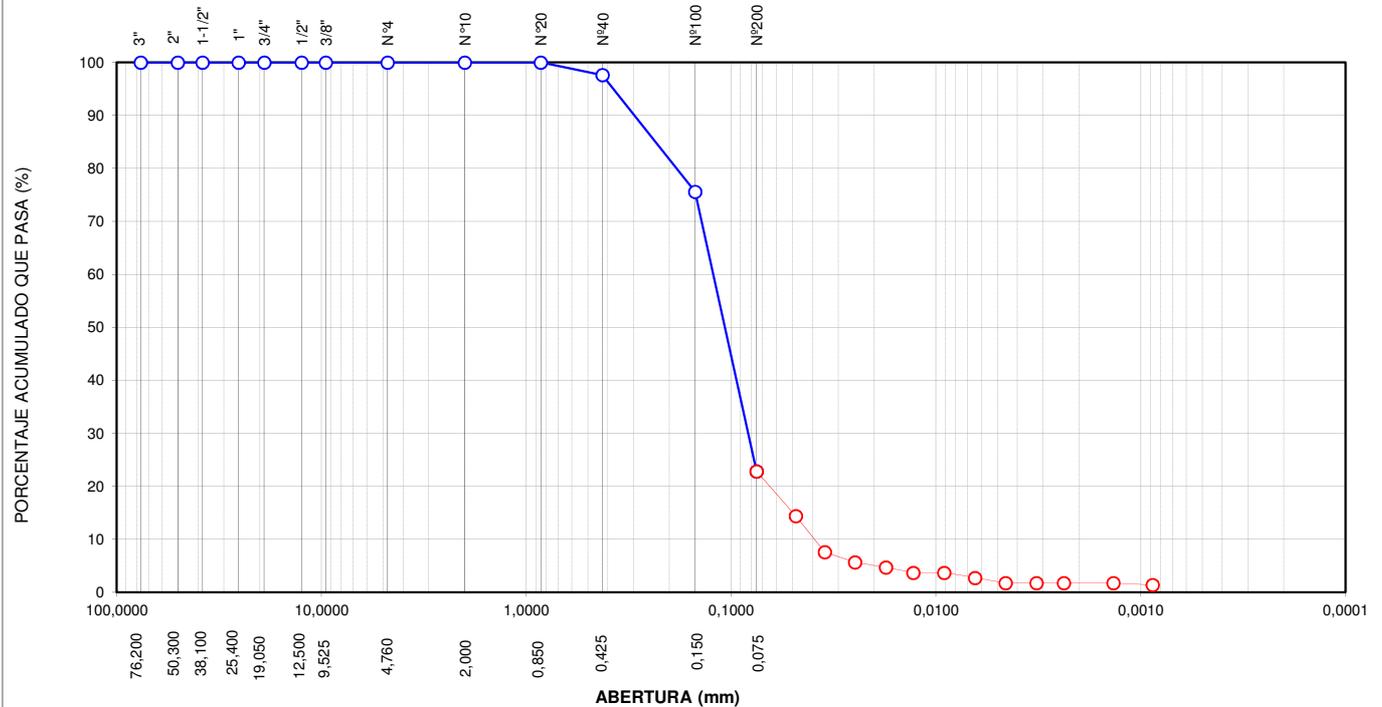
IP (%) : NP

Clasificación SUCS : **SM**

Arena limosa

Análisis por Tamizado			Análisis por Hidrómetro		
Tamiz	Abertura(mm)	% Acumulado que pasa	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa	Material
3"	76,200	100,0	0,0483	14,4	Limos
2"	50,300	100,0	0,0348	7,6	Limos
1 1/2"	38,100	100,0	0,0248	5,6	Limos
1"	25,400	100,0	0,0175	4,7	Limos
3/4"	19,050	100,0	0,0129	3,7	Limos
1/2"	12,500	100,0	0,0091	3,7	Limos
3/8"	9,525	100,0	0,0064	2,7	Limos
Nº4	4,760	100,0	0,0046	1,7	Arcillas
Nº10	2,000	100,0	0,0032	1,7	Arcillas
Nº20	0,850	100,0	0,0024	1,7	Arcillas
Nº40	0,425	97,6	0,0014	1,7	Arcillas
Nº100	0,150	75,6	0,0009	1,4	Coloides
Nº200	0,075	22,8			

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:

EHB

Revisado por:

JSG

N° Informe Lab :

AP-019-18E

Nº de muestra / Prof. (m): **ZGC-02**

Nº Informe Lab : **AP-019-18E**

Descripción / Zona: **Feed Hypogene**

Ubicación: **Arequipa**

Fecha: **20-feb-19**

Partículas >3" (%) : ---

Grava (%) : -

Arena (%) : 37,5

Limos y Arcillas (%) : 62,5

Límites de Atterberg:

LL (%) : NP

LP (%) : NP

IP (%) : NP

Humedad (%) : 181,7

Clasificación SUCS : ML

Limo de baja plasticidad arenoso

D10 :

D30 :

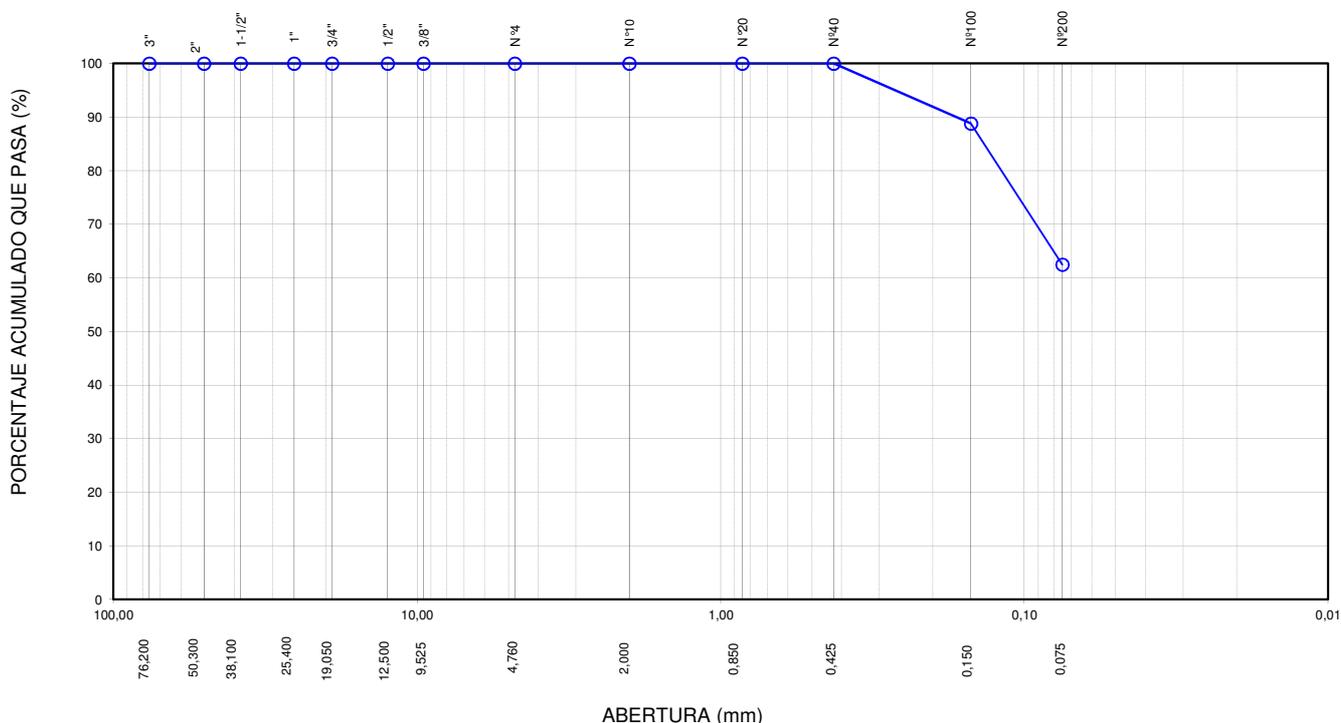
D60 :

Cu :

Cc :

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,300	100,0
1 1/2"	38,100	100,0
1"	25,400	100,0
3/4"	19,050	100,0
1/2"	12,500	100,0
3/8"	9,525	100,0
Nº4	4,760	100,0
Nº10	2,000	100,0
Nº20	0,850	100,0
Nº40	0,425	100,0
Nº100	0,150	88,8
Nº200	0,075	62,5

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:

EHB

Revisado por:

JSG

Nº Informe Lab :

AP-019-18E

Nº de muestra / Prof. (m):	ZGC-02	Nº Informe Lab :	AP-019-18E
Descripción / Zona:	Feed Hypogene		
Ubicación:	Arequipa	Fecha:	20-feb-19

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA Nº 4			
% Retenido en la Malla Nº 4	P ₁	0,0	
Nº de Prueba		1	2
1) Peso de grava en agua S.S.S. en aire (gr)			
2) Peso de grava en agua S.S.S. en agua (gr)			
3) Peso de grava seca (gr)			Promedio
4) Gravedad Específica de Sólidos Aparente	(3) / [(3)-(2)]	G _{s1}	
5) Gravedad Específica de Sólidos Seca	(3) / [(1)-(2)]		
6) Gravedad Específica de Sólidos S.S.S.	(1) / [(1)-(2)]		
7) Absorción (%)	[(1)-(3)] / (3) * 100		

MATERIAL PASA LA MALLA Nº 4			
% Pasa la Malla Nº 4	P ₂	100,0	
1) Nº de Fiola		1	2
2) Peso de Fiola (gr)		188,0	159,3
3) Peso de Muestra Seca (gr)		100,0	100,0
4) Peso de Muestra Seca + Fiola (gr)		288,0	259,3
5) Peso de Muestra Seca + Fiola + Agua (gr)		749,6	720,9
6) Peso de Fiola + Peso de agua		686,1	657,4
7) Gravedad Específica de Sólidos	(3)/[(3)+(6)-(5)]	G _{s2}	2,74
8) Temperatura (°C)		19	19
9) Corrección por Temperatura (K)		1,0002	1,0002
10) Gravedad Específica de Sólidos Corregido	(7)*(9)	G _{s2 (20°C)}	2,74

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

G _{s_{prom}} =	2,74
---------------------------------	------

Notas: Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.
El G_{s_{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	EHB	JSG	AP-019-18E

Nº de muestra / Prof. (m): **ZGC-02**

Nº Informe Lab : **AP-019-18E**

Descripción / Zona: **Feed Hypogene**

Ubicación: **Arequipa**

Fecha: **20-feb-19**

Partículas >3" (%): ---

Grava (%): -

Arena (%): 36,2

Limos y Arcillas (%): 63,8

Límites de Atterberg:

LL (%) : NP

LP (%) : NP

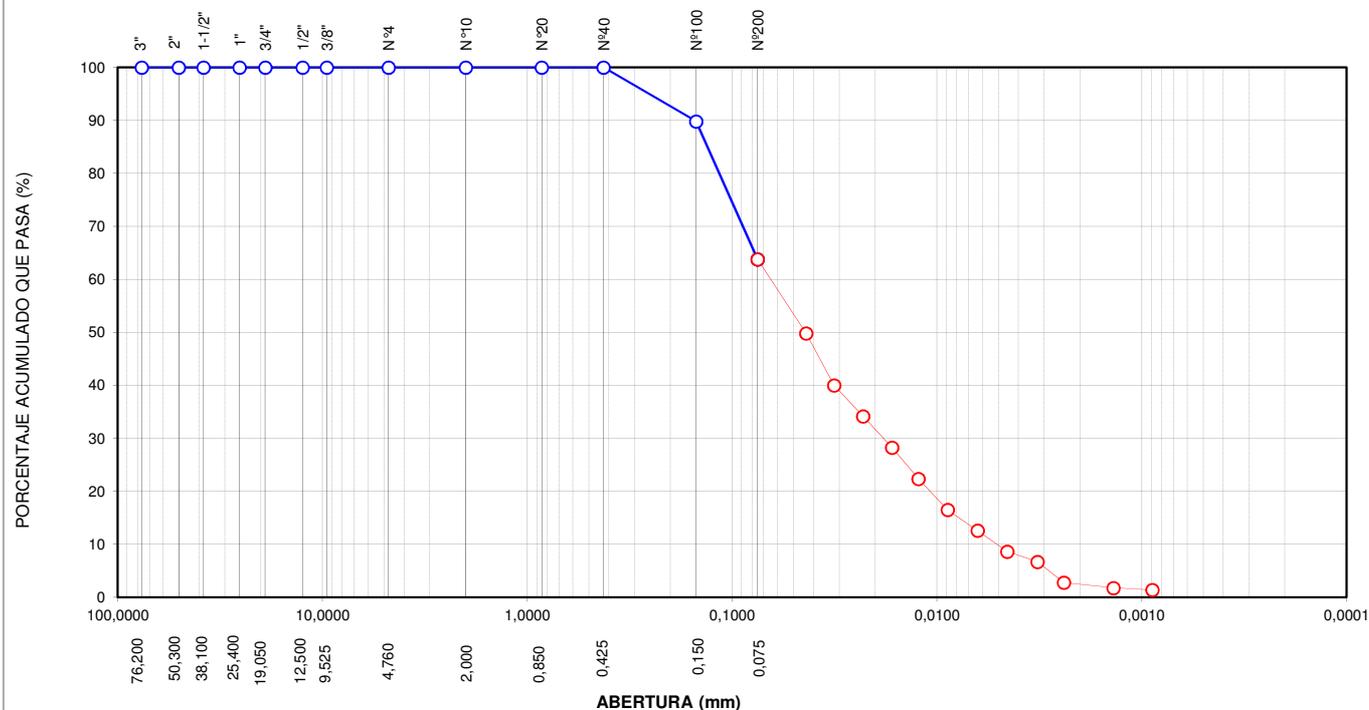
IP (%) : NP

Clasificación SUCS : **ML**

Limo de baja plasticidad arenoso

Análisis por Tamizado			Análisis por Hidrómetro		
Tamiz	Abertura(mm)	% Acumulado que pasa	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa	Material
3"	76,200	100,0	0,0434	49,8	Limos
2"	50,300	100,0	0,0318	40,0	Limos
1 1/2"	38,100	100,0	0,0229	34,1	Limos
1"	25,400	100,0	0,0165	28,2	Limos
3/4"	19,050	100,0	0,0123	22,4	Limos
1/2"	12,500	100,0	0,0089	16,5	Limos
3/8"	9,525	100,0	0,0063	12,5	Limos
Nº4	4,760	100,0	0,0045	8,6	Arcillas
Nº10	2,000	100,0	0,0032	6,7	Arcillas
Nº20	0,850	100,0	0,0024	2,7	Arcillas
Nº40	0,425	100,0	0,0014	1,8	Arcillas
Nº100	0,150	89,8	0,0009	1,4	Coloides
Nº200	0,075	63,8			

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:

EHB

Revisado por:

JSG

Nº Informe Lab :

AP-019-18E

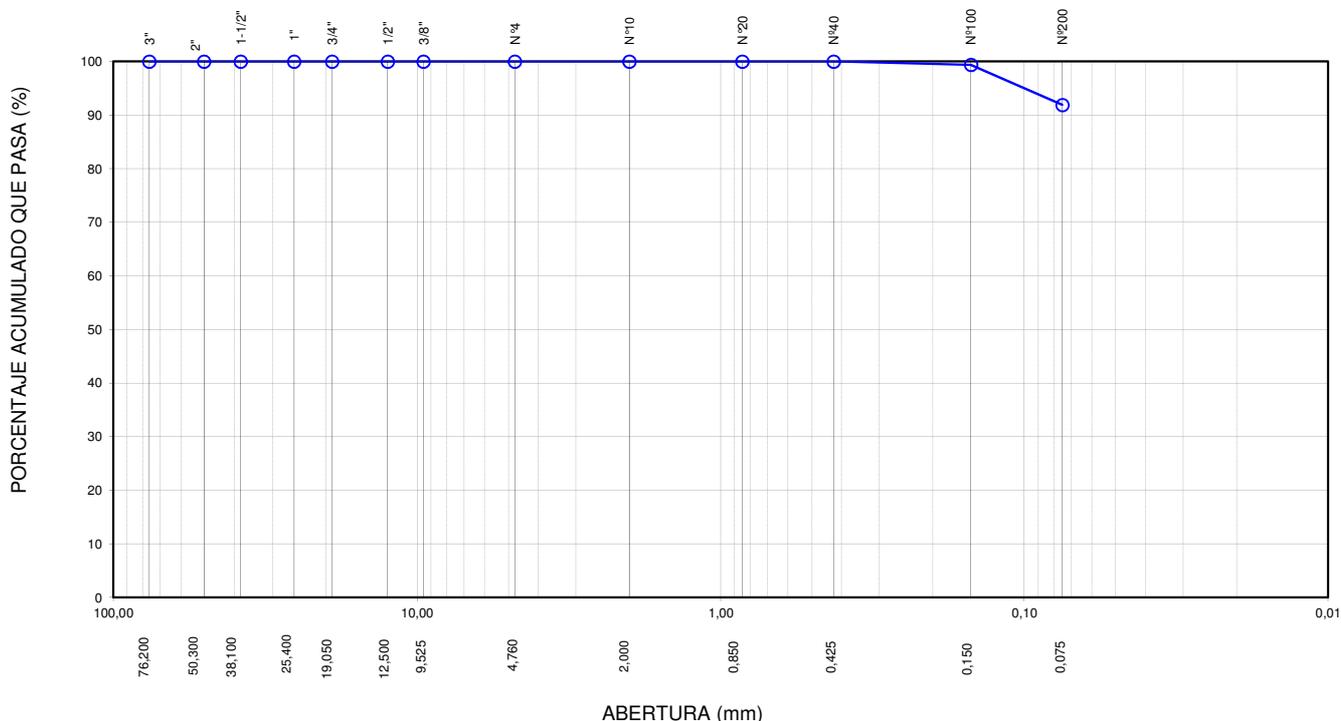
Nº de muestra / Prof. (m): **ZGC-02** Nº Informe Lab : **AP-019-18E**
 Descripción / Zona: **Overflow Hypogene**
 Ubicación: **Arequipa** Fecha: **20-feb-19**

Partículas >3" (%) : ---
 Grava (%) : -
 Arena (%) : 8,1
 Limos y Arcillas (%) : 91,9
 Límites de Atterberg:
 LL (%) : 30
 LP (%) : 20
 IP (%) : 10
 Humedad (%) : 391,0
 Clasificación SUCS : CL
 Arcilla de baja plasticidad

D10 :
 D30 :
 D60 :
 Cu :
 Cc :

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,300	100,0
1 1/2"	38,100	100,0
1"	25,400	100,0
3/4"	19,050	100,0
1/2"	12,500	100,0
3/8"	9,525	100,0
Nº4	4,760	100,0
Nº10	2,000	100,0
Nº20	0,850	100,0
Nº40	0,425	100,0
Nº100	0,150	99,4
Nº200	0,075	91,9

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: **EHB** Revisado por: **JSG** Nº Informe Lab : **AP-019-18E**

Nº de muestra / Prof. (m): **ZGC-02**

Nº Informe Lab : **AP-019-18E**

Descripción / Zona: **Overflow Hypogene**

Ubicación: **Arequipa**

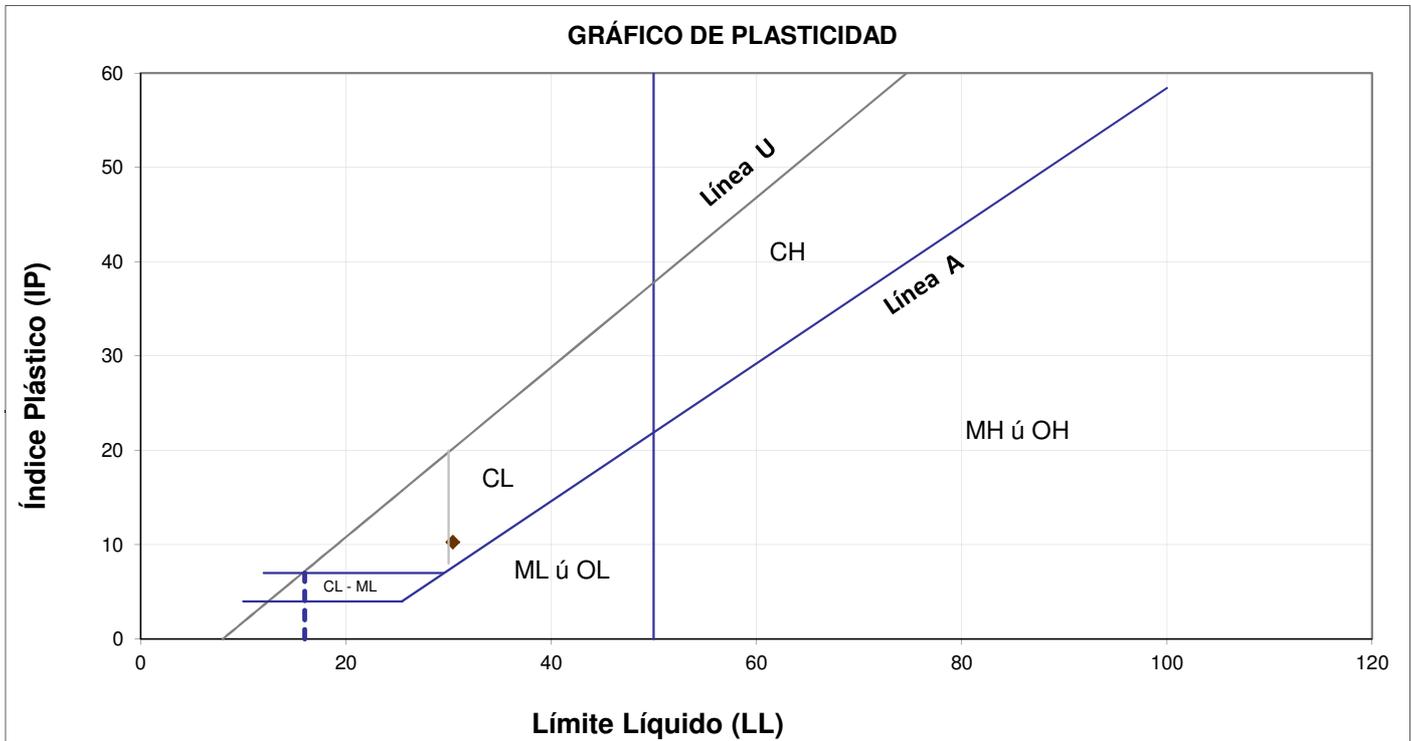
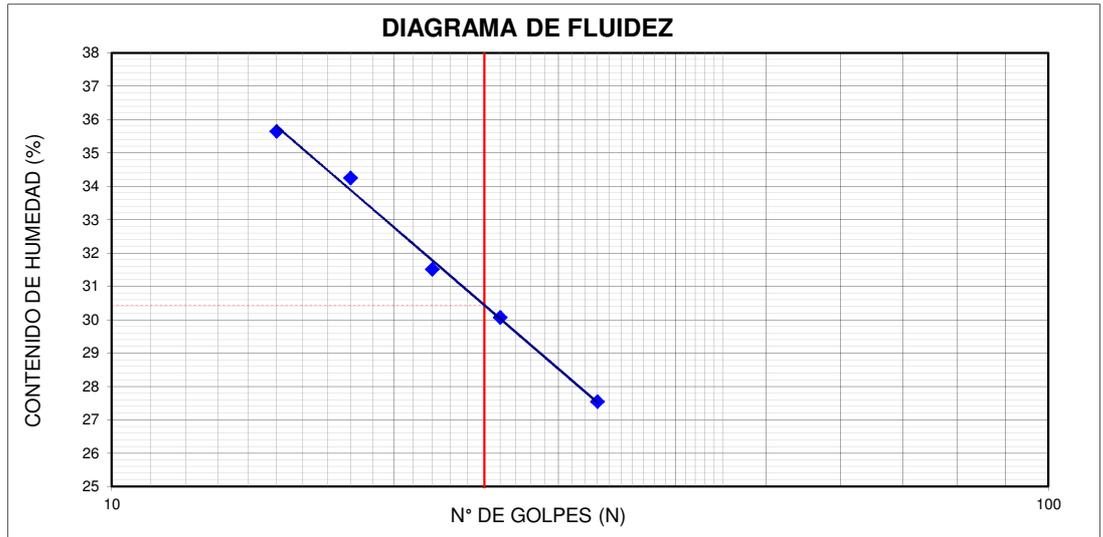
Fecha: **20-feb-19**

Límites de Atterberg

LL (%): 30

LP (%): 20

IP (%): 10



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:

EHB

Revisado por:

JSG

Nº Informe Lab :

AP-019-18E

Nº de muestra / Prof. (m): **ZGC-02**

Nº Informe Lab : **AP-019-18E**

Descripción / Zona: **Overflow Hypogene**

Ubicación: **Arequipa**

Fecha: **20-feb-19**

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA Nº 4			
% Retenido en la Malla Nº 4	P ₁	0,0	
Nº de Prueba		1	2
1) Peso de grava en agua S.S.S. en aire (gr)			
2) Peso de grava en agua S.S.S. en agua (gr)			
3) Peso de grava seca (gr)			
4) Gravedad Específica de Sólidos Aparente	(3) / [(3)-(2)]	G _{s1}	
5) Gravedad Específica de Sólidos Seca	(3) / [(1)-(2)]		
6) Gravedad Específica de Sólidos S.S.S.	(1) / [(1)-(2)]		
7) Absorción (%)	[(1)-(3)] / (3) * 100		
			Promedio

MATERIAL PASA LA MALLA Nº 4			
% Pasa la Malla Nº 4	P ₂	100,0	
Nº de Fiola		1	2
2) Peso de Fiola (gr)		210,6	161,6
3) Peso de Muestra Seca (gr)		100,0	100,0
4) Peso de Muestra Seca + Fiola (gr)		310,6	261,6
5) Peso de Muestra Seca + Fiola + Agua (gr)		772,6	723,9
6) Peso de Fiola + Peso de agua		709,3	660,5
7) Gravedad Específica de Sólidos	(3)/[(3)+(6)-(5)]	G _{s2}	
8) Temperatura (°C)		19	19
9) Corrección por Temperatura (K)		1,0002	1,0002
10) Gravedad Específica de Sólidos Corregido	(7)*(9)	G _{s2 (20°C)}	2,73

$$G_{s_{prom}} = \frac{1}{\frac{P_1}{100 \times G_{s_1}} + \frac{P_2}{100 \times G_{s_2 (20^\circ C)}}}$$

G _{s_{prom}} =	2,73
---------------------------------	------

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

El G_{s_{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:

DCF

Ingresado por:

EHB

Revisado por:

JSG

Nº Informe Lab :

AP-019-18E

Nº de muestra / Prof. (m): **ZGC-02**

Nº Informe Lab : **AP-019-18E**

Descripción / Zona: **Overflow Hypogene**

Ubicación: **Arequipa**

Fecha: **20-feb-19**

Partículas >3" (%): ---

Grava (%): -

Arena (%): 8,0

Limos y Arcillas (%): 92,0

Límites de Atterberg:

LL (%): 30

LP (%): 20

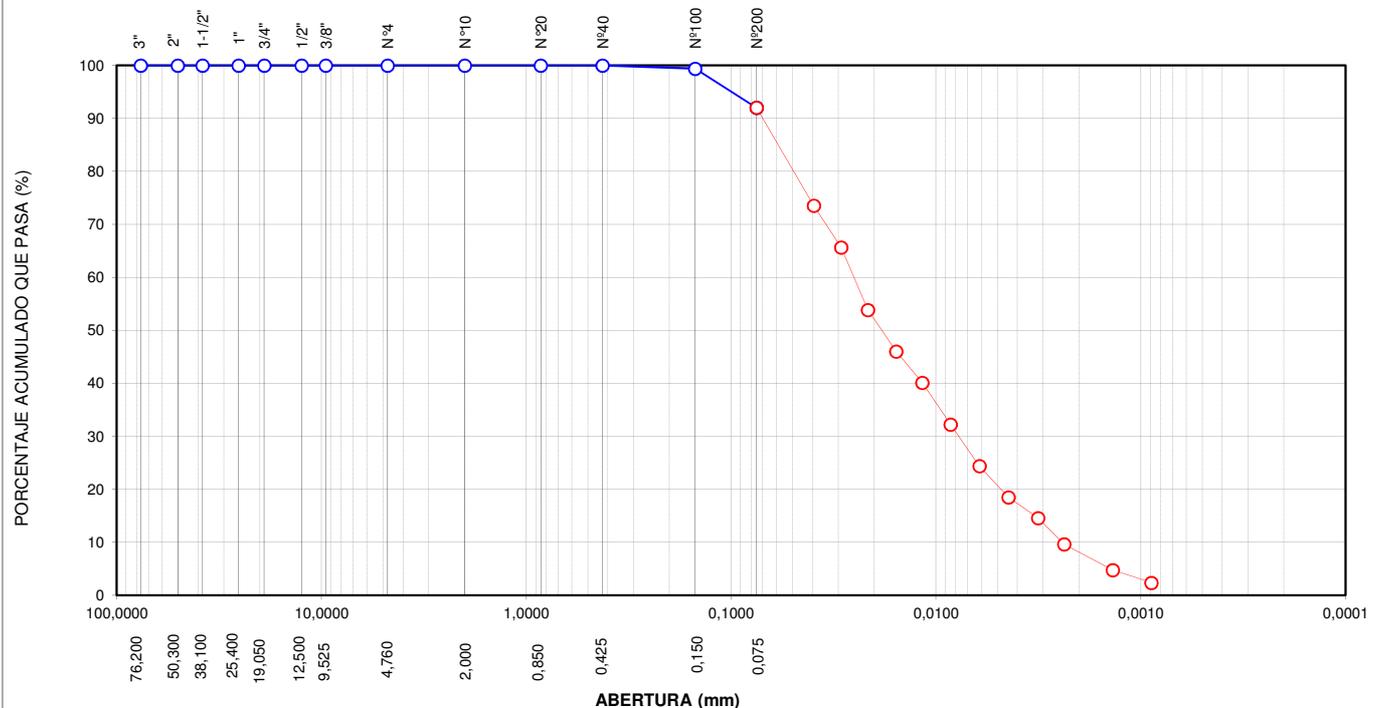
IP (%): 10

Clasificación SUCS : **CL**

Arcilla de baja plasticidad

Análisis por Tamizado			Análisis por Hidrómetro		
Tamiz	Abertura(mm)	% Acumulado que pasa	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa	Material
3"	76,200	100,0	0,0395	73,5	Limos
2"	50,300	100,0	0,0290	65,6	Limos
1 1/2"	38,100	100,0	0,0215	53,9	Limos
1"	25,400	100,0	0,0156	46,0	Limos
3/4"	19,050	100,0	0,0116	40,1	Limos
1/2"	12,500	100,0	0,0085	32,2	Limos
3/8"	9,525	100,0	0,0061	24,4	Limos
Nº4	4,760	100,0	0,0044	18,5	Arcillas
Nº10	2,000	100,0	0,0032	14,5	Arcillas
Nº20	0,850	100,0	0,0024	9,6	Arcillas
Nº40	0,425	100,0	0,0014	4,7	Arcillas
Nº100	0,150	99,4	0,0009	2,4	Coloides
Nº200	0,075	92,0			

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:

JSG

Nº Informe Lab :

AP-019-18E

Nº de muestra / Prof. (m): **ZGC-02** Nº Informe Lab : **AP-019-18E**
 Descripción / Zona: **Underflow Hypogene**
 Ubicación: **Arequipa** Fecha: **12-feb-19**

Partículas >3" (%) : ---
 Grava (%) : -
 Arena (%) : 86,5
 Limos y Arcillas (%) : 13,5

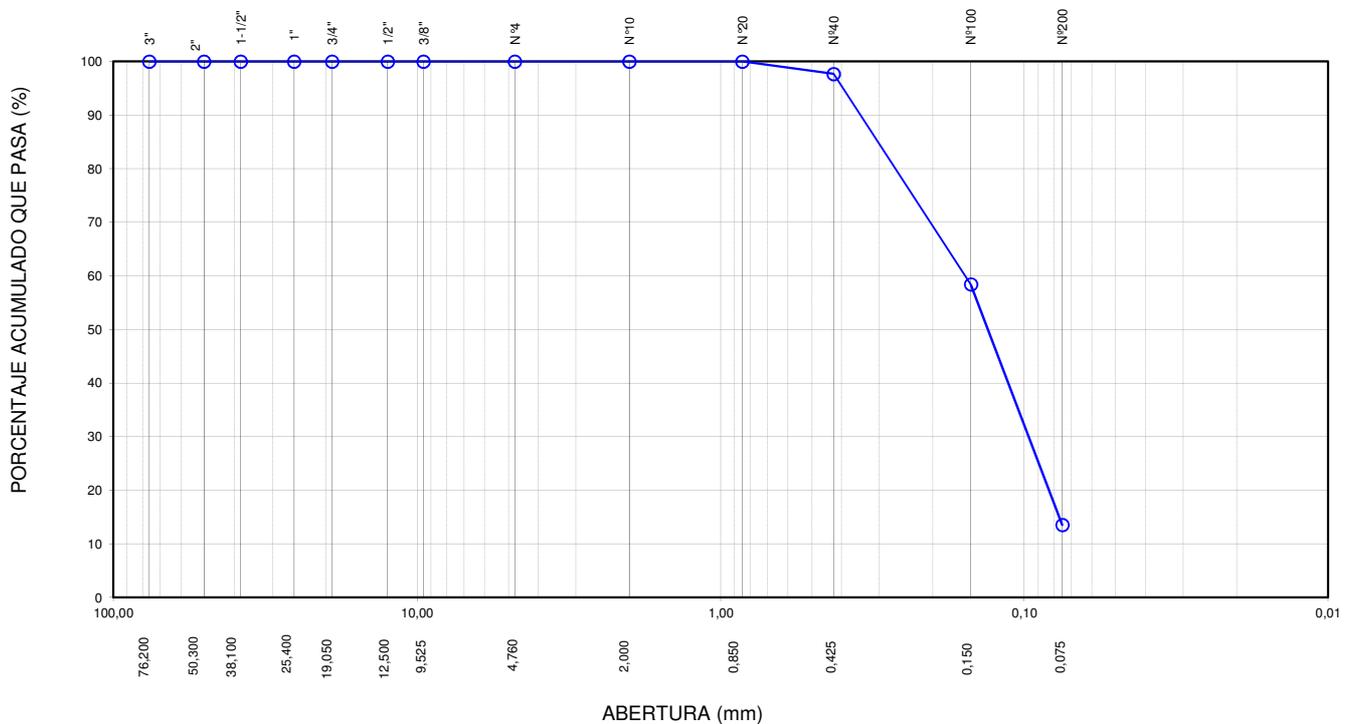
D10 :
 D30: 0,10
 D60: 0,16
 Cu:
 Cc:

Límites de Atterberg:
 LL (%) : NP
 LP (%) : NP
 IP (%) : NP

Humedad (%) : 41,4
 Clasificación SUCS : SM
 Arena limosa

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,300	100,0
1 1/2"	38,100	100,0
1"	25,400	100,0
3/4"	19,050	100,0
1/2"	12,500	100,0
3/8"	9,525	100,0
Nº4	4,760	100,0
Nº10	2,000	100,0
Nº20	0,850	100,0
Nº40	0,425	97,7
Nº100	0,150	58,4
Nº200	0,075	13,5

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: **EHB** Revisado por: **JSG** Nº Informe Lab : **AP-019-18E**

N° de muestra / Prof. (m): **ZGC-02**

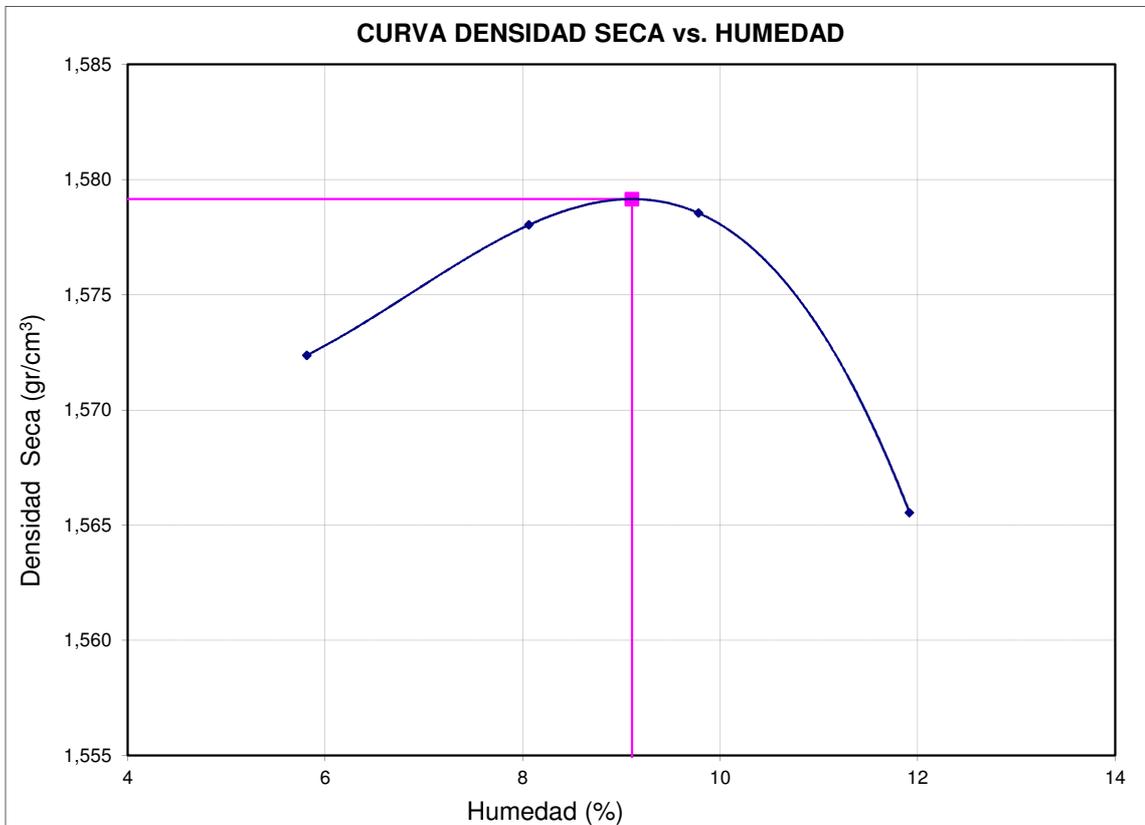
N° InformeLab: **AP-019-18E**

Descripción / Zona: **Underflow Hypogene**

Ubicación: **Arequipa**

Fecha: **12-feb-19**

Prueba N°	1	2	3	4	5	6
Densidad seca (gr/cm ³)	1,572	1,578	1,579	1,566		
Humedad(%)	5,8	8,1	9,8	11,9		



Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	1,579
Óptimo Contenido de Humedad (%)	9,1

Máx. Dens. Seca Corregida (gr/cm ³)	--
Ópt. Cont. de Humedad Corregida (%)	--

Fracción Sobre tamaño	
GS (Bulk)	=
w(%)	=

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:
EHB

Revisado por:
JSG

N° Informe Lab :
AP-019-18E

Nº de muestra / Prof. (m):	ZGC-02	Nº Informe Lab :	AP-019-18E
Descripción / Zona:	Underflow Hypogene		
Ubicación:	Arequipa	Fecha:	12-feb-19

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA Nº 4			
% Retenido en la Malla Nº 4	P ₁	0,0	
Nº de Prueba		1	2
1) Peso de grava en agua S.S.S. en aire (gr)			
2) Peso de grava en agua S.S.S. en agua (gr)			
3) Peso de grava seca (gr)			Promedio
4) Gravedad Específica de Sólidos Aparente	(3) / [(3)-(2)]	G _{s1}	
5) Gravedad Específica de Sólidos Seca	(3) / [(1)-(2)]		
6) Gravedad Específica de Sólidos S.S.S.	(1) / [(1)-(2)]		
7) Absorción (%)	[(1)-(3)] / (3) * 100		

MATERIAL PASA LA MALLA Nº 4			
% Pasa la Malla Nº 4	P ₂	100,0	
1) Nº de Fiola		1	2
2) Peso de Fiola (gr)		161,8	210,6
3) Peso de Muestra Seca (gr)		100,0	100,0
4) Peso de Muestra Seca + Fiola (gr)		261,8	310,6
5) Peso de Muestra Seca + Fiola + Agua (gr)		724,5	773,4
6) Peso de Fiola + Peso de agua		660,1	708,9
7) Gravedad Específica de Sólidos	(3)/[(3)+(6)-(5)]	G _{s2}	
8) Temperatura (°C)		23	23
9) Corrección por Temperatura (K)		0,9993	0,9993
10) Gravedad Específica de Sólidos Corregido	(7)*(9)	G _{s2 (20°C)}	2,81

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

G _{s_{prom}} =	2,81
---------------------------------	------

Notas: Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.
El G_{s_{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	JSG	AP-019-18E

Nº de muestra / Prof. (m): **ZGC-02**

Nº Informe Lab : **AP-019-18E**

Descripción / Zona: **Underflow Hypogene**

Ubicación: **Arequipa**

Fecha: **20-feb-19**

Partículas >3" (%): ---

Grava (%): -

Arena (%): 85,6

Limos y Arcillas (%): 14,4

Límites de Atterberg:

LL (%): NP

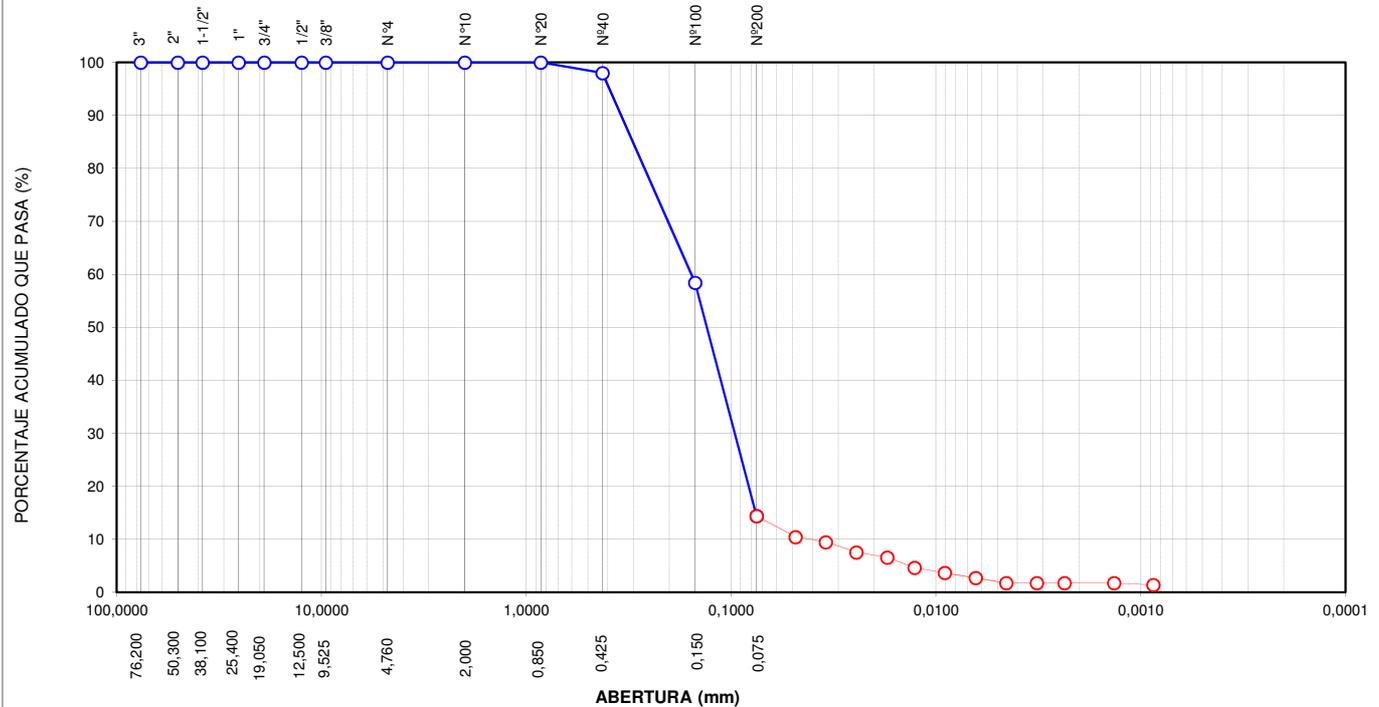
LP (%): NP

IP (%): NP

Clasificación SUCS : **SM**
Arena limosa

Análisis por Tamizado			Análisis por Hidrómetro		
Tamiz	Abertura(mm)	% Acumulado que pasa	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa	Material
3"	76,200	100,0	0,0485	10,4	Limos
2"	50,300	100,0	0,0345	9,5	Limos
1 1/2"	38,100	100,0	0,0245	7,5	Limos
1"	25,400	100,0	0,0173	6,6	Limos
3/4"	19,050	100,0	0,0127	4,6	Limos
1/2"	12,500	100,0	0,0091	3,7	Limos
3/8"	9,525	100,0	0,0064	2,7	Limos
Nº4	4,760	100,0	0,0045	1,7	Arcillas
Nº10	2,000	100,0	0,0032	1,7	Arcillas
Nº20	0,850	100,0	0,0024	1,7	Arcillas
Nº40	0,425	98,0	0,0014	1,7	Arcillas
Nº100	0,150	58,4	0,0009	1,4	Coloides
Nº200	0,075	14,4			

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:

JSG

Nº Informe Lab :

AP-019-18E

N° de muestra / Prof. (m): **ZGC-01**

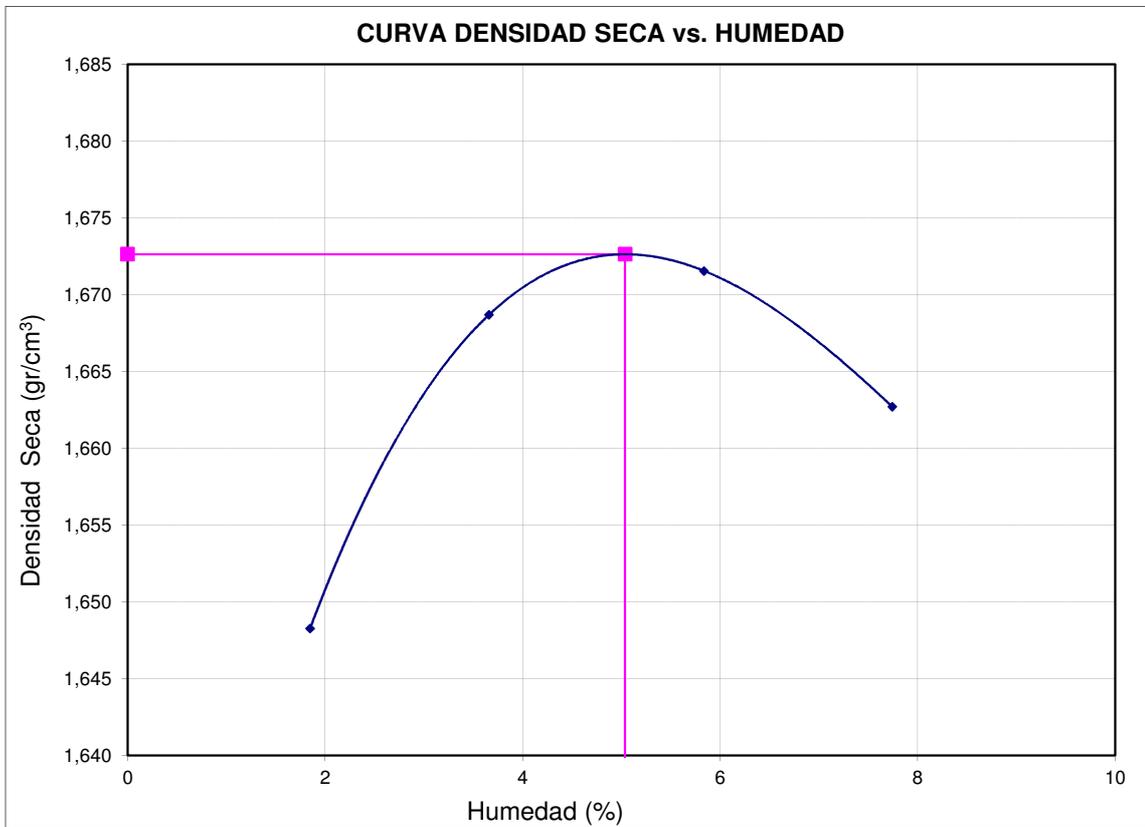
N° InformeLab: **AP-019-18E**

Descripción / Zona: **Underflow Supergene**

Ubicación: **Arequipa**

Fecha: **13-feb-19**

Prueba N°	1	2	3	4	5	6
Densidad seca (gr/cm ³)	1,648	1,669	1,672	1,663		
Humedad(%)	1,8	3,7	5,8	7,7		



Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	1,673
Óptimo Contenido de Humedad (%)	5,0

Máx. Dens. Seca Corregida (gr/cm ³)	--
Ópt. Cont. de Humedad Corregida (%)	--

Fracción Sobre tamaño	
GS (Bulk)	=
w(%)	=

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:
JSG

N° Informe Lab :
AP-019-18E

N° de muestra / Prof. (m): **ZGC-02**

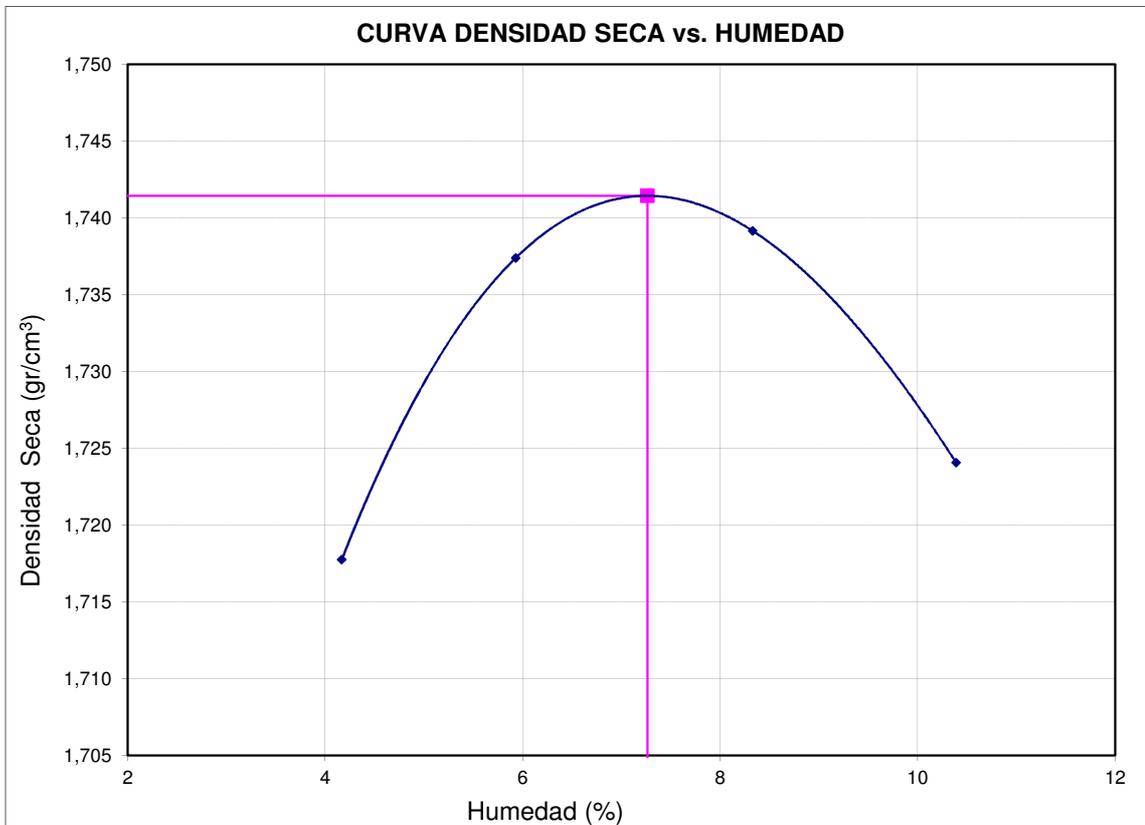
N° InformeLab: **AP-019-18E**

Descripción / Zona: **Underflow Hypogene**

Ubicación: **Arequipa**

Fecha: **13-feb-19**

Prueba N°	1	2	3	4	5	6
Densidad seca (gr/cm ³)	1,718	1,737	1,739	1,724		
Humedad(%)	4,2	5,9	8,3	10,4		



Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	1,741
Óptimo Contenido de Humedad (%)	7,3

Máx. Dens. Seca Corregida (gr/cm ³)	--
Ópt. Cont. de Humedad Corregida (%)	--

Fracción Sobre tamaño	
GS (Bulk)	=
w(%)	=

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:
JSG

N° Informe Lab :
AP-019-18E

3. STATIC TRIAXIAL TESTING

Consolidated undrained triaxial testing with pore pressure instrumentation (CIU) was performed on reconstituted specimens of underflow sand per ASTM D4767 procedures. Four specimens of SG underflow and four specimens of HG underflow were prepared and tested at a range of confining pressures chosen to represent the anticipated confining pressures within the sand dam (0.6, 1.2, 2.4, and 3.2 MPa). Test results for the HG underflow are shown in **Figure 3-1** through **Figure 3-5**. Test results for the SG underflow are shown in **Figure 3-6** through **Figure 3-10**.

Reference: Data Report from Geotechnical Testing of Pilot Plant Tailing Samples

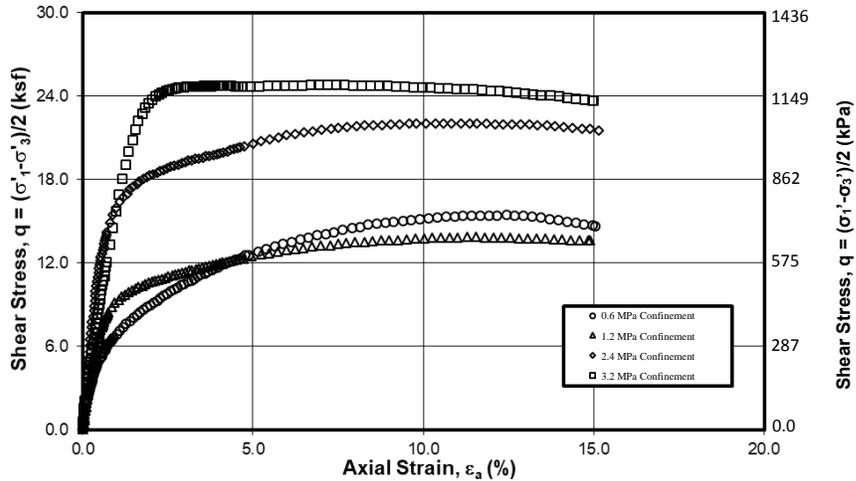


Figure 3-1 – Shear Stress versus Axial Strain, Hypogene (HY) Underflow. Figure provided by Fugro

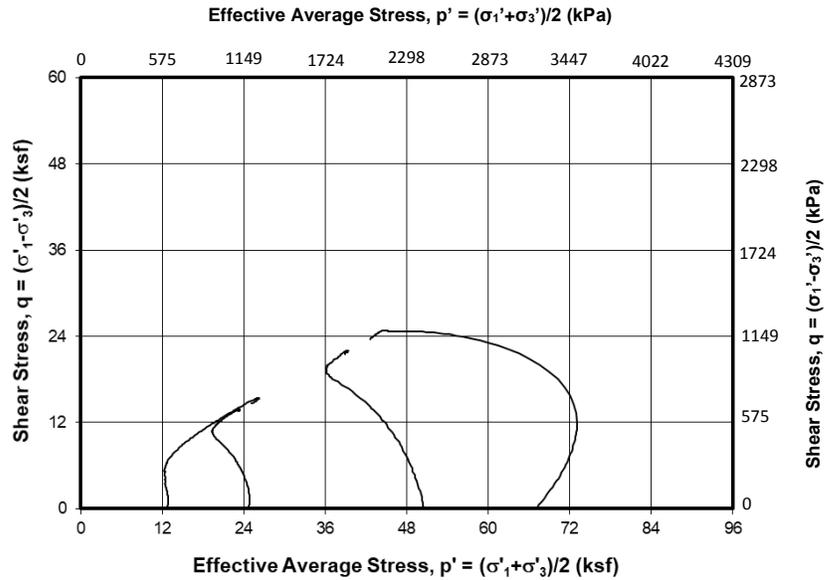


Figure 3-2 – Mean Stress versus Shear Stress, Hypogene (HY) Underflow. Figure provided by Fugro

Reference: Data Report from Geotechnical Testing of Pilot Plant Tailing Samples

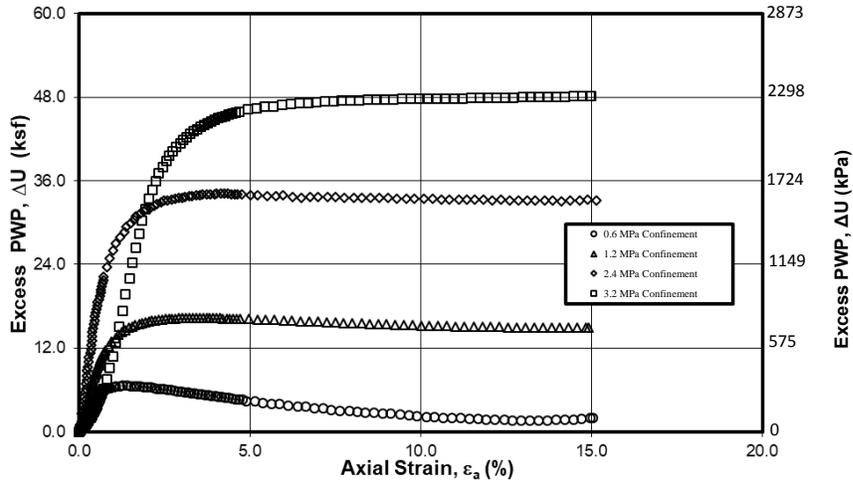


Figure 3-3 – Excess Pore Water Pressure versus Axial Strain, Hypogene (HY) Underflow. Figure provided by Fugro

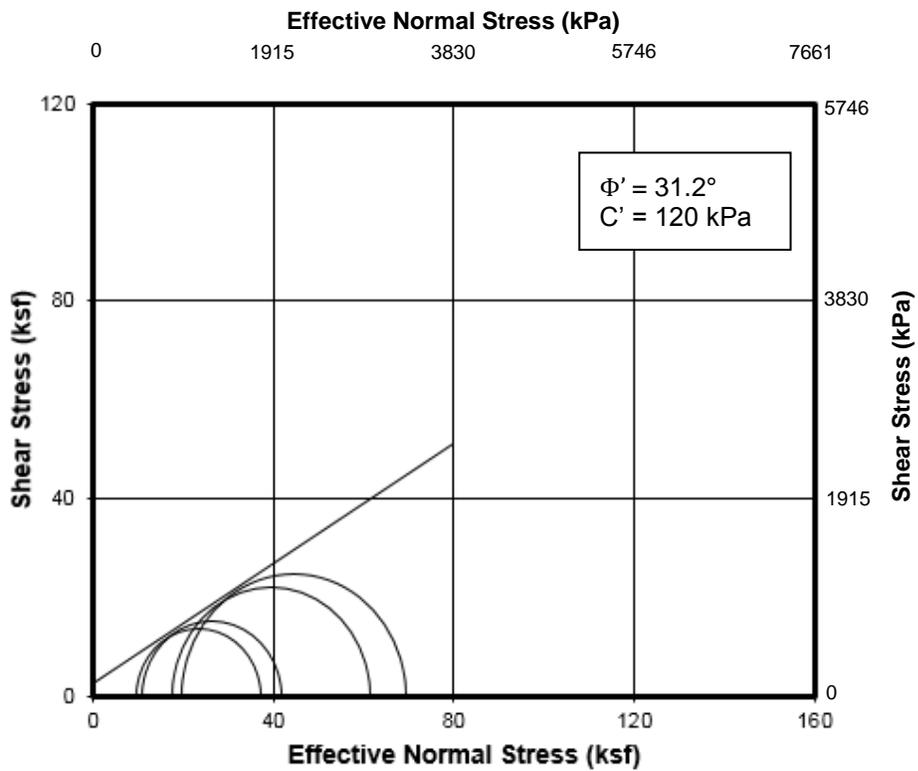


Figure 3-4 – Effective Stress Strength Parameters, Hypogene (HY) Underflow. Figure provided by Fugro

Reference: Data Report from Geotechnical Testing of Pilot Plant Tailing Samples

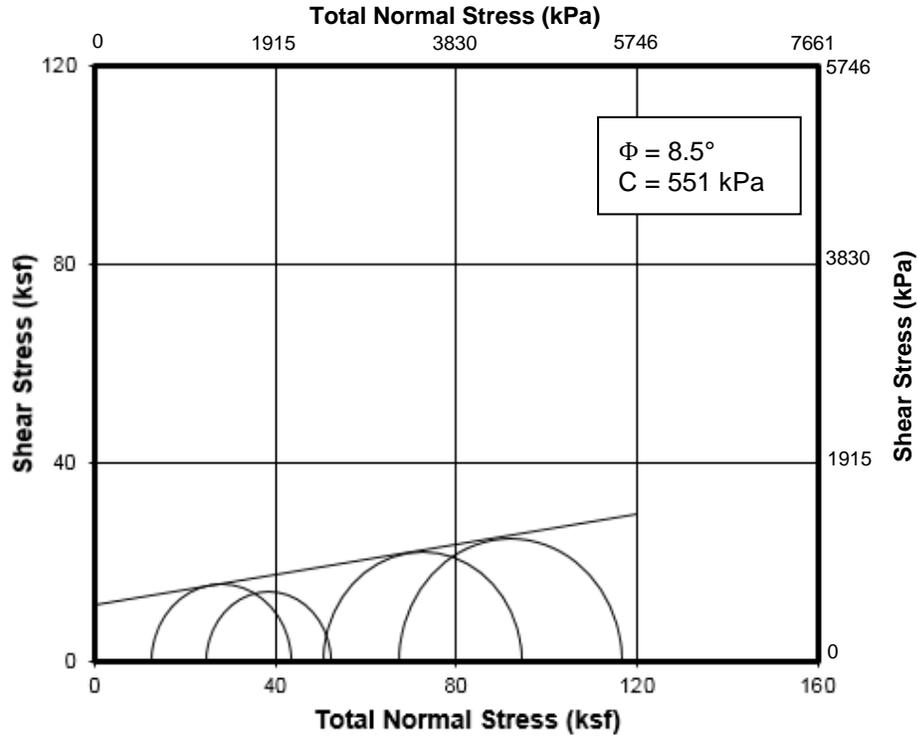


Figure 3-5 – Total Stress Strength Parameters, Hypogene (HY) Underflow. Figure provided by Fugro

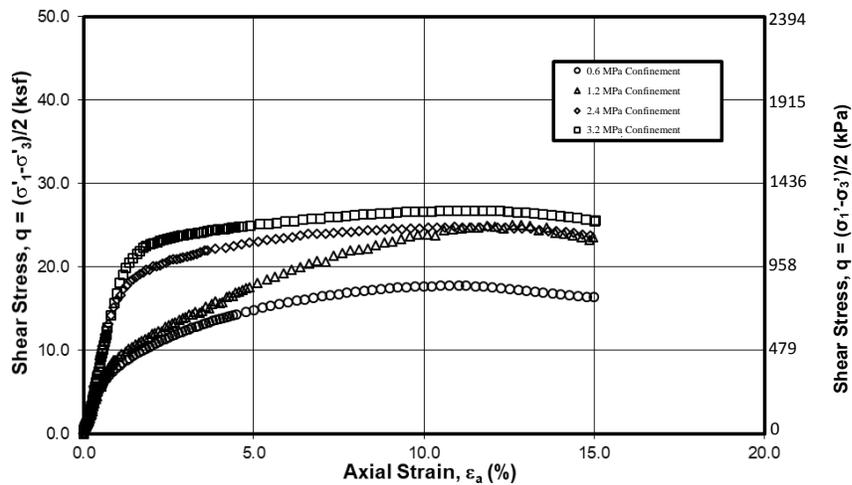


Figure 3-6 – Shear Stress versus Axial Strain, Supergene (SG) Underflow. Figure provided by Fugro

Reference: Data Report from Geotechnical Testing of Pilot Plant Tailing Samples

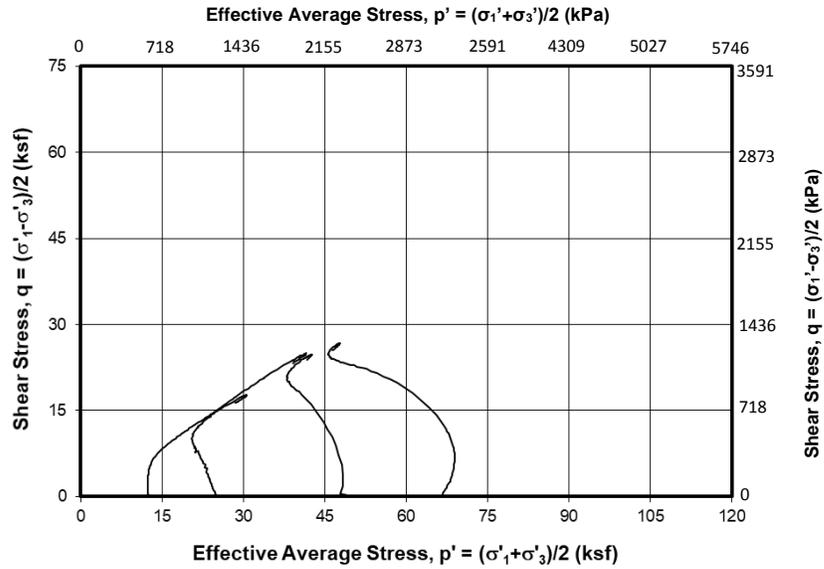


Figure 3-7 – Mean Stress versus Shear Stress, Supergene (SG) Underflow. Figure provided by Fugro

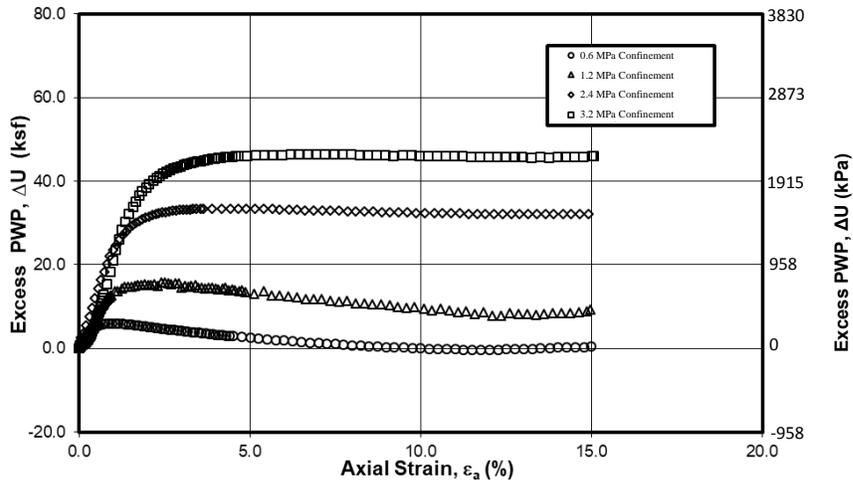


Figure 3-8 – Excess Pore Water Pressure versus Axial Strain, Supergene (SG) Underflow. Figure provided by Fugro

Reference: Data Report from Geotechnical Testing of Pilot Plant Tailing Samples

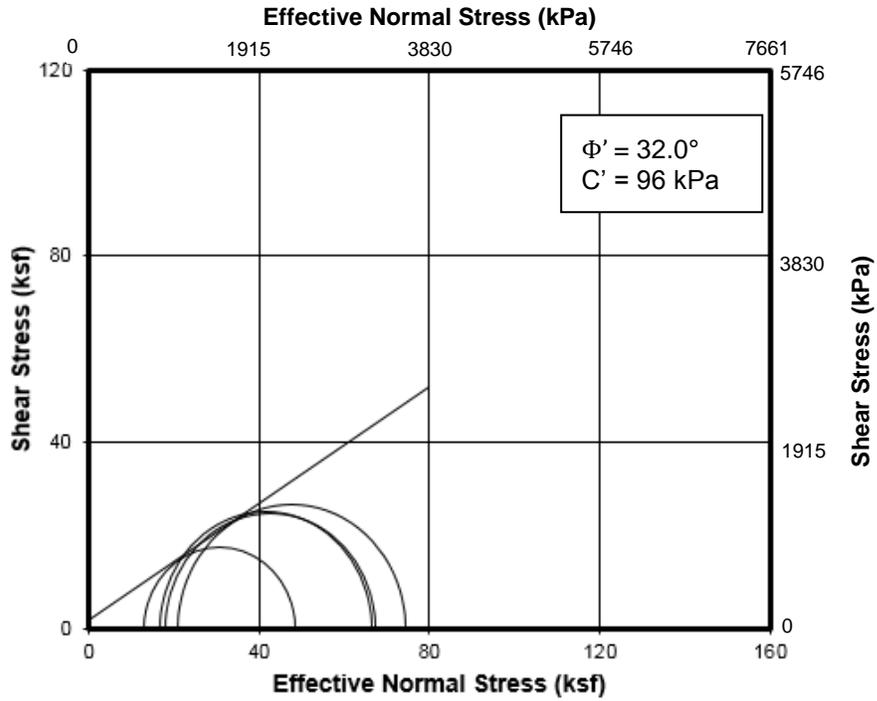


Figure 3-9 – Effective Stress Strength Parameters, Supergene (SG) Underflow. Figure provided by Fugro

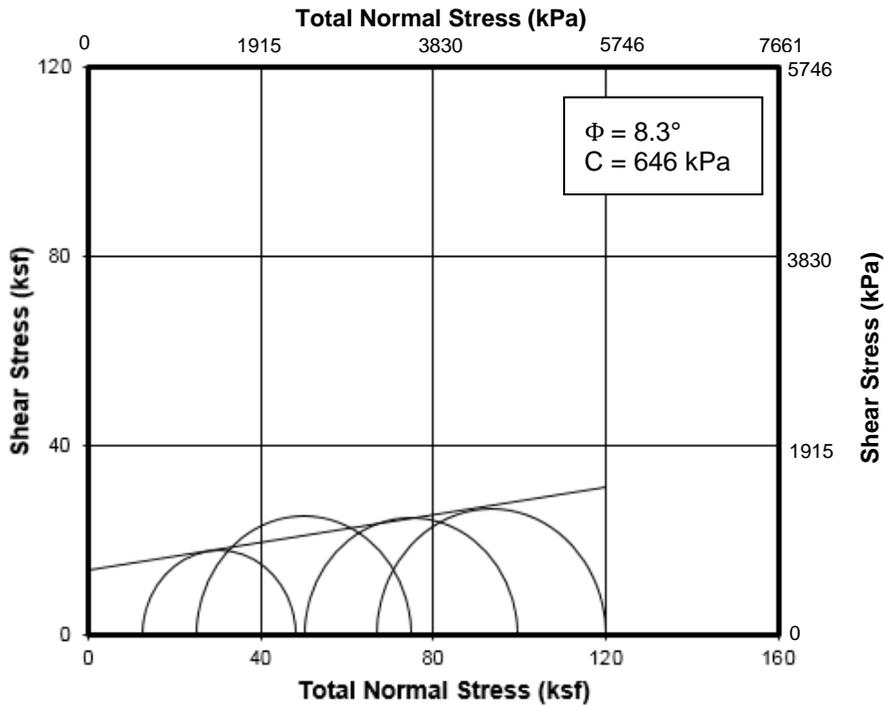


Figure 3-10 – Total Stress Strength Parameters, Supergene (SG) Underflow. Figure provided by Fugro

Reference: Data Report from Geotechnical Testing of Pilot Plant Tailing Samples

Table 1-1: Summary of Permeability Testing

Tailing	Specimen Height		Specimen Area		Effective Confining Stress (MPa)	Average Applied Gradient	Hydraulic Conductivity, k
	Initial (mm)	Final (mm)	Initial (cm ²)	Final (cm ²)			@ 20° c (cm/s)
HY	101.91	100.71	20.16	20.28	1.5	0.9	3.64E-04
HY	101.91	99.97	20.16	20.07	3.0	2.3	1.29E-04
SG	108.00	107.80	20.16	20.41	1.5	0.3	1.69E-04
SG	108.00	106.97	20.16	20.39	3.0	0.3	8.92E-05

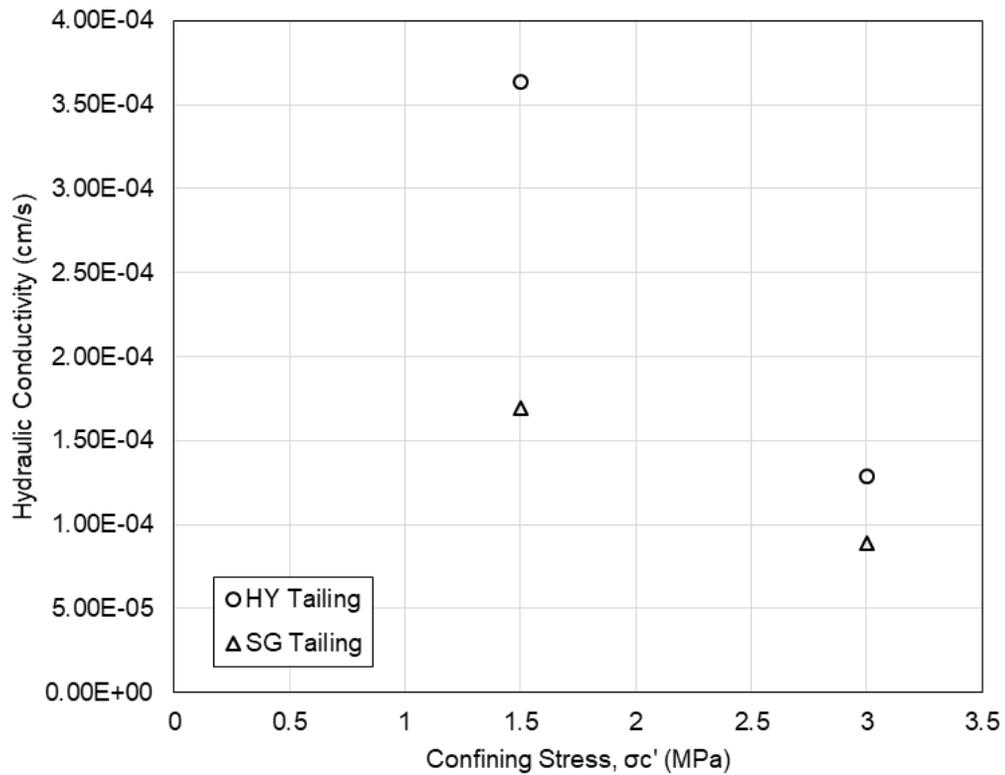


Figure 2-1 – Measured Hydraulic Conductivity Values versus Confining Stresses.

Sample N° / Depth (m): **ZETS-05 / SG-Feed**

Report N°: **AP-030-16**

Area: -

Location: **Arequipa**

Date: **01-mar-16**

Particles >3" (%): ---

Gravel (%): -

Sand (%): 61,2

Silt and clay (%): 38,8

D10 :

D30:

D60: 0,17

Cu:

Cc:

Atterberg limits:

LL (%): NP

PL (%): NP

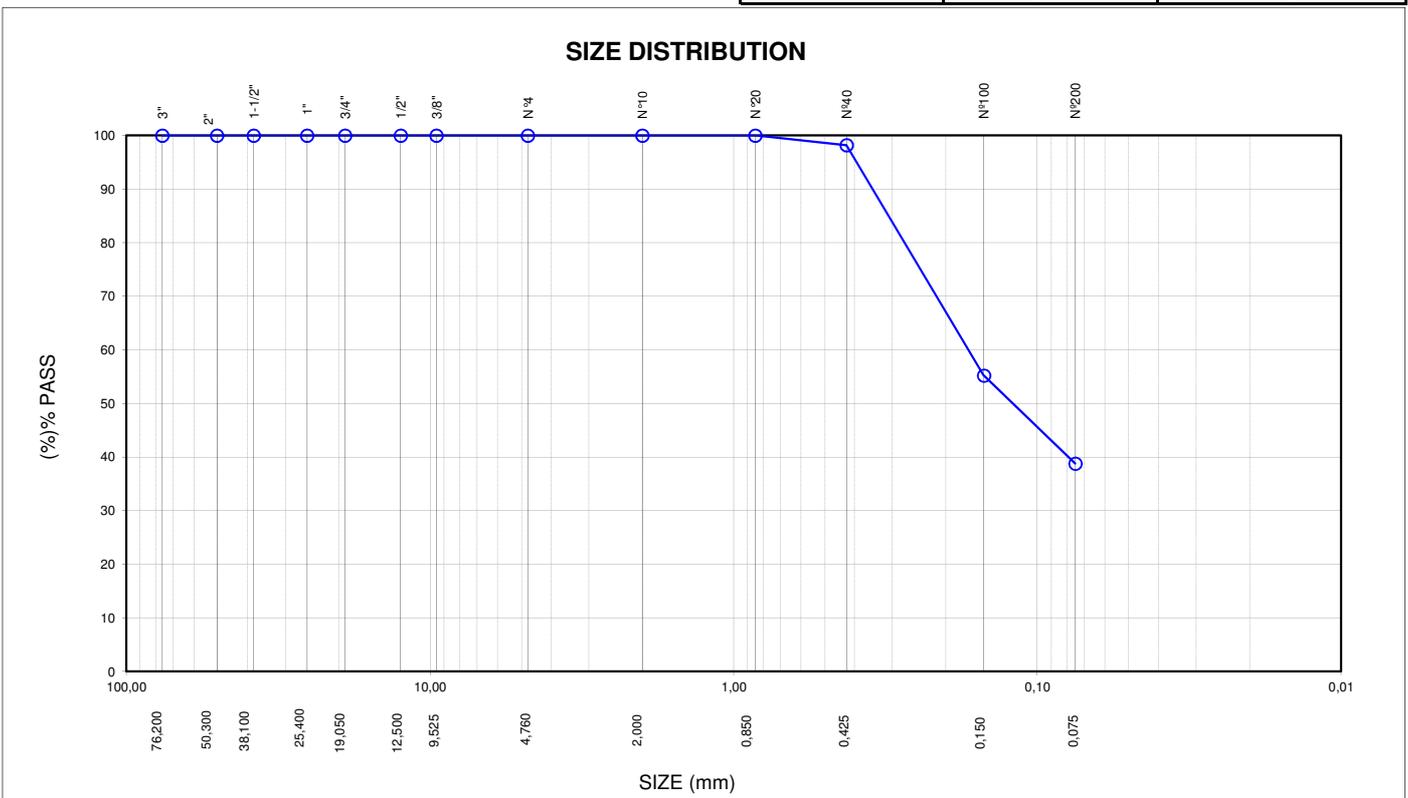
PI (%): NP

Moisture content (%): 218,0

USCS Classification : SM

Silt

Sieve	Size (mm)	% passing
3"	76,200	100,0
2"	50,300	100,0
1 1/2"	38,100	100,0
1"	25,400	100,0
3/4"	19,050	100,0
1/2"	12,500	100,0
3/8"	9,525	100,0
N°4	4,760	100,0
N°10	2,000	100,0
N°20	0,850	100,0
N°40	0,425	98,2
N°100	0,150	55,2
N°200	0,075	38,8



Note:

The sample were provided and identified by the petitioner.

These results apply only to the samples supplied and tested for the above reference job. The data and information are proprietary and can not be released without the authorization of AUSENCO PERU S.A.C. By accepting the data and results represented on this page, client agrees to limit the liability of AUSENCO PERU S.A.C. from Client and all other parties claims arising out of the use of this data to the cost for the respective test(s) represented here, and the Client agrees to indemnify and hold harmless Ausenco from and against all liability in excess of the aforementioned limit.

Performed by:

NCA

Developed by:

HEV

Checked by:

TOM

Report N°:

AP-030-16

Sample N° / Depth (m): **ZETS-05 / SG-Feed**

Report N°: **AP-030-16**

Area: **-**

Location: **Arequipa**

Date: **01-mar-16**

RETAINED MATERIAL INTO THE MESH No. 4			
% Retained into the mesh No. 4	P ₁	0,0	
Test N°		1	2
1) Weight of gravel S.S.D. in air (gr)			
2) Weight of gravel S.S.D. in water (gr)			
3) Dry weight of gravel (gr)			
4) Apparent Specific Gravity of Solids	(3) / [(3)-(2)]	G _{s1}	
5) Specific Gravity of Dry Solid	(3) / [(1)-(2)]		
6) Specific Gravity of Solid S.S.D.	(1) / [(1)-(2)]		
7) Absortion (%)	[(1)-(3)] / (3) * 100		
			Average

MATERIAL PASSING MESH N° 4			
% Passes the mesh N° 4	P ₂	100,0	
1) N° de Pycnometer		1	2
2) Pycnometer Weight (gr)		179,5	158,2
3) Weight of Dry Sample (gr)		100,0	100,0
4) Weight of Dry Sample + Pycnometer (gr)		279,5	258,2
5) Weight of Dry Sample + Pycnometer + Water (gr)		740,3	719,1
6) Pycnometer Weight + Water Weight		678,2	657,0
7) Specific Gravity of Solids	(3)/[(3)+(6)-(5)]	G _{s2}	
8) Temperature (°C)		22	22
9) Temperature correction (K)		0,9996	0,9996
10) Specific Gravity of Solids correction	(7)*(9)	G _{s2} (20°C)	2,64

$$G_{s_{prom}} = \frac{1}{\frac{P_1}{100 \times G_{s_1}} + \frac{P_2}{100 \times G_{s_2} (20^\circ C)}}$$

G _{s_{prom}} =	2,64
---------------------------------	------

Note:

El Gprom weight is a function of Apparent Specific Gravity.

The sample were provided and identified by the petitioner.

These results apply only to the samples supplied an tested for the above reference job. The data and information are proprietary and can not be released without the authorization of AUSENCO PERU S.A.C. By accepting the data and results represented on this page, client agrees to limit the liability of AUSENCO PERU S.A.C. from Client and all other parties claims arising out the use of this data to the cost for the respective test(s) represented here, and the Client agrees to indemnify and hold harmless Ausenco from and against all liability in excess of the aforementioned limit.

Performed by:

NCA

Developed by:

HEV

Checked by:

TOM

Report N°:

AP-030-16

Sample N° / Depth (m): **ZETS-05 / SG-Feed**

Report N°: **AP-030-16**

Descripción / Zona: -

Location: **Arequipa**

Date: **02-mar-16**

Particles >3" (%) : ---

Gravel (%) : -

Sand (%) : 61,6

Silt and clay (%) : 38,4

Atterberg limits:

LL (%) : NP

PL (%) : NP

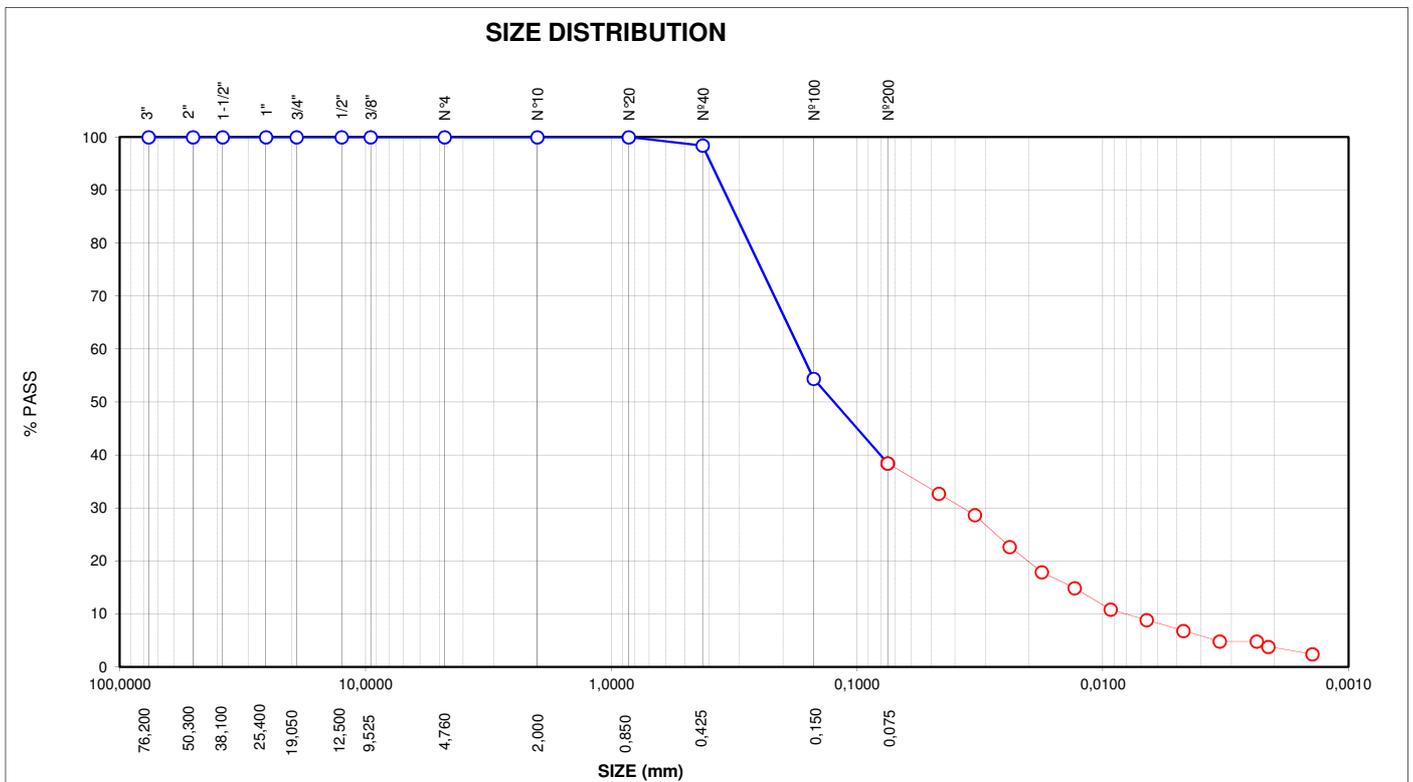
PI (%) : NP

Moisture content (%) :

USCS Classification : **SM**

Silt

Sieve analysis			Hydrometer analysis		
Sieve	Size (mm)	% Passing	Size (mm)	% Passing	Material
3"	76,200	100,0	0,0464	32,7	Silt
2"	50,300	100,0	0,0332	28,7	Silt
1 1/2"	38,100	100,0	0,0239	22,7	Silt
1"	25,400	100,0	0,0177	17,9	Silt
3/4"	19,050	100,0	0,0130	14,8	Silt
1/2"	12,500	100,0	0,0093	10,8	Silt
3/8"	9,525	100,0	0,0066	8,8	Silt
N°4	4,760	100,0	0,0047	6,8	Clay
N°10	2,000	100,0	0,0033	4,8	Clay
N°20	0,850	100,0	0,0024	4,8	Clay
N°40	0,425	98,4	0,0021	3,8	Clay
N°100	0,150	54,4	0,0014	2,4	Clay
N°200	0,075	38,4			



Note:

The sample were provided and identified by the petitioner.

These results apply only to the samples supplied an tested for the above reference job. The data and information are proprietary and can not be released without the authorization of AUSENCO PERU S.A.C. By accepting the data and results represented on this page, client agrees to limit the liability of AUSENCO PERU S.A.C. from Client and all other parties claims arising out the use of this data to the cost for the respective test(s) represented here, and the Client agrees to indemnify and hold harmless Ausenco from and against all liability in excess of the aforementioned limit.

Performed by:

DCF

Developed by:

HEV

Checked by:

TOM

Report N°:

AP-030-16

**DECANTING TAILINGS
(SETTLED DENSITY)**

GEOTECHNICAL LABORATORY

Report N°: AP-030-16		
Sample N° / Depth (m): ZETS-05 / SG-Feed	Area: -	Date: 03/03/2016
Mix Solid weight 507,7 gr Water weight 507,7 gr Specific gravity 2,64		Location: Arequipa

Date	Time	Hour	Specimen 1	Specimen 2	Average	Saturated density	Dry density	% Solid
	Hours		Lecturas cm3	Readings cm3	Readings cm3	gr/cm3	gr/cm3	
03/03/2016 09:37	0:00:00	0,0	0	0	0,0	1,451	0,725	50,00%
03/03/2016 09:38	0:01:03	0,0	10	10	10,0	1,457	0,736	50,50%
03/03/2016 09:39	0:02:48	0,0	20	20	20,0	1,464	0,747	51,00%
03/03/2016 09:42	0:05:52	0,1	30	30	30,0	1,471	0,758	51,52%
03/03/2016 09:46	0:09:18	0,2	40	40	40,0	1,478	0,769	52,05%
03/03/2016 09:49	0:12:13	0,2	50	50	50,0	1,485	0,781	52,59%
03/03/2016 09:52	0:15:17	0,3	60	60	60,0	1,493	0,793	53,14%
03/03/2016 09:55	0:18:20	0,3	70	70	70,0	1,501	0,806	53,70%
03/03/2016 09:58	0:21:20	0,4	80	80	80,0	1,509	0,819	54,28%
03/03/2016 10:01	0:24:32	0,4	90	90	90,0	1,517	0,832	54,86%
03/03/2016 10:04	0:27:11	0,5	100	100	100,0	1,526	0,846	55,46%
03/03/2016 10:08	0:31:00	0,5	110	110	110,0	1,535	0,860	56,07%
03/03/2016 10:10	0:33:29	0,6	120	120	120,0	1,544	0,875	56,70%
03/03/2016 10:16	0:39:05	0,7	140	140	140,0	1,563	0,907	58,00%
03/03/2016 10:18	0:41:32	0,7	150	150	150,0	1,573	0,923	58,67%
03/03/2016 10:20	0:43:50	0,7	160	160	160,0	1,584	0,940	59,35%
03/03/2016 10:23	0:46:05	0,8	170	170	170,0	1,595	0,958	60,05%
03/03/2016 10:24	0:47:59	0,8	180	180	180,0	1,607	0,976	60,77%
03/03/2016 10:26	0:49:32	0,8	190	190	190,0	1,618	0,995	61,51%
03/03/2016 10:29	0:52:25	0,9	200	200	200,0	1,631	1,015	62,26%
03/03/2016 10:38	1:01:22	1,0	210	210	210,0	1,644	1,036	63,04%
03/03/2016 10:50	1:13:53	1,2	220	220	220,0	1,657	1,058	63,83%
03/03/2016 11:09	1:32:47	1,5	230	230	230,0	1,671	1,080	64,64%
03/03/2016 12:00	2:23:00	2,4	245	245	245,0	1,693	1,116	65,90%
03/03/2016 13:39	4:02:00	4,0	260	260	260,0	1,717	1,154	67,21%
03/03/2016 15:44	6:07:11	6,1	265	265	265,0	1,725	1,167	67,66%
03/03/2016 19:00	9:23:00	9,4	265	265	265,0	1,725	1,167	67,66%
04/03/2016 07:00	21:23:00	21,4	266	266	266,0	1,727	1,170	67,75%

Notes: The soil were provided and identified by the applicant.

These results apply only to the samples supplied and tested for the above reference job. The data and information are proprietary and can not be released without the authorization of AUSENCO PERU S.A.C. By accepting the data and results represented on this page, client agrees to limit the liability of AUSENCO PERU S.A.C. from Client and all other parties claims arising out of the use of this data to the cost for the respective test(s) represented here, and the Client agrees to indemnify and hold harmless Ausenco and against all liability in excess of the aforementioned limit.

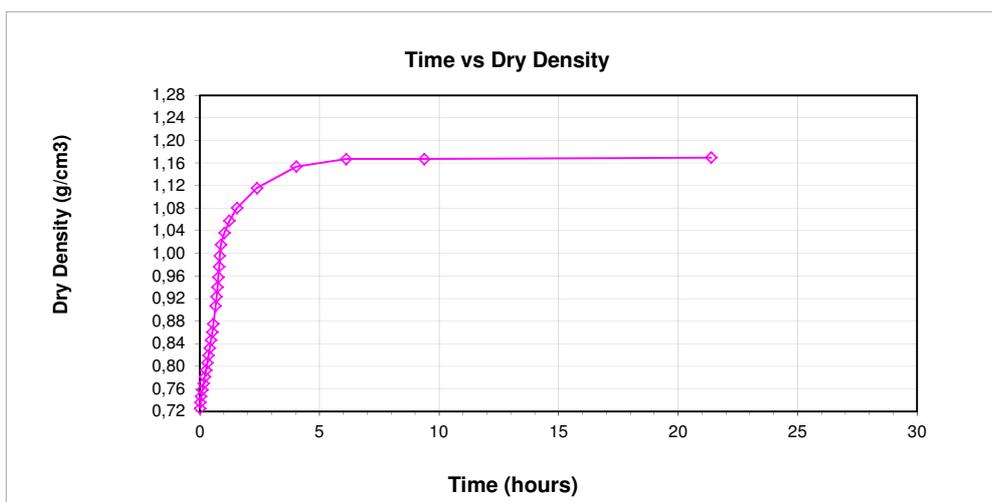
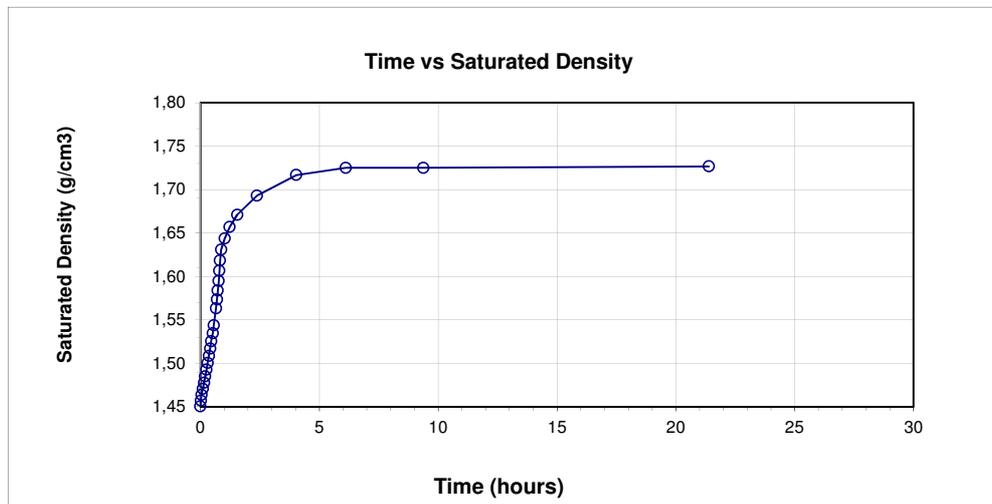
Performed by: DCF	Developed by: HEV	Checked by: TOM	Report N°: AP-030-16
----------------------	----------------------	--------------------	--------------------------------

DECANTING TAILINGS (SETTLED DENSITY)

GEOTECHNICAL LABORATORY

Report N°: AP-030-16		
Sample N° / Depth (m): ZETS-05 / SG-Feed	Area: -	Date: 03/03/2016
Mix Solid weight 507,7 gr Water weight 507,7 gr Specific gravity 2,64		Location: Arequipa

Note: The readings are compared to the rest water in a test tube of 1.000 cm³.



Notes: The soil were provided and identified by the applicant.

These results apply only to the samples supplied and tested for the above reference job. The data and information are proprietary and can not be released without the authorization of AUSENCO PERU S.A.C. By accepting the data and results represented on this page, client agrees to limit the liability of AUSENCO PERU S.A.C. from Client and all other parties claims arising out of the use of this data to the cost for the respective test(s) represented here, and the Client agrees to indemnify and hold harmless Ausenco and against all liability in excess of the aforementioned limit.

Performed by: DCF	Developed by: HEV	Checked by: TOM	Report N°: AP-030-16
----------------------	----------------------	--------------------	--------------------------------



DECANTING DRAINED TAILINGS (SETTLED DENSITY)

GEOTECHNICAL LABORATORY

Report N°: AP-030-16		
Sample N° / Depth (m): ZETS-05 / SG-Feed	Area: -	Date: 09/03/2016
Mix Solid weight 507,7 gr Water weight 507,7 gr Specific gravity 2,64		Location: Arequipa

Date	Time	Hour	Specimen 1	Specimen 2	Average	Saturated density	Dry density	% Solid
	Hours		Lecturas cm3	Readings cm3	Readings cm3	gr/cm3	gr/cm3	
07/03/2016 08:49	0:00:00	0,0	0	0	0,0	1,451	0,725	50,00%
07/03/2016 08:50	0:01:25	0,0	10	10	10,0	1,457	0,736	50,50%
07/03/2016 08:51	0:02:34	0,0	20	20	20,0	1,464	0,747	51,00%
07/03/2016 08:52	0:03:50	0,1	30	30	30,0	1,471	0,758	51,52%
07/03/2016 08:54	0:05:11	0,1	40	40	40,0	1,478	0,769	52,05%
07/03/2016 08:55	0:06:50	0,1	50	50	50,0	1,485	0,781	52,59%
07/03/2016 08:57	0:08:24	0,1	60	60	60,0	1,493	0,793	53,14%
07/03/2016 08:59	0:10:00	0,2	70	70	70,0	1,501	0,806	53,70%
07/03/2016 09:01	0:12:11	0,2	80	80	80,0	1,509	0,819	54,28%
07/03/2016 09:02	0:13:57	0,2	90	90	90,0	1,517	0,832	54,86%
07/03/2016 09:04	0:15:58	0,3	100	100	100,0	1,526	0,846	55,46%
07/03/2016 09:07	0:18:17	0,3	110	110	110,0	1,535	0,860	56,07%
07/03/2016 09:09	0:20:20	0,3	120	120	120,0	1,544	0,875	56,70%
07/03/2016 09:12	0:23:08	0,4	130	130	130,0	1,553	0,891	57,34%
07/03/2016 09:14	0:25:28	0,4	140	140	140,0	1,563	0,907	58,00%
07/03/2016 09:16	0:27:46	0,5	150	150	150,0	1,573	0,923	58,67%
07/03/2016 09:19	0:30:22	0,5	160	160	160,0	1,584	0,940	59,35%
07/03/2016 09:23	0:34:00	0,6	170	170	170,0	1,595	0,958	60,05%
07/03/2016 09:25	0:36:35	0,6	180	180	180,0	1,607	0,976	60,77%
07/03/2016 09:27	0:38:45	0,6	190	190	190,0	1,618	0,995	61,51%
07/03/2016 09:30	0:41:17	0,7	200	200	200,0	1,631	1,015	62,26%
07/03/2016 09:33	0:44:50	0,7	210	210	210,0	1,644	1,036	63,04%
07/03/2016 09:36	0:47:05	0,8	220	220	220,0	1,657	1,058	63,83%
07/03/2016 09:39	0:50:22	0,8	230	230	230,0	1,671	1,080	64,64%
07/03/2016 09:41	0:52:54	0,9	240	240	240,0	1,686	1,104	65,48%
07/03/2016 09:43	0:54:39	0,9	250	250	250,0	1,701	1,128	66,33%
07/03/2016 09:49	1:00:15	1,0	270	270	270,0	1,733	1,181	68,11%
07/03/2016 09:54	1:05:00	1,1	280	280	280,0	1,751	1,209	69,04%
07/03/2016 10:08	1:19:26	1,3	290	290	290,0	1,769	1,238	69,99%
07/03/2016 14:50	6:01:00	6,0	292	292	292,0	1,773	1,244	70,18%
07/03/2016 19:00	10:11:00	58,2	300	300	300,0	1,788	1,269	70,97%
08/03/2016 07:30	22:41:00	70,7	300	300	300,0	1,788	1,269	70,97%

Notes: The soil were provided and identified by the applicant.

These results apply only to the samples supplied and tested for the above reference job. The data and information are proprietary and can not be released without the authorization of AUSENCO PERU S.A.C. By accepting the data and results represented on this page, client agrees to limit the liability of AUSENCO PERU S.A.C. from Client and all other parties claims arising out of the use of this data to the cost for the respective test(s) represented here, and the Client agrees to indemnify and hold harmless Ausenco and against all liability in excess of the aforementioned limit.

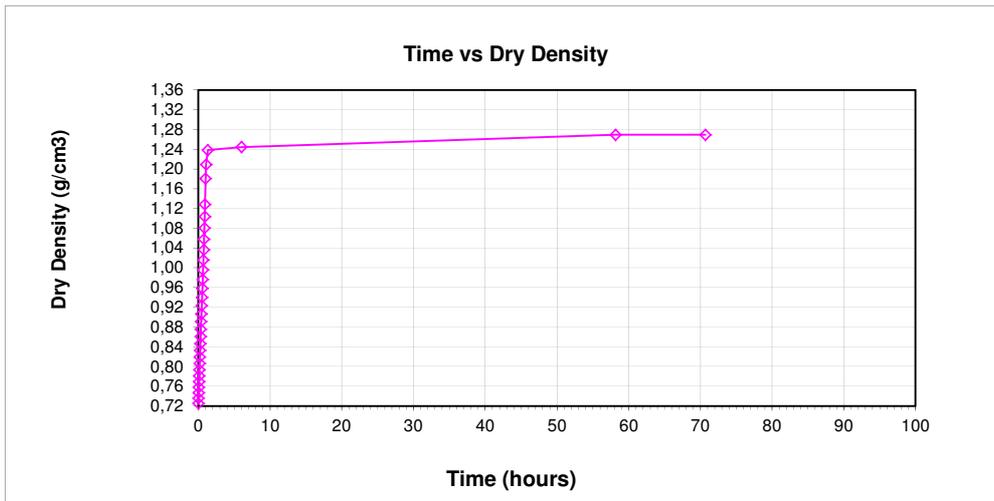
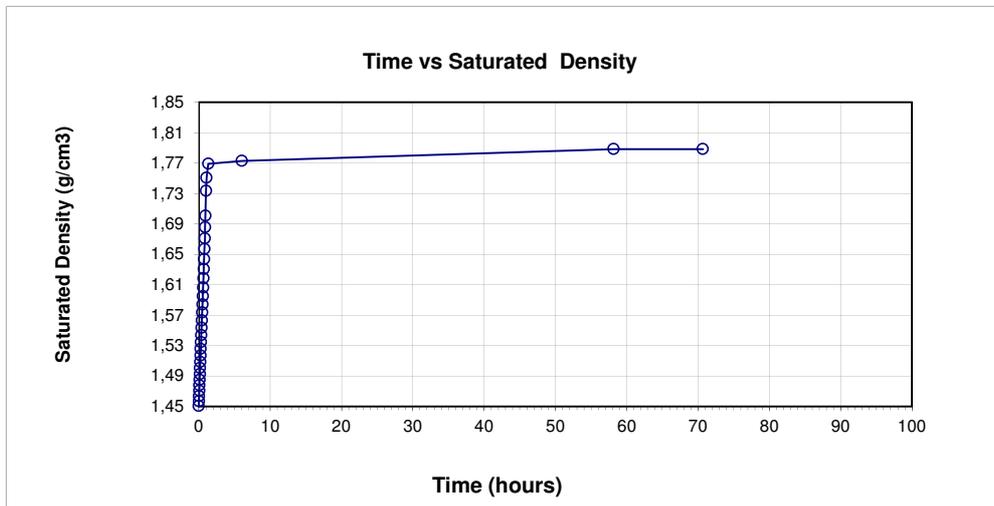
Performed by: DCF	Developed by: HEV	Checked by: TOM	Report N°: AP-030-16
----------------------	----------------------	--------------------	--------------------------------

DECANTING DRAINED TAILINGS (SETTLED DENSITY)

GEOTECHNICAL LABORATORY

Report N°: AP-030-16		
Sample N° / Depth (m): ZETS-05 / SG-Feed	Area: -	Date: 09/03/2016
Mix Solid weight 507,7 gr Water weight 507,7 gr Specific gravity 2,64		Location: Arequipa

Note: The readings are compared to the rest water in a test tube of 1.000 cm³.



Notes: The soil were provided and identified by the applicant.
 These results apply only to the samples supplied an tested for the above reference job. The data and information are proprietary and can not be released without the authorization of AUSENCO PERU S.A.C. By accepting the data and results represented on this page, client agrees to limit the liability of AUSENCO PERU S.A.C. from Client and all other parties claims arising out of the use of this data to the cost for the respective test(s) represented here, and the Client agrees to indemnify and hold harmless Ausenco and against all liability in excess of the aforementioned limit.

Performed by: DCF	Developed by: HEV	Checked by: TOM	Report N°: AP-030-16
----------------------	----------------------	--------------------	--------------------------------

Sample N° / Depth (m): **ZETS-08 / HY-Feed**

Report N°: **AP-030-16**

Area: -

Location: **Arequipa**

Date: **03-mar-16**

Particles >3" (%): ---

Gravel (%): -

Sand (%): 64,2

Silt and clay (%): 35,8

D10 :

D30:

D60: 0,18

Cu:

Cc:

Atterberg limits:

LL (%): NP

PL (%): NP

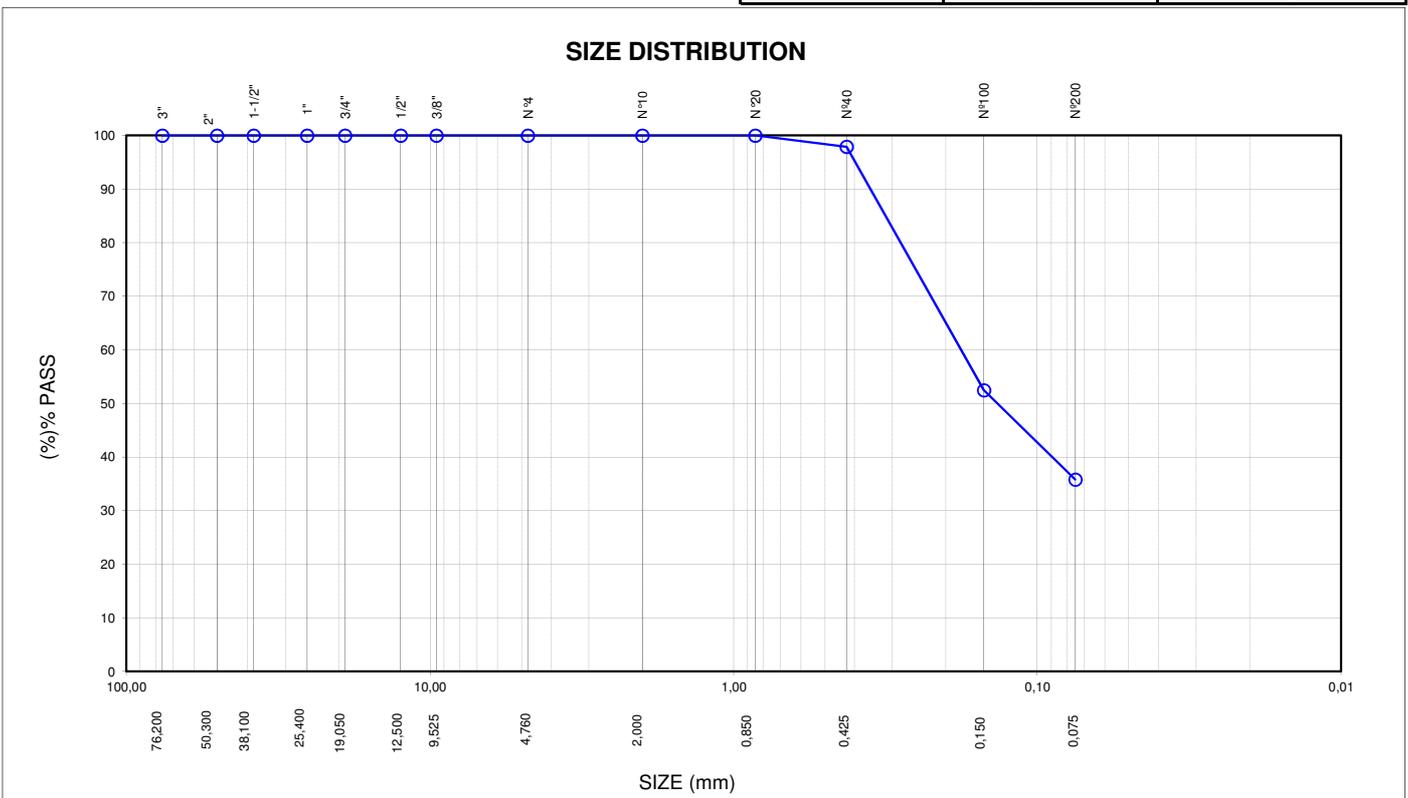
PI (%): NP

Moisture content (%): 155,7

USCS Classification: SM

Silt

Sieve	Size (mm)	% passing
3"	76,200	100,0
2"	50,300	100,0
1 1/2"	38,100	100,0
1"	25,400	100,0
3/4"	19,050	100,0
1/2"	12,500	100,0
3/8"	9,525	100,0
N°4	4,760	100,0
N°10	2,000	100,0
N°20	0,850	100,0
N°40	0,425	97,9
N°100	0,150	52,5
N°200	0,075	35,8



Note:

The sample were provided and identified by the petitioner.

These results apply only to the samples supplied and tested for the above reference job. The data and information are proprietary and can not be released without the authorization of AUSENCO PERU S.A.C. By accepting the data and results represented on this page, client agrees to limit the liability of AUSENCO PERU S.A.C. from Client and all other parties claims arising out of the use of this data to the cost for the respective test(s) represented here, and the Client agrees to indemnify and hold harmless Ausenco from and against all liability in excess of the aforementioned limit.

Performed by:

NCA

Developed by:

HEV

Checked by:

TOM

Report N°:

AP-030-16

Sample N° / Depth (m):	ZETS-08 / HY-Feed	Report N°:	AP-030-16
Area:	-		
Location:	Arequipa	Date:	03-mar-16

RETAINED MATERIAL INTO THE MESH No. 4			
% Retained into the mesh No. 4	P ₁	0,0	
Test N°		1	2
1) Weight of gravel S.S.D. in air (gr)			
2) Weight of gravel S.S.D. in water (gr)			
3) Dry weight of gravel (gr)			
4) Apparent Specific Gravity of Solids	(3) / [(3)-(2)]	G _{s1}	
5) Specific Gravity of Dry Solid	(3) / [(1)-(2)]		
6) Specific Gravity of Solid S.S.D.	(1) / [(1)-(2)]		
7) Absortion (%)	[(1)-(3)] / (3) * 100		
			Average

MATERIAL PASSING MESH N° 4			
% Passes the mesh N° 4	P ₂	100,0	
1) N° de Pycnometer		1	2
2) Pycnometer Weight (gr)		163,1	163,5
3) Weight of Dry Sample (gr)		100,0	100,0
4) Weight of Dry Sample + Pycnometer (gr)		263,1	263,5
5) Weight of Dry Sample + Pycnometer + Water (gr)		723,7	724,3
6) Pycnometer Weight + Water Weight		661,4	662,1
7) Specific Gravity of Solids	(3)/[(3)+(6)-(5)]	G _{s2}	
8) Temperature (°C)		22	22
9) Temperature correction (K)		0,9996	0,9996
10) Specific Gravity of Solids correction	(7)*(9)	G _{s2} (20°C)	2,65

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

G _{s_{prom}} =	2,65
---------------------------------	------

Note:

El G_s prom weight is a function of Apparent Specific Gravity.
The sample were provided and identified by the petitioner.

These results apply only to the samples supplied an tested for the above reference job. The data and information are proprietary and can not be released without the authorization of AUSENCO PERU S.A.C. By accepting the data and results represented on this page, client agrees to limit the liability of AUSENCO PERU S.A.C. from Client and all other parties claims arising out the use of this data to the cost for the respective test(s) represented here, and the Client agrees to indemnify and hold harmless Ausenco from and against all liability in excess of the aforementioned limit.

Performed by:	Developed by:	Checked by:	Report N°:
NCA	HEV	TOM	AP-030-16

Sample N° / Depth (m): **ZETS-08 / HY-Feed**

Report N°: **AP-030-16**

Descripción / Zona: -

Location: **Arequipa**

Date: **02-mar-16**

Particles >3" (%) : ---

Gravel (%) : -

Sand (%) : 64,8

Silt and clay (%) : 35,2

Atterberg limits:

LL (%) : NP

PL (%) : NP

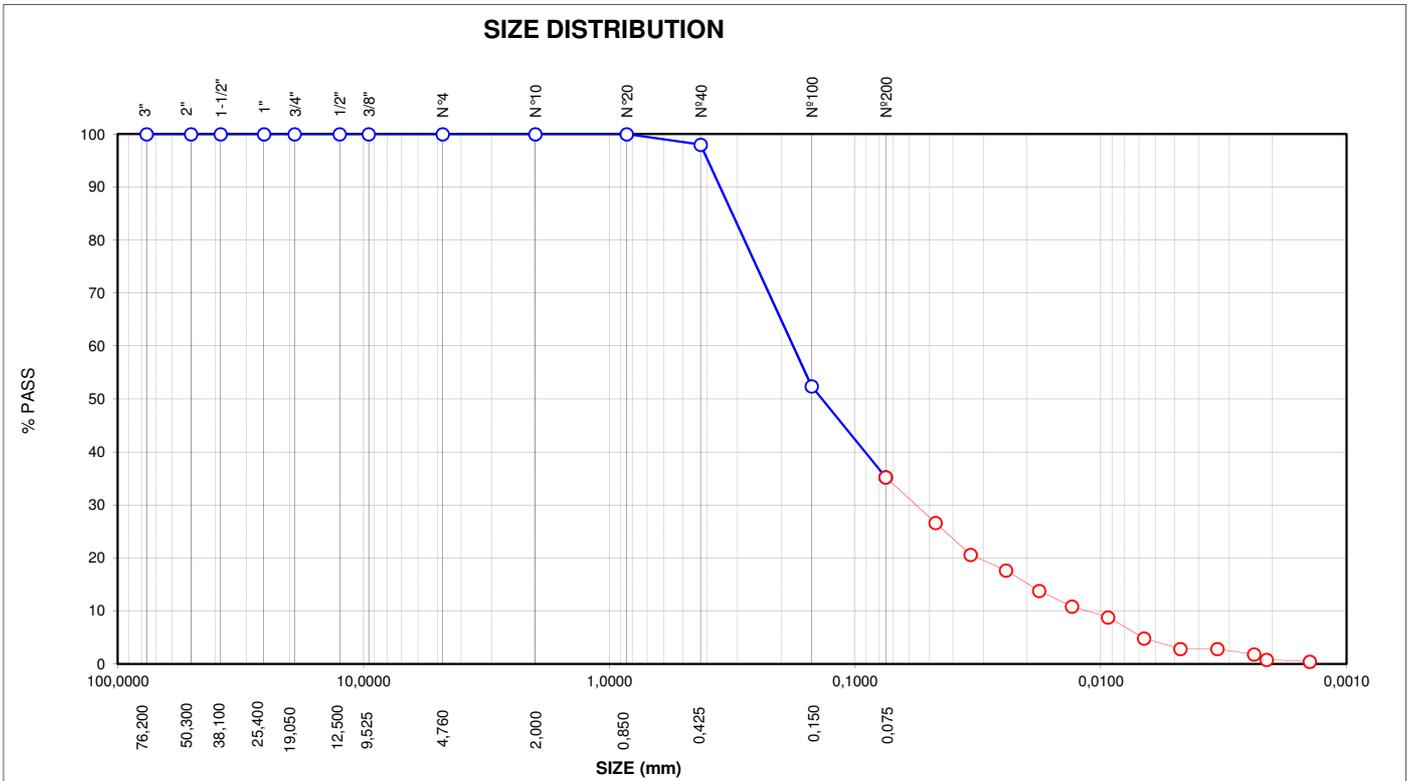
PI (%) : NP

Moisture content (%) :

USCS Classification : **SM**

Silt

Sieve analysis			Hydrometer analysis		
Sieve	Size (mm)	% Passing	Size (mm)	% Passing	Material
3"	76,200	100,0	0,0470	26,6	Silt
2"	50,300	100,0	0,0339	20,6	Silt
1 1/2"	38,100	100,0	0,0243	17,6	Silt
1"	25,400	100,0	0,0178	13,8	Silt
3/4"	19,050	100,0	0,0131	10,8	Silt
1/2"	12,500	100,0	0,0093	8,8	Silt
3/8"	9,525	100,0	0,0067	4,8	Silt
N°4	4,760	100,0	0,0047	2,8	Clay
N°10	2,000	100,0	0,0034	2,8	Clay
N°20	0,850	100,0	0,0024	1,8	Clay
N°40	0,425	98,0	0,0021	0,8	Clay
N°100	0,150	52,4			
N°200	0,075	35,2			



Note:

The sample were provided and identified by the petitioner.

These results apply only to the samples supplied an tested for the above reference job. The data and information are proprietary and can not be released without the authorization of AUSENCO PERU S.A.C. By accepting the data and results represented on this page, client agrees to limit the liability of AUSENCO PERU S.A.C. from Client and all other parties claims arising out the use of this data to the cost for the respective test(s) represented here, and the Client agrees to indemnify and hold harmless Ausenco from and against all liability in excess of the aforementioned limit.

Performed by:

DCF

Developed by:

HEV

Checked by:

TOM

Report N°:

AP-030-16



**DECANTING TAILINGS
(SETTLED DENSITY)**

GEOTECHNICAL LABORATORY

Report N°: AP-030-16	
Sample N° / Depth (m): ZETS-05 / SG-Feed	Area: -
	Date: 03/03/2016
Mix	Location: Arequipa
Solid weight 435,6 gr	
Water weight 435,6 gr	
Specific gravity 2,65	

Date	Time	Hour	Specimen 1	Specimen 2	Average	Saturated density	Dry density	% Solid
	Hours		Lecturas cm3	Readings cm3				
03/03/2016 09:45	0:00:00	0,0	0	0	0,0	1,452	0,726	50,00%
03/03/2016 09:45	0:00:51	0,0	20	20	20,0	1,468	0,751	51,17%
03/03/2016 09:46	0:01:56	0,0	30	30	30,0	1,476	0,764	51,78%
03/03/2016 09:47	0:02:56	0,0	40	40	40,0	1,484	0,778	52,41%
03/03/2016 09:49	0:04:07	0,1	50	50	50,0	1,493	0,792	53,04%
03/03/2016 09:50	0:05:05	0,1	60	60	60,0	1,502	0,807	53,70%
03/03/2016 09:51	0:06:06	0,1	70	70	70,0	1,512	0,822	54,37%
03/03/2016 09:52	0:07:11	0,1	80	80	80,0	1,522	0,838	55,06%
03/03/2016 09:53	0:08:20	0,1	90	90	90,0	1,532	0,854	55,76%
03/03/2016 09:54	0:09:20	0,2	100	100	100,0	1,542	0,871	56,48%
03/03/2016 09:55	0:10:30	0,2	110	110	110,0	1,554	0,889	57,23%
03/03/2016 09:56	0:11:35	0,2	120	120	120,0	1,565	0,908	57,99%
03/03/2016 09:57	0:12:20	0,2	130	130	130,0	1,577	0,927	58,77%
03/03/2016 09:58	0:13:38	0,2	140	140	140,0	1,590	0,947	59,57%
03/03/2016 09:59	0:14:38	0,2	150	150	150,0	1,603	0,968	60,40%
03/03/2016 10:00	0:15:48	0,3	160	160	160,0	1,616	0,990	61,25%
03/03/2016 10:01	0:16:58	0,3	170	170	170,0	1,631	1,013	62,12%
03/03/2016 10:03	0:18:06	0,3	180	180	180,0	1,646	1,037	63,02%
03/03/2016 10:04	0:19:25	0,3	190	190	190,0	1,662	1,062	63,95%
03/03/2016 10:05	0:20:36	0,3	200	200	200,0	1,678	1,089	64,90%
03/03/2016 10:07	0:22:14	0,4	210	210	210,0	1,695	1,117	65,88%
03/03/2016 10:08	0:23:31	0,4	220	220	220,0	1,714	1,146	66,89%
03/03/2016 10:10	0:25:08	0,4	230	230	230,0	1,733	1,177	67,94%
03/03/2016 10:12	0:27:45	0,5	240	240	240,0	1,753	1,210	69,01%
03/03/2016 10:26	0:41:51	0,7	250	250	250,0	1,775	1,245	70,12%
03/03/2016 11:10	1:25:03	1,4	255	255	255,0	1,786	1,263	70,69%
03/03/2016 12:00	2:15:00	2,3	255	255	255,0	1,786	1,263	70,69%

Notes: The soil were provided and identified by the applicant.

These results apply only to the samples supplied and tested for the above reference job. The data and information are proprietary and can not be released without the authorization of AUSENCO PERU S.A.C. By accepting the data and results represented on this page, client agrees to limit the liability of AUSENCO PERU S.A.C. from Client and all other parties claims arising out of the use of this data to the cost for the respective test(s) represented here, and the Client agrees to indemnify and hold harmless Ausenco and against all liability in excess of the aforementioned limit.

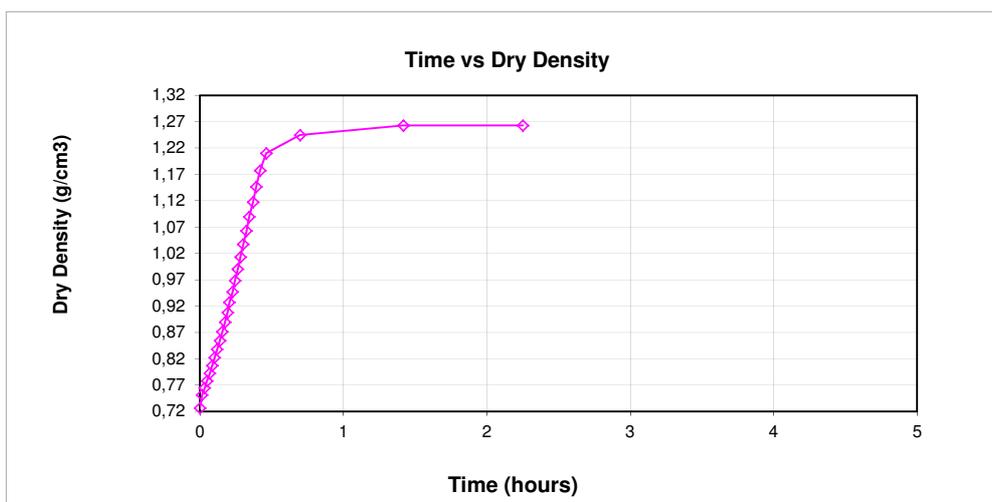
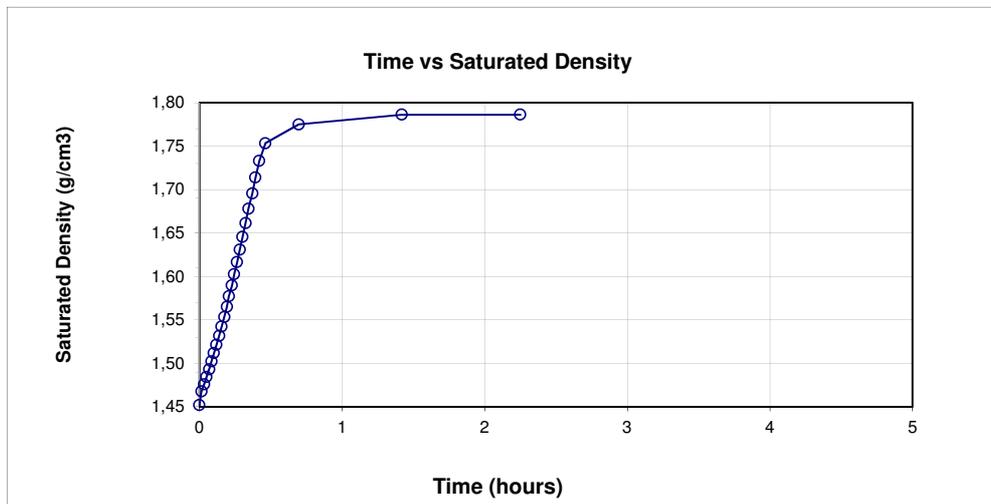
Performed by: DCF	Developed by: HEV	Checked by: TOM	Report N°: AP-030-16
----------------------	----------------------	--------------------	--------------------------------

DECANTING TAILINGS (SETTLED DENSITY)

GEOTECHNICAL LABORATORY

Report N°: AP-030-16		
Sample N° / Depth (m): ZETS-05 / SG-Feed	Area: -	Date: 03/03/2016
Mix Solid weight 435,6 gr Water weight 435,6 gr Specific gravity 2,65		Location: Arequipa

Note: The readings are compared to the rest water in a test tube of 1.000 cm³.



Notes: The soil were provided and identified by the applicant.

These results apply only to the samples supplied and tested for the above reference job. The data and information are proprietary and can not be released without the authorization of AUSENCO PERU S.A.C. By accepting the data and results represented on this page, client agrees to limit the liability of AUSENCO PERU S.A.C. from Client and all other parties claims arising out of the use of this data to the cost for the respective test(s) represented here, and the Client agrees to indemnify and hold harmless Ausenco and against all liability in excess of the aforementioned limit.

Performed by: DCF	Developed by: HEV	Checked by: TOM	Report N°: AP-030-16
----------------------	----------------------	--------------------	--------------------------------



DECANTING DRAINED TAILINGS (SETTLED DENSITY)

GEOTECHNICAL LABORATORY

Report N°: AP-030-16		
Sample N° / Depth (m): ZETS-08 / HY-Feed	Area: -	Date: 04/03/2016
Mix Solid weight 435,6 gr Water weight 435,6 gr Specific gravity 2,65		Location: Arequipa

Date	Time	Hour	Specimen 1	Specimen 2	Average	Saturated density	Dry density	% Solid
	Hours		Lecturas cm3	Readings cm3	Readings cm3	gr/cm3	gr/cm3	
04/03/2016 07:06	0:00:00	0,0	0	0	0,0	1,452	0,726	50,00%
04/03/2016 07:07	0:00:30	0,0	20	20	20,0	1,468	0,751	51,17%
04/03/2016 07:07	0:01:02	0,0	30	30	30,0	1,476	0,764	51,78%
04/03/2016 07:08	0:01:23	0,0	40	40	40,0	1,484	0,778	52,41%
04/03/2016 07:08	0:01:50	0,0	50	50	50,0	1,493	0,792	53,04%
04/03/2016 07:09	0:02:29	0,0	60	60	60,0	1,502	0,807	53,70%
04/03/2016 07:09	0:03:01	0,1	70	70	70,0	1,512	0,822	54,37%
04/03/2016 07:10	0:03:36	0,1	80	80	80,0	1,522	0,838	55,06%
04/03/2016 07:11	0:04:21	0,1	90	90	90,0	1,532	0,854	55,76%
04/03/2016 07:11	0:04:49	0,1	100	100	100,0	1,542	0,871	56,48%
04/03/2016 07:12	0:05:30	0,1	110	110	110,0	1,554	0,889	57,23%
04/03/2016 07:13	0:06:18	0,1	120	120	120,0	1,565	0,908	57,99%
04/03/2016 07:13	0:07:05	0,1	130	130	130,0	1,577	0,927	58,77%
04/03/2016 07:14	0:07:42	0,1	140	140	140,0	1,590	0,947	59,57%
04/03/2016 07:15	0:08:29	0,1	150	150	150,0	1,603	0,968	60,40%
04/03/2016 07:16	0:09:20	0,2	160	160	160,0	1,616	0,990	61,25%
04/03/2016 07:16	0:10:04	0,2	170	170	170,0	1,631	1,013	62,12%
04/03/2016 07:17	0:10:48	0,2	180	180	180,0	1,646	1,037	63,02%
04/03/2016 07:18	0:11:39	0,2	190	190	190,0	1,662	1,062	63,95%
04/03/2016 07:19	0:12:35	0,2	200	200	200,0	1,678	1,089	64,90%
04/03/2016 07:20	0:13:29	0,2	210	210	210,0	1,695	1,117	65,88%
04/03/2016 07:21	0:14:19	0,2	220	220	220,0	1,714	1,146	66,89%
04/03/2016 07:22	0:15:28	0,3	230	230	230,0	1,733	1,177	67,94%
04/03/2016 07:23	0:16:42	0,3	240	240	240,0	1,753	1,210	69,01%
04/03/2016 07:25	0:18:16	0,3	250	250	250,0	1,775	1,245	70,12%
04/03/2016 07:26	0:19:58	0,3	260	260	260,0	1,798	1,281	71,27%
04/03/2016 07:29	0:22:26	0,4	270	270	270,0	1,822	1,320	72,46%
04/03/2016 08:45	1:38:10	1,6	270	270	270,0	1,822	1,320	72,46%
04/03/2016 09:53	2:46:10	2,8	270	270	270,0	1,822	1,320	72,46%
04/03/2016 13:00	5:53:10	5,9	270	270	270,0	1,822	1,320	72,46%

Notes: The soil were provided and identified by the applicant.

These results apply only to the samples supplied and tested for the above reference job. The data and information are proprietary and can not be released without the authorization of AUSENCO PERU S.A.C. By accepting the data and results represented on this page, client agrees to limit the liability of AUSENCO PERU S.A.C. from Client and all other parties claims arising out of the use of this data to the cost for the respective test(s) represented here, and the Client agrees to indemnify and hold harmless Ausenco and against all liability in excess of the aforementioned limit.

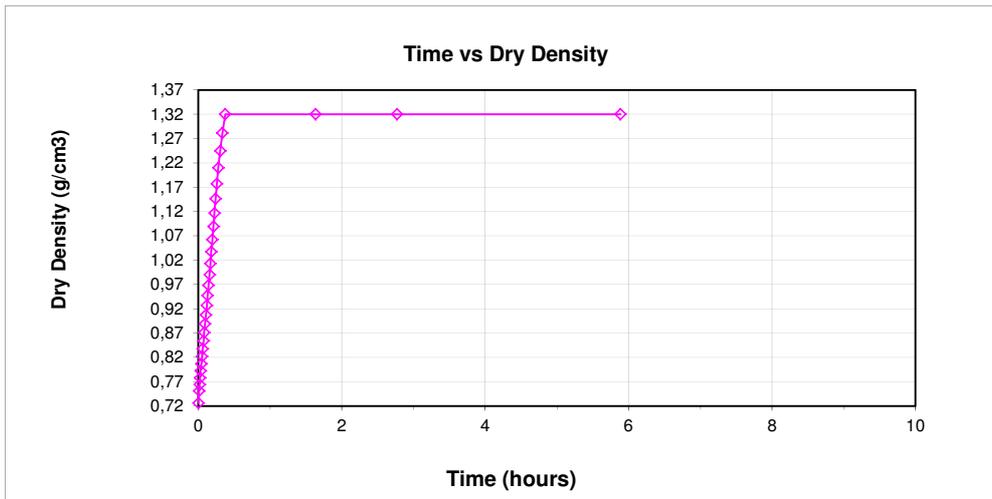
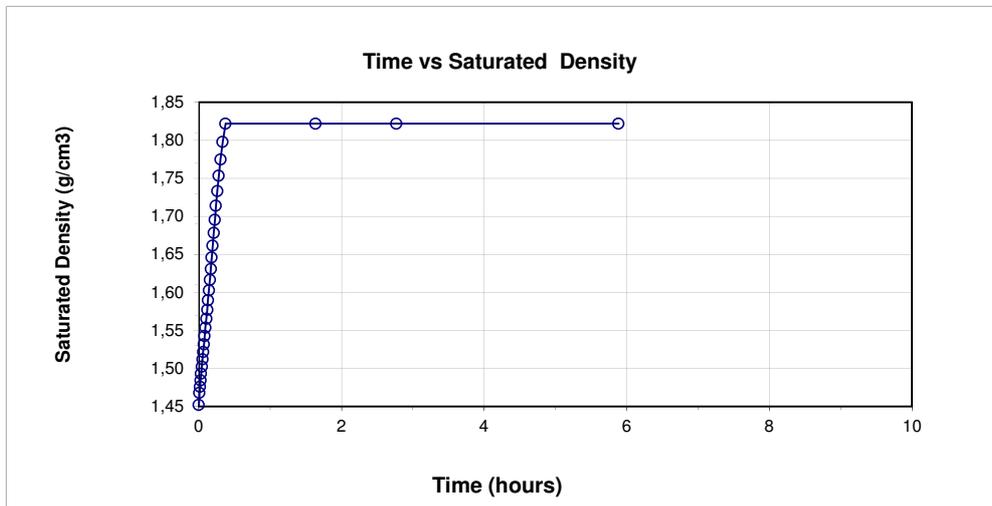
Performed by: DCF	Developed by: HEV	Checked by: TOM	Report N°: AP-030-16
----------------------	----------------------	--------------------	--------------------------------

DECANTING DRAINED TAILINGS (SETTLED DENSITY)

GEOTECHNICAL LABORATORY

Report N°: AP-030-16		
Sample N° / Depth (m): ZETS-08 / HY-Feed	Area: -	Date: 04/03/2016
Mix Solid weight 435,6 gr Water weight 435,6 gr Specific gravity 2,65		Location: Arequipa

Note: The readings are compared to the rest water in a test tube of 1.000 cm³.



Notes: The soil were provided and identified by the applicant.

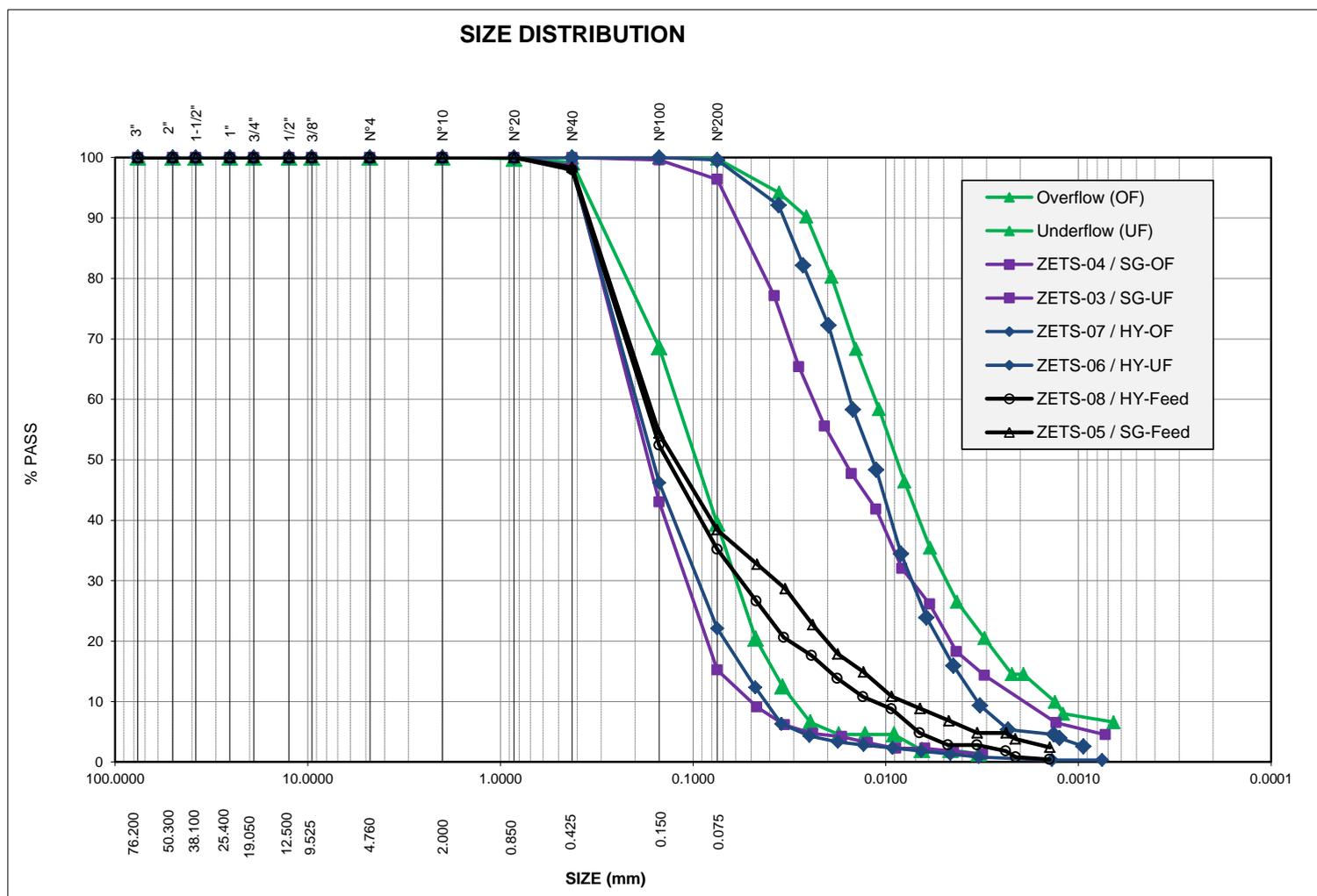
These results apply only to the samples supplied and tested for the above reference job. The data and information are proprietary and can not be released without the authorization of AUSENCO PERU S.A.C. By accepting the data and results represented on this page, client agrees to limit the liability of AUSENCO PERU S.A.C. from Client and all other parties claims arising out of the use of this data to the cost for the respective test(s) represented here, and the Client agrees to indemnify and hold harmless Ausenco and against all liability in excess of the aforementioned limit.

Performed by: DCF	Developed by: HEV	Checked by: TOM	Report N°: AP-030-16
----------------------	----------------------	--------------------	--------------------------------

Location: **Arequipa**

Date: **09-mar-16**

Sample	%G	%S	% F	LL	PL	PI	SUCS	Report
Overflow (OF)	0.0	0.2	99.8	34	21	13	CL	AP-001-16
Underflow (UF)	0.0	60.6	39.4	NP	NP	NP	SM	AP-001-16
ZETS-04 / SG-OF	0.0	3.6	96.4	27	16	11	CL	AP-010-16
ZETS-03 / SG-UF	0.0	84.8	15.2	NP	NP	NP	SM	AP-010-16
ZETS-07 / HY-OF	0.0	0.4	99.6	NP	NP	NP	ML	AP-012-16
ZETS-06 / HY-UF	0.0	77.9	22.1	NP	NP	NP	SM	AP-012-16
ZETS-08 / HY-Feed	0.0	64.8	35.2	NP	NP	NP	SM	AP-030-16
ZETS-05 / SG-Feed	0.0	61.6	38.4	NP	NP	NP	SM	AP-030-16



Note:

The sample were provided and identified by the petitioner.

These results apply only to the samples supplied and tested for the above reference job. The data and information are proprietary and can not be released without the authorization of AUSENCO PERU S.A.C. By accepting the data and results represented on this page, client agrees to limit the liability of AUSENCO PERU S.A.C. from Client and all other parties claims arising out the use of this data to the cost for the respective test(s) represented here, and the Client agrees to indemnify and hold harmless Ausenco from and against all liability in excess of the aforementioned limit.

Developed by:

TOM

Anexo B.2
Muestras
de material Aluvial

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_IP18-09 / M-1 / 2,50-6,00**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **24-abr-18**

Partículas >3" (%) : ---

Grava (%) : 51,3

Arena (%) : 41,6

Limos y Arcillas (%) : 7,1

D10 : 0,14

D30: 0,93

D60: 11,41

Cu: 81,28

Cc: 0,54

Límites de Atterberg:

LL (%) : NP

LP (%) : NP

IP (%) : NP

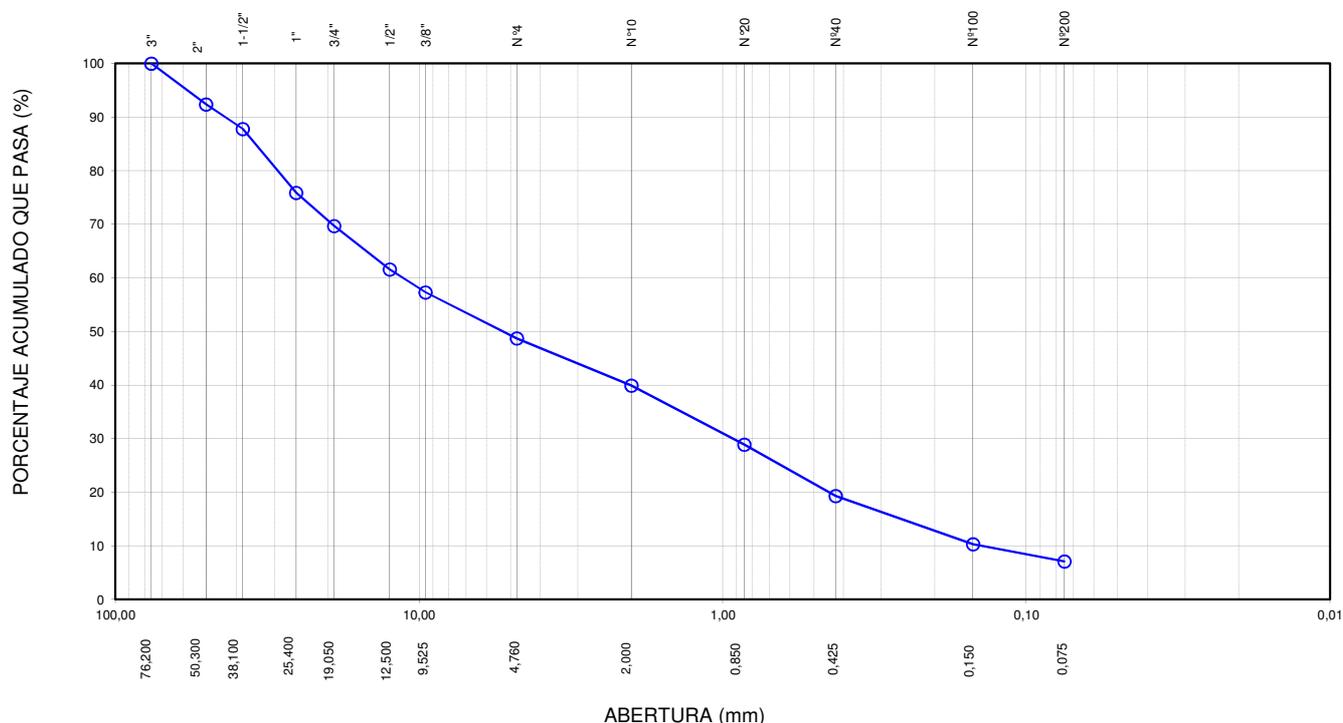
Humedad (%) : 0,6

Clasificación SUCS : GP-GM

Grava pobremente gradada con limo y arena

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,300	92,4
1 1/2"	38,100	87,8
1"	25,400	75,9
3/4"	19,050	69,7
1/2"	12,500	61,6
3/8"	9,525	57,3
Nº4	4,760	48,7
Nº10	2,000	39,9
Nº20	0,850	28,9
Nº40	0,425	19,3
Nº100	0,150	10,3
Nº200	0,075	7,1

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:
JSG

Nº Informe Lab :
AP-071-18

N° de muestra / Prof. (m): **TP_IP18-09 / M-2 / 4,50-6,00**N° Informe Lab : **AP-071-18**Descripción / Zona: **Main Dam**Fecha: **17-may-18**

SUELTO				
N° de Prueba		1	2	3
1) Peso de Muestra Seca	(gr)	28230,0	28247,0	28275,0
2) Diámetro del Molde	(cm)	26,8	26,8	26,8
3) Altura del Molde	(cm)	27,9	27,9	27,9
4) Área de la Molde	(cm ²)	564,1	564,1	564,1
5) Volumen del Molde	(cm ³)	15738,5	15738,5	15738,5
6) Densidad Seca	(gr/cm ³)	1,79	1,79	1,80
7) Contenido de Humedad	(%)	0,0	0,0	0,0
8) Densidad de la muestra seca	(gr/cm ³)	1,79	1,79	1,80

Densidad seca promedio (gr/cm³)	1,795
---	--------------

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:

PCh

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

N° Informe Lab :

AP-071-18

N° de muestra / Prof. (m): **TP_IP18-09 / M-2 / 4,50-6,00**N° Informe Lab : **AP-071-18**Descripción / Zona: **Main Dam**Fecha: **17-may-18****COMPACTADO**

N° de Prueba		1	2	3
1) Peso de Muestra Seca	(gr)	29716,0	29850,0	29901,0
2) Diámetro del Molde	(cm)	26,8	26,8	26,8
3) Altura del Molde	(cm)	27,9	27,9	27,9
4) Área de la Molde	(cm ²)	564,1	564,1	564,1
5) Volumen del Molde	(cm ³)	15738,5	15738,5	15738,5
6) Densidad Seca	(gr/cm ³)	1,89	1,90	1,90
7) Contenido de Humedad	(%)	0,0	0,0	0,0
8) Densidad de la muestra seca	(gr/cm ³)	1,89	1,90	1,90

Densidad seca promedio (gr/cm³)	1,895
---	--------------

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:

PCh

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

Fecha:

17-may-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_IP18-09 / M-2 / 4,50-6,00**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **24-abr-18**

Partículas >3" (%) : ---
 Grava (%) : 45,1
 Arena (%) : 49,9
 Limos y Arcillas (%) : 5,0

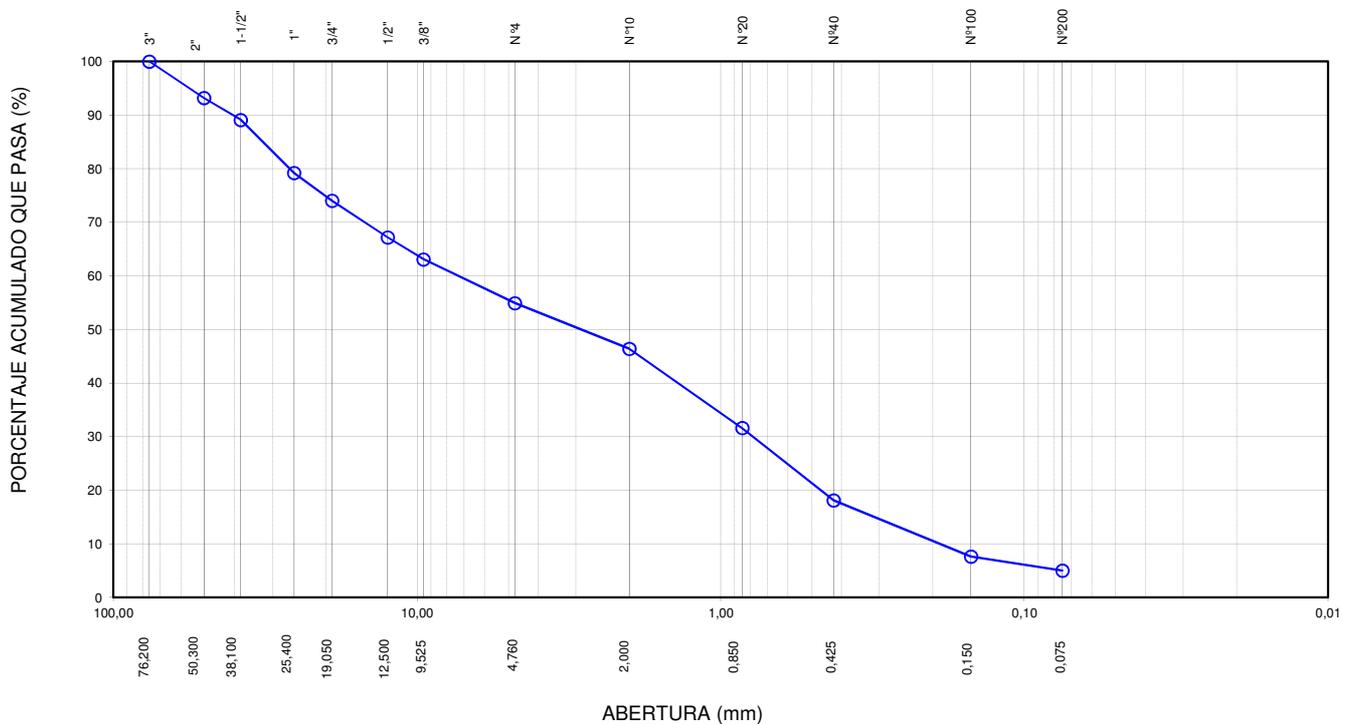
D10 : 0,19
 D30: 0,78
 D60: 7,33
 Cu: 38,50
 Cc: 0,44

Límites de Atterberg:
 LL (%) : NP
 LP (%) : NP
 IP (%) : NP

Humedad (%) : 0,4
 Clasificación SUCS : SP-SM
 Arena pobremente gradada con limo y grava

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,300	93,2
1 1/2"	38,100	89,1
1"	25,400	79,2
3/4"	19,050	74,0
1/2"	12,500	67,2
3/8"	9,525	63,1
Nº4	4,760	54,9
Nº10	2,000	46,4
Nº20	0,850	31,6
Nº40	0,425	18,1
Nº100	0,150	7,6
Nº200	0,075	5,0

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:
JSG

Nº Informe Lab :
AP-071-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_IP18-09 / M-2 / 4,50-6,00**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **21-may-18**

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA Nº 4					
% Retenido en la Malla Nº 4	P ₁	45,1			
Nº de Prueba		1	2		
1) Peso de grava en agua S.S.S. en aire (gr)		2259,7	1752,4		
2) Peso de grava en agua S.S.S. en agua (gr)		1446,4	1115,6		
3) Peso de grava seca (gr)		2249,8	1741,8	Promedio	
4) Gravedad Específica de Sólidos Aparente	(3) / [(3)-(2)] G _{s1}	2,80	2,78	2,79	
5) Gravedad Específica de Sólidos Seca	(3) / [(1)-(2)]	2,77	2,74	2,75	
6) Gravedad Específica de Sólidos S.S.S.	(1) / [(1)-(2)]	2,78	2,75	2,77	
7) Absorción (%)	[(1)-(3)] / (3) * 100	0,44	0,61	0,52	

MATERIAL PASA LA MALLA Nº 4					
% Pasa la Malla Nº 4	P ₂	54,9			
1) Nº de Fiola		1	2		
2) Peso de Fiola (gr)		188,1	163,1		
3) Peso de Muestra Seca (gr)		100,0	100,0		
4) Peso de Muestra Seca + Fiola (gr)		288,1	263,1		
5) Peso de Muestra Seca + Fiola + Agua (gr)		750,4	725,3		
6) Peso de Fiola + Peso de agua		686,4	661,4		
7) Gravedad Específica de Sólidos	(3)/[(3)+(6)-(5)] G _{s2}	2,78	2,77		
8) Temperatura (°C)		22	22		
9) Corrección por Temperatura (K)		0,9996	0,9996		
10) Gravedad Específica de Sólidos Corregido	(7)*(9) G _{s2} (20°C)	2,77			

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

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

Notas: Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.
El G_{s_{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:

DCF

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

Nº Informe Lab :

AP-071-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_IP18-10 / M-1 / 4,00-6,10**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **24-abr-18**

Partículas >3" (%) : ---

Grava (%) : 39,0

Arena (%) : 56,2

Limos y Arcillas (%) : 4,8

D10 : 0,20

D30: 0,97

D60: 4,52

Cu: 22,44

Cc: 1,03

Límites de Atterberg:

LL (%) : NP

LP (%) : NP

IP (%) : NP

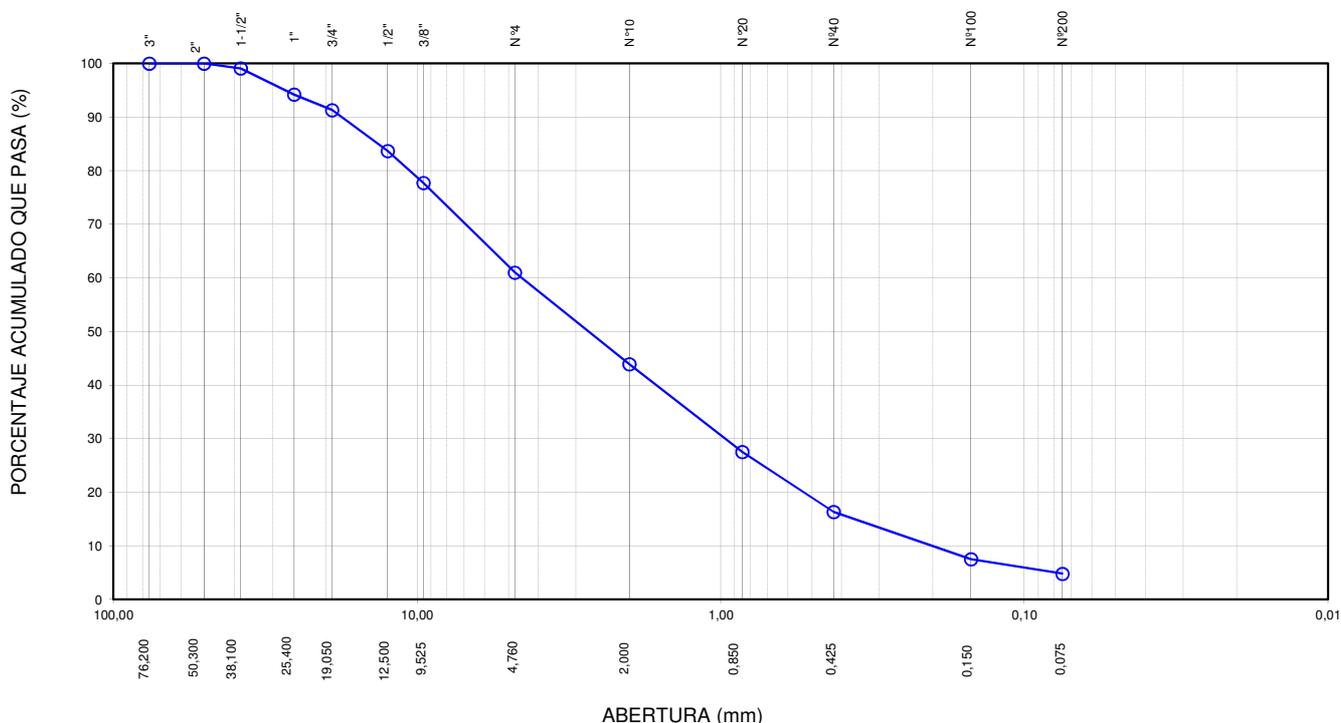
Humedad (%) : 0,6

Clasificación SUCS : SW

Arena bien gradada con grava

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,300	100,0
1 1/2"	38,100	99,1
1"	25,400	94,2
3/4"	19,050	91,3
1/2"	12,500	83,7
3/8"	9,525	77,7
Nº4	4,760	61,0
Nº10	2,000	43,9
Nº20	0,850	27,5
Nº40	0,425	16,3
Nº100	0,150	7,5
Nº200	0,075	4,8

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:
JSG

Nº Informe Lab :
AP-071-18

N° de muestra / Prof. (m): **TP_IP18-12 / Cono de Arena N°6 / 1,80**N° Informe Lab : **AP-071-18**Descripción / Zona: **Main Dam**Fecha: **21-may-18**

N° de Prueba	1	2	3
(1) Peso Recip + Suelo Húmedo (g)	1284,6	1225,2	
(2) Peso Recip + Suelo Seco (g)	1278,4	1220,2	
(3) Peso Recipiente (g)	359,1	340,5	
(4) Peso del Agua (1) - (2)	6,2	5,0	
(5) Peso Suelo Seco (2) - (3)	919,3	879,7	
(6) Humedad (4/5)*100 %	0,7	0,6	
Humedad Promedio (%)	0,6		

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:
IOIngresado por:
HEVRevisado por:
JSGN° Informe Lab :
AP-071-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_IP18-12 / M-1 / 4,70-7,30**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **24-abr-18**

Partículas >3" (%) : ---

Grava (%) : 39,6

Arena (%) : 45,1

Limos y Arcillas (%) : 15,3

Límites de Atterberg:

LL (%) : NP

LP (%) : NP

IP (%) : NP

Humedad (%) : 0,9

Clasificación SUCS : SM

Arena limosa con grava

D10 : 0,38

D30: 0,38

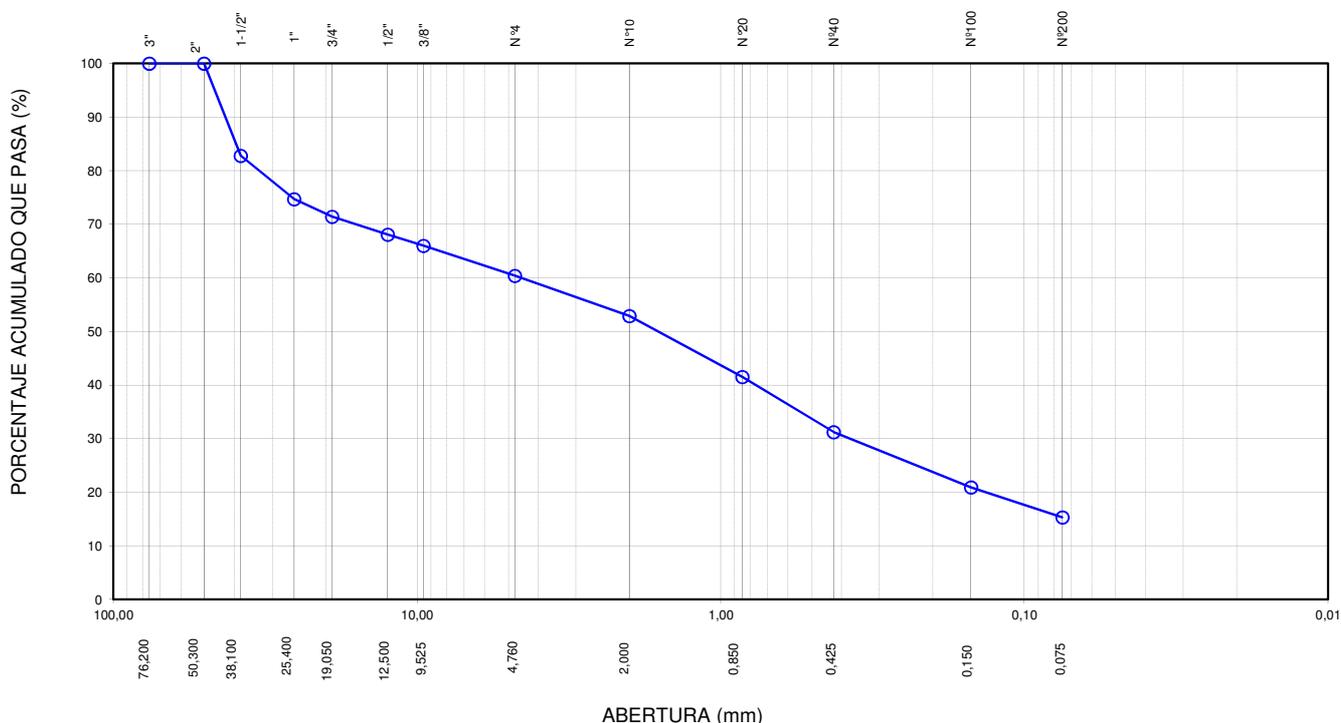
D60: 4,54

Cu: ---

Cc: ---

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,300	100,0
1 1/2"	38,100	82,8
1"	25,400	74,7
3/4"	19,050	71,4
1/2"	12,500	68,1
3/8"	9,525	66,0
Nº4	4,760	60,4
Nº10	2,000	52,9
Nº20	0,850	41,5
Nº40	0,425	31,2
Nº100	0,150	20,9
Nº200	0,075	15,3

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:
JSG

Nº Informe Lab :
AP-071-18

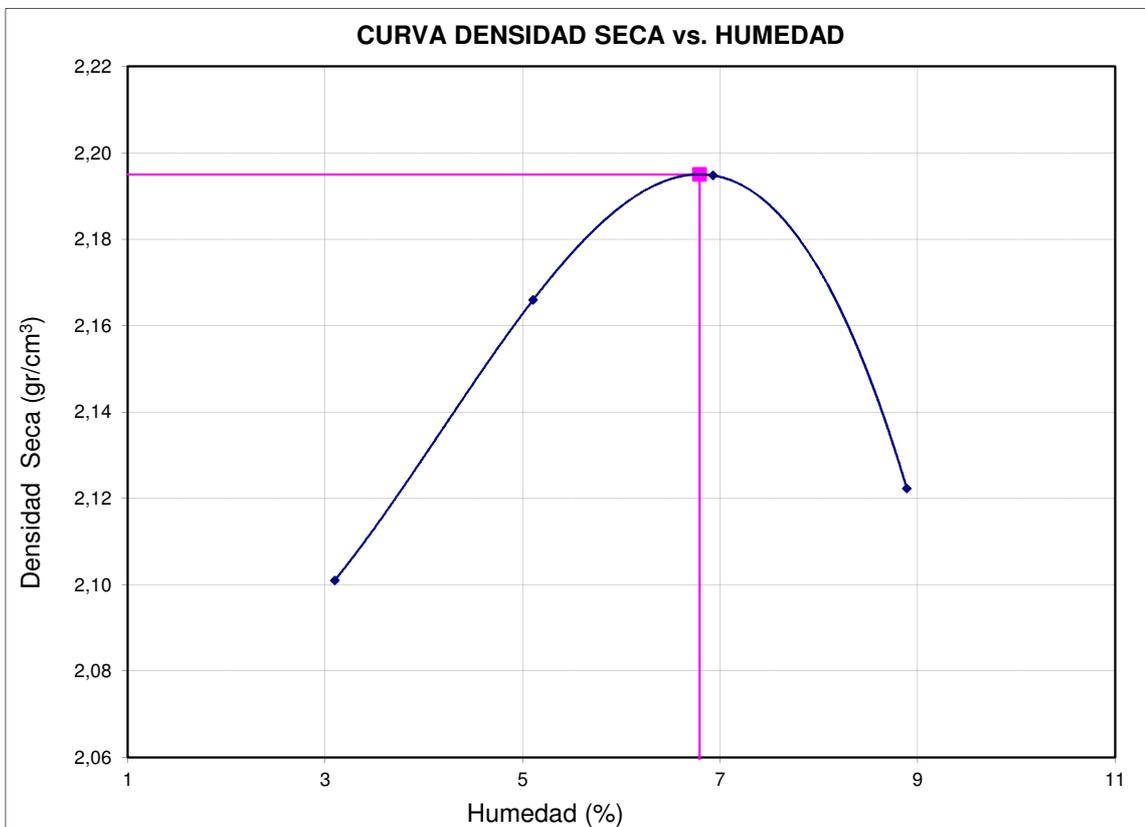
Nº de muestra / Prof. (m): **TP_IP18-12 / M-1 / 4,70-7,30**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **24-abr-18**

Prueba Nº	1	2	3	4	5	6
Densidad seca (gr/cm ³)	2,101	2,166	2,195	2,122		
Humedad(%)	3,1	5,1	6,9	8,9		



Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	2,195
Óptimo Contenido de Humedad (%)	6,8

Máx. Dens. Seca Corregida (gr/cm ³)	2,326
Ópt. Cont. de Humedad Corregida (%)	4,9

Fracción Sobre tamaño	
GS (Bulk)	= 2,73
w(%)	= 0,1

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:
IO

Ingresado por:
HEV

Revisado por:
JSG

Nº Informe Lab :
AP-071-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_IP18-12 / M-1 / 4,70-7,30**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **24-abr-18**

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA Nº 4					
% Retenido en la Malla Nº 4	P ₁	39,6			
Nº de Prueba		1	2		
1) Peso de grava en agua S.S.S. en aire (gr)		2379,5	2373,4		
2) Peso de grava en agua S.S.S. en agua (gr)		1519,2	1504,5		
3) Peso de grava seca (gr)		2367,8	2358,9	Promedio	
4) Gravedad Específica de Sólidos Aparente	(3) / [(3)-(2)] G _{s1}	2,79	2,76	2,78	
5) Gravedad Específica de Sólidos Seca	(3) / [(1)-(2)]	2,75	2,71	2,73	
6) Gravedad Específica de Sólidos S.S.S.	(1) / [(1)-(2)]	2,77	2,73	2,75	
7) Absorción (%)	[(1)-(3)] / (3) * 100	0,49	0,61	0,55	

MATERIAL PASA LA MALLA Nº 4					
% Pasa la Malla Nº 4	P ₂	60,4			
1) Nº de Fiola		1	2		
2) Peso de Fiola (gr)		161,6	163,1		
3) Peso de Muestra Seca (gr)		100,0	100,0		
4) Peso de Muestra Seca + Fiola (gr)		261,6	263,1		
5) Peso de Muestra Seca + Fiola + Agua (gr)		723,9	725,1		
6) Peso de Fiola + Peso de agua		660,1	661,3		
7) Gravedad Específica de Sólidos	(3)/[(3)+(6)-(5)] G _{s2}	2,76	2,76		
8) Temperatura (°C)		23	23		
9) Corrección por Temperatura (K)		0,9993	0,9993		
10) Gravedad Específica de Sólidos Corregido	(7)*(9) G _{s2} (20°C)	2,76			

$$G_{s_{prom}} = \frac{1}{\frac{P_1}{100 \times G_{s_1}} + \frac{P_2}{100 \times G_{s_2} (20^\circ C)}}$$

G _{s_{prom}} =	2,77
---------------------------------	------

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

El G_{s_{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:

DCF

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

Nº Informe Lab :

AP-071-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_IP18-13 / M-1 / 3,20-7,00**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **24-abr-18**

Partículas >3" (%) : ---
 Grava (%) : 46,1
 Arena (%) : 49,6
 Limos y Arcillas (%) : 4,3

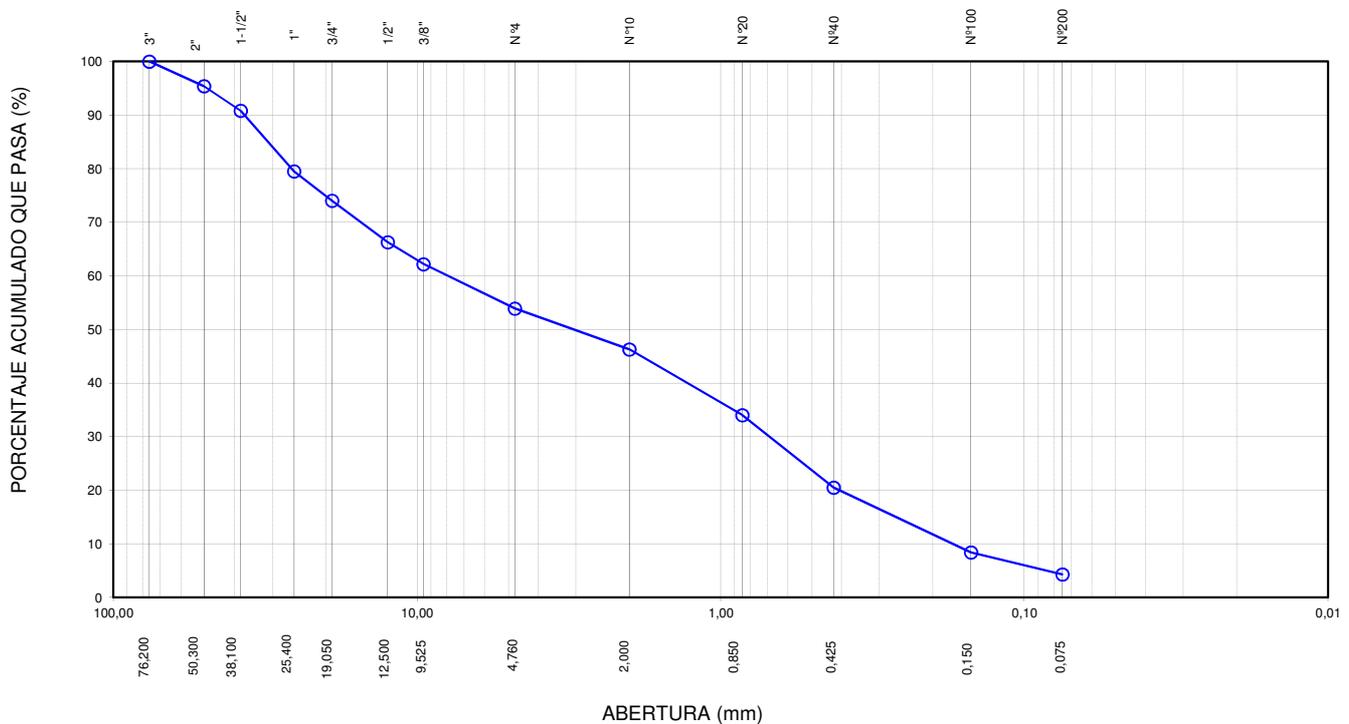
D10 : 0,17
 D30: 0,69
 D60: 7,93
 Cu: 46,04
 Cc: 0,35

Límites de Atterberg:
 LL (%) : NP
 LP (%) : NP
 IP (%) : NP

Humedad (%) : 1,3
 Clasificación SUCS : SP
 Arena pobremente gradada con grava

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,300	95,4
1 1/2"	38,100	90,8
1"	25,400	79,5
3/4"	19,050	74,0
1/2"	12,500	66,3
3/8"	9,525	62,2
Nº4	4,760	53,9
Nº10	2,000	46,3
Nº20	0,850	34,0
Nº40	0,425	20,5
Nº100	0,150	8,4
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:
JSG

Nº Informe Lab :
AP-071-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_IP18-14 / M-1 / 1,80-6,50**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **24-abr-18**

Partículas >3" (%) : ---

Grava (%) : 46,9

Arena (%) : 48,4

Limos y Arcillas (%) : 4,7

Límites de Atterberg:

LL (%) : NP

LP (%) : NP

IP (%) : NP

Humedad (%) : 0,5

Clasificación SUCS : SP

Arena pobremente gradada con grava

D10 : 0,20

D30: 0,80

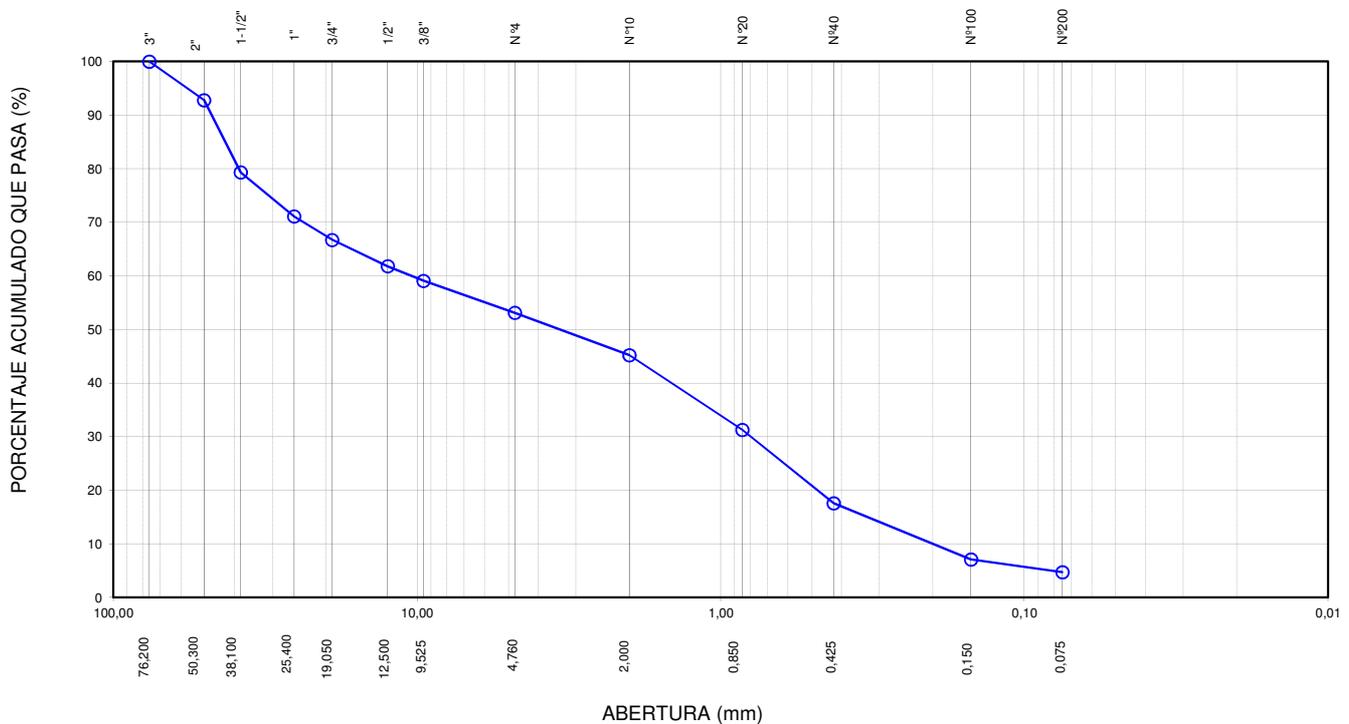
D60: 10,48

Cu: 52,42

Cc: 0,30

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,300	92,8
1 1/2"	38,100	79,3
1"	25,400	71,1
3/4"	19,050	66,7
1/2"	12,500	61,8
3/8"	9,525	59,1
Nº4	4,760	53,1
Nº10	2,000	45,2
Nº20	0,850	31,3
Nº40	0,425	17,6
Nº100	0,150	7,1
Nº200	0,075	4,7

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:
JSG

Nº Informe Lab :
AP-071-18

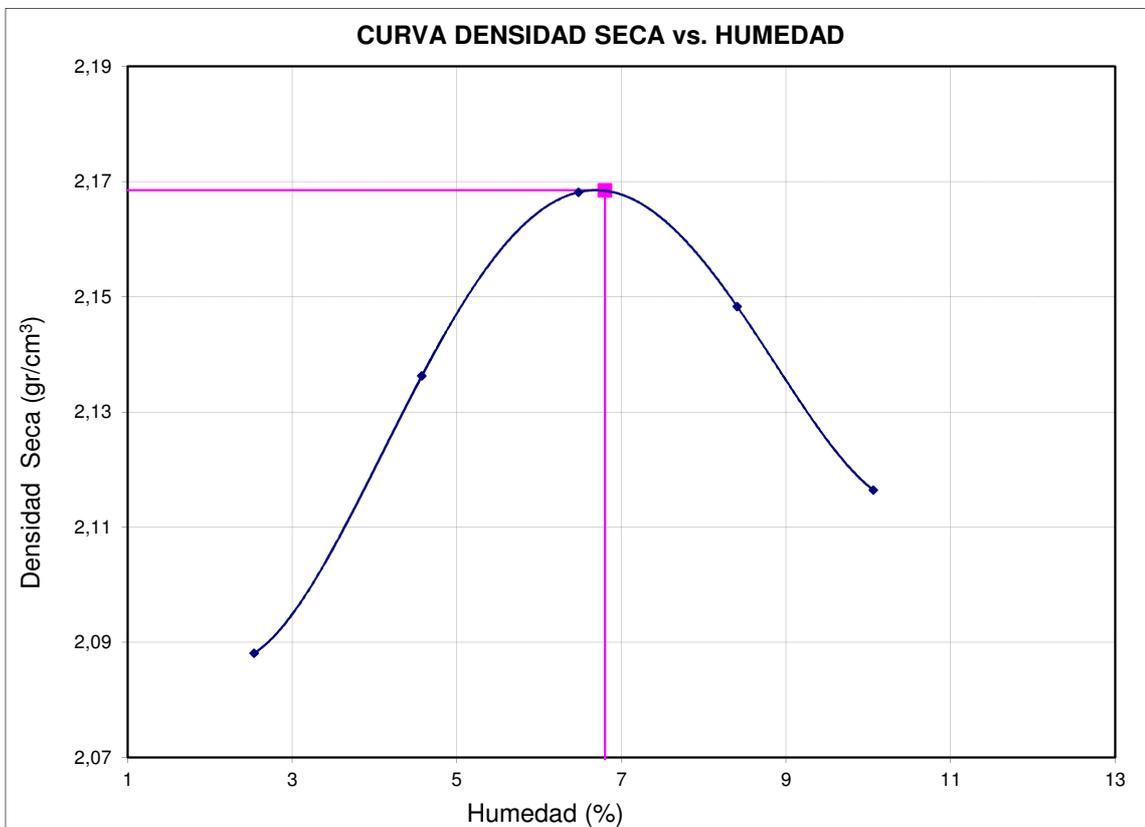
N° de muestra / Prof. (m): **TP_IP18-14 / M-1 / 1,80-6,50**

N° Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **24-abr-18**

Prueba N°	1	2	3	4	5	6
Densidad seca (gr/cm ³)	2,088	2,136	2,168	2,148	2,116	
Humedad(%)	2,5	4,6	6,5	8,4	10,1	



Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	2,169
Óptimo Contenido de Humedad (%)	6,8

Máx. Dens. Seca Corregida (gr/cm ³)	2,319
Ópt. Cont. de Humedad Corregida (%)	4,6

Fracción Sobre tamaño	
GS (Bulk)	= 2,70
w(%)	= 0,1

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:
IO

Ingresado por:
HEV

Revisado por:
JSG

N° Informe Lab :
AP-071-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_IP18-15 / M-1 / 3,80-6,90**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **24-abr-18**

Partículas >3" (%) : ---

Grava (%) : 53,9

Arena (%) : 37,0

Limos y Arcillas (%) : 9,1

D10 : 0,09

D30: 0,78

D60: 10,20

Cu: 111,47

Cc: 0,66

Límites de Atterberg:

LL (%) : NP

LP (%) : NP

IP (%) : NP

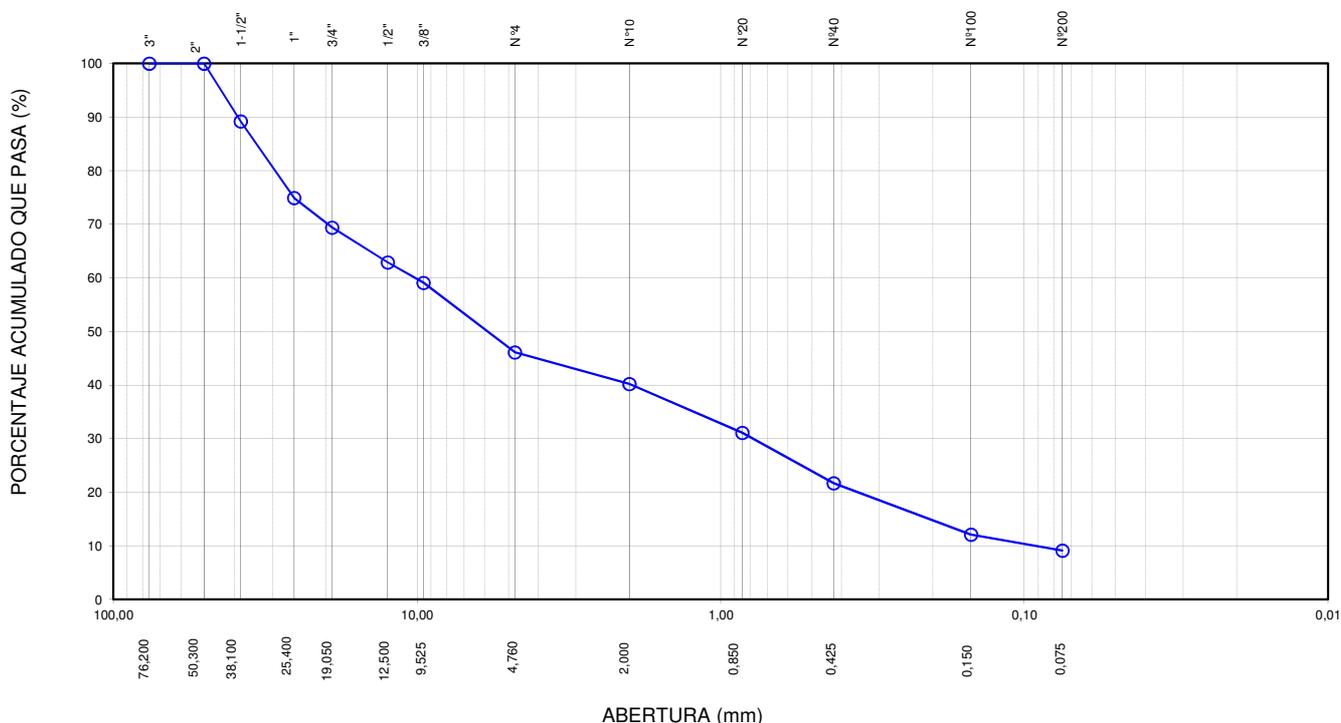
Humedad (%) : 0,4

Clasificación SUCS : GP-GM

Grava pobremente gradada con limo y arena

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,300	100,0
1 1/2"	38,100	89,2
1"	25,400	74,9
3/4"	19,050	69,4
1/2"	12,500	62,9
3/8"	9,525	59,1
Nº4	4,760	46,1
Nº10	2,000	40,2
Nº20	0,850	31,1
Nº40	0,425	21,7
Nº100	0,150	12,1
Nº200	0,075	9,1

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:
JSG

Nº Informe Lab :
AP-071-18

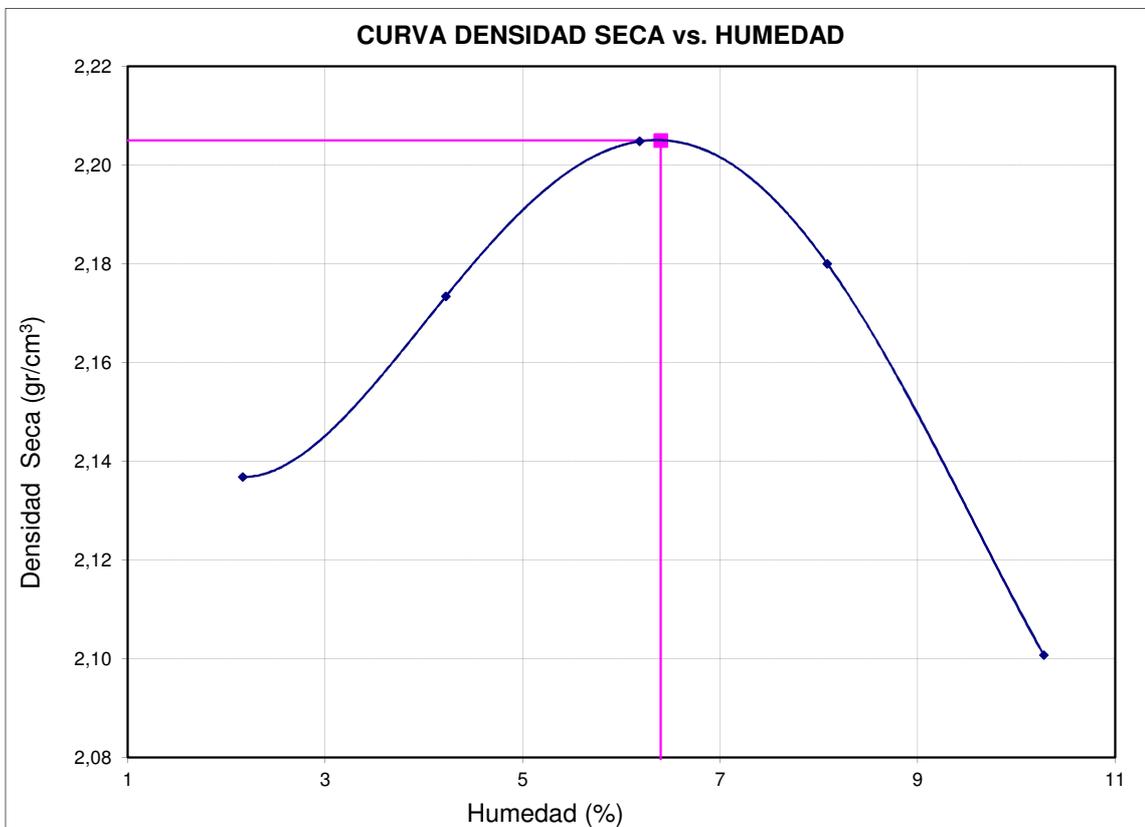
Nº de muestra / Prof. (m): **TP_IP18-15 / M-1 / 3,80-6,90**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **24-abr-18**

Prueba Nº	1	2	3	4	5	6
Densidad seca (gr/cm ³)	2,137	2,173	2,205	2,180	2,101	
Humedad(%)	2,2	4,2	6,2	8,1	10,3	



Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	2,205
Óptimo Contenido de Humedad (%)	6,4

Máx. Dens. Seca Corregida (gr/cm ³)	2,343
Ópt. Cont. de Humedad Corregida (%)	4,5

Fracción Sobre tamaño	
GS (Bulk)	= 2,73
w(%)	= 0,3

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:
IO

Ingresado por:
HEV

Revisado por:
JSG

Nº Informe Lab :
AP-071-18

N° de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-01 / Cono de Arena N°2 / 1,80**N° Informe Lab : **AP-071-18**Descripción / Zona: **Main Dam**Fecha: **21-may-18**

N° de Prueba	1	2	3
(1) Peso Recip + Suelo Húmedo (g)	2112,0	1969,5	
(2) Peso Recip + Suelo Seco (g)	2097,6	1956,9	
(3) Peso Recipiente (g)	260,3	361,6	
(4) Peso del Agua (1) - (2)	14,4	12,6	
(5) Peso Suelo Seco (2) - (3)	1837,3	1595,3	
(6) Humedad (4/5)*100 %	0,8	0,8	
Humedad Promedio (%)	0,8		

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:

IO

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

N° Informe Lab :

AP-071-18

N° de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-01 / M-2 / 2,60-4,00**

N° Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **17-may-18**

SUELTO				
N° de Prueba		1	2	3
1) Peso de Muestra Seca	(gr)	28035,0	28112,0	27982,0
2) Diámetro del Molde	(cm)	26,8	26,8	26,8
3) Altura del Molde	(cm)	27,9	27,9	27,9
4) Área de la Molde	(cm ²)	564,1	564,1	564,1
5) Volumen del Molde	(cm ³)	15738,5	15738,5	15738,5
6) Densidad Seca	(gr/cm ³)	1,78	1,79	1,78
7) Contenido de Humedad	(%)	0,0	0,0	0,0
8) Densidad de la muestra seca	(gr/cm ³)	1,78	1,79	1,78

Densidad seca promedio (gr/cm³)	1,782
---	--------------

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:

PCh

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

N° Informe Lab :

AP-071-18

N° de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-01 / M-2 / 2,60-4,00**

N° Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **17-may-18**

COMPACTADO

N° de Prueba		1	2	3
1) Peso de Muestra Seca	(gr)	32128,0	32312,0	32340,0
2) Diámetro del Molde	(cm)	26,8	26,8	26,8
3) Altura del Molde	(cm)	27,9	27,9	27,9
4) Área de la Molde	(cm ²)	564,1	564,1	564,1
5) Volumen del Molde	(cm ³)	15738,5	15738,5	15738,5
6) Densidad Seca	(gr/cm ³)	2,04	2,05	2,05
7) Contenido de Humedad	(%)	0,0	0,0	0,0
8) Densidad de la muestra seca	(gr/cm ³)	2,04	2,05	2,05

Densidad seca promedio (gr/cm³)	2,050
---	--------------

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:

PCh

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

Fecha:

17-may-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-01 / M-2 / 2,60-4,00**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **16-may-18**

Clasificación SUCS: GP

Estado : Remoldeado a Den.Seca=2,098g/cm3 y w%=4,9%

Etapa de consolidación	Inicial	Final	Velocidad (pulg/min)	0,01
Altura (cm)	21,40	21,16	Parámetro "B"	0,99
Diámetro (cm)	10,17	10,03	Presión de celda kPa	807
Humedad (%)	4,90	7,62	Contra presión kPa	207
Densidad seca (gr/cc)	2,098	2,181	Esf. Efect. Inicial kPa	600

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	ΔV (cm ³)	$\bar{\sigma}_3$ (cm ³)	$\bar{\sigma}_1$ (cm ³)	\bar{p} (cm ³)	\bar{q} (cm ³)	\bar{q} / \bar{p}	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$)
0,00	0,00	0,00	600,00	600,00	600,00	0,00	0,00	1,00
0,05	120,23	-0,53	600,00	720,23	660,11	60,11	0,09	1,20
0,10	190,37	-1,06	600,00	790,37	695,19	95,19	0,14	1,32
0,20	306,11	-2,12	600,00	906,11	753,06	153,06	0,20	1,51
0,35	456,91	-3,71	600,00	1 056,91	828,46	228,46	0,28	1,76
0,50	595,75	-5,30	600,00	1 195,75	897,87	297,87	0,33	1,99
0,75	795,23	-8,48	600,00	1 395,23	997,62	397,62	0,40	2,33
1,00	975,13	-10,60	600,00	1 575,13	1 087,56	487,56	0,45	2,63
1,25	1 146,10	-13,25	600,00	1 746,10	1 173,05	573,05	0,49	2,91
1,50	1 298,25	-14,31	600,00	1 898,25	1 249,13	649,13	0,52	3,16
1,75	1 429,39	-15,90	600,00	2 029,39	1 314,69	714,69	0,54	3,38
2,00	1 549,18	-18,02	600,00	2 149,18	1 374,59	774,59	0,56	3,58
2,50	1 750,64	-19,61	600,00	2 350,64	1 475,32	875,32	0,59	3,92
3,00	1 911,38	-22,26	600,00	2 511,38	1 555,69	955,69	0,61	4,19
3,50	2 034,24	-23,85	600,00	2 634,24	1 617,12	1 017,12	0,63	4,39
4,00	2 134,44	-24,38	600,00	2 734,44	1 667,22	1 067,22	0,64	4,56
4,50	2 214,08	-24,38	600,00	2 814,08	1 707,04	1 107,04	0,65	4,69
5,00	2 269,73	-24,91	600,00	2 869,73	1 734,87	1 134,87	0,65	4,78
6,00	2 342,64	-24,91	600,00	2 942,64	1 771,32	1 171,32	0,66	4,90
7,00	2 373,23	-22,79	600,00	2 973,23	1 786,62	1 186,62	0,66	4,96
8,00	2 401,79	-21,73	600,00	3 001,79	1 800,89	1 200,89	0,67	5,00
9,00	2 408,83	-20,67	600,00	3 008,83	1 804,42	1 204,42	0,67	5,01
10,00	2 407,37	-20,14	600,00	3 007,37	1 803,68	1 203,68	0,67	5,01
11,00	2 399,17	-19,08	600,00	2 999,17	1 799,58	1 199,58	0,67	5,00
12,00	2 390,01	-18,02	600,00	2 990,01	1 795,01	1 195,01	0,67	4,98
13,00	2 364,76	-17,49	600,00	2 964,76	1 782,38	1 182,38	0,66	4,94
14,00	2 339,21	-16,43	600,00	2 939,21	1 769,60	1 169,60	0,66	4,90

Nota:

Los datos de remoldeo han sido indicados por el cliente.

Ensayo realizado con material pasante 3/4".

Observaciones:

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

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Grado de compactación:

Bajo
 Ligero
 Medio
 Alto
 Elevado

Realizado por:

CGC

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

Fecha:

16-may-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-01 / M-2 / 2,60-4,00**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **16-may-18**

Clasificación SUCS: GP

Estado : Remoldeado a Den.Seca=2,098g/cm3 y w%=4,9%

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	21,40	21,30
Diámetro (cm)	10,17	10,09
Humedad (%)	4,90	8,86
Densidad seca (gr/cc)	2,098	2,140

Velocidad (pulg/min)	0,01
Parámetro "B"	0,99
Presión de celda kPa	507
Contra presión kPa	207
Esf. Efect. Inicial kPa	300

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	ΔV (cm ³)	σ_3 (cm ³)	σ_1 (cm ³)	\bar{p} (cm ³)	\bar{q} (cm ³)	\bar{q} / \bar{p}	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$)
0,00	0,00	0,00	300,00	300,00	300,00	0,00	0,00	1,00
0,05	139,19	-0,53	300,00	439,19	369,60	69,60	0,19	1,46
0,10	225,77	-1,59	300,00	525,77	412,89	112,89	0,27	1,75
0,20	348,41	-2,12	300,00	648,41	474,21	174,21	0,37	2,16
0,35	516,16	-3,18	300,00	816,16	558,08	258,08	0,46	2,72
0,50	667,29	-4,24	300,00	967,29	633,65	333,65	0,53	3,22
0,75	854,10	-5,30	300,00	1 154,10	727,05	427,05	0,59	3,85
1,00	1 000,49	-5,83	300,00	1 300,49	800,25	500,25	0,63	4,33
1,25	1 094,05	-6,89	300,00	1 394,05	847,02	547,02	0,65	4,65
1,50	1 158,53	-6,36	300,00	1 458,53	879,27	579,27	0,66	4,86
1,75	1 218,46	-6,36	300,00	1 518,46	909,23	609,23	0,67	5,06
2,00	1 228,29	-5,83	300,00	1 528,29	914,15	614,15	0,67	5,09
2,50	1 260,73	-5,30	300,00	1 560,73	930,36	630,36	0,68	5,20
3,00	1 258,60	-4,77	300,00	1 558,60	929,30	629,30	0,68	5,20
3,50	1 258,89	-3,18	300,00	1 558,89	929,45	629,45	0,68	5,20
4,00	1 243,82	-2,65	300,00	1 543,82	921,91	621,91	0,67	5,15
4,50	1 232,11	-2,12	300,00	1 532,11	916,06	616,06	0,67	5,11
5,00	1 214,26	-1,06	300,00	1 514,26	907,13	607,13	0,67	5,05
6,00	1 206,83	0,00	300,00	1 506,83	903,41	603,41	0,67	5,02
7,00	1 172,13	1,06	300,00	1 472,13	886,06	586,06	0,66	4,91
8,00	1 162,84	1,59	300,00	1 462,84	881,42	581,42	0,66	4,88
9,00	1 144,00	2,65	300,00	1 444,00	872,00	572,00	0,66	4,81
10,00	1 128,48	2,65	300,00	1 428,48	864,24	564,24	0,65	4,76
11,00	1 120,53	2,65	300,00	1 420,53	860,26	560,26	0,65	4,74
12,00	1 117,87	2,65	300,00	1 417,87	858,93	558,93	0,65	4,73
13,00	1 113,44	2,65	300,00	1 413,44	856,72	556,72	0,65	4,71
14,00	1 121,26	2,12	300,00	1 421,26	860,63	560,63	0,65	4,74

Nota:

Los datos de remoldeo han sido indicados por el cliente.

Ensayo realizado con material pasante 3/4".

Observaciones:

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

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Grado de compactación:

Bajo

Ligero

Medio

Alto

Elevado

Realizado por:

CGC

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

Fecha:

16-may-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-01 / M-2 / 2,60-4,00**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **16-may-18**

Clasificación SUCS: GP

Estado : Remoldeado a Den.Seca=2,098g/cm3 y w%=4,9%

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	21,40	21,34
Diámetro (cm)	10,17	10,10
Humedad (%)	4,90	9,71
Densidad seca (gr/cc)	2,098	2,135

Velocidad (pulg/min)	0,01
Parámetro "B"	0,99
Presión de celda kPa	357
Contra presión kPa	207
Esf. Efect. Inicial kPa	150

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	ΔV (cm ³)	σ_3 (cm ³)	σ_1 (cm ³)	\bar{p} (cm ³)	\bar{q} (cm ³)	\bar{q} / \bar{p}	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$)
0,00	0,00	0,00	150,00	150,00	150,00	0,00	0,00	1,00
0,05	76,16	-0,53	150,00	226,16	188,08	38,08	0,20	1,51
0,10	130,37	-1,06	150,00	280,37	215,18	65,18	0,30	1,87
0,20	212,18	-2,12	150,00	362,18	256,09	106,09	0,41	2,41
0,35	319,54	-2,12	150,00	469,54	309,77	159,77	0,52	3,13
0,50	406,24	-2,65	150,00	556,24	353,12	203,12	0,58	3,71
0,75	516,33	-2,65	150,00	666,33	408,16	258,16	0,63	4,44
1,00	581,41	-1,59	150,00	731,41	440,70	290,70	0,66	4,88
1,25	628,33	-1,06	150,00	778,33	464,16	314,16	0,68	5,19
1,50	646,89	-0,53	150,00	796,89	473,45	323,45	0,68	5,31
1,75	658,85	0,53	150,00	808,85	479,42	329,42	0,69	5,39
2,00	658,26	1,59	150,00	808,26	479,13	329,13	0,69	5,39
2,50	660,46	2,65	150,00	810,46	480,23	330,23	0,69	5,40
3,00	652,04	4,24	150,00	802,04	476,02	326,02	0,68	5,35
3,50	646,35	5,30	150,00	796,35	473,17	323,17	0,68	5,31
4,00	634,42	6,36	150,00	784,42	467,21	317,21	0,68	5,23
4,50	629,29	6,89	150,00	779,29	464,65	314,65	0,68	5,20
5,00	621,44	7,95	150,00	771,44	460,72	310,72	0,67	5,14
6,00	603,29	8,48	150,00	753,29	451,64	301,64	0,67	5,02
7,00	595,49	9,01	150,00	745,49	447,75	297,75	0,66	4,97
8,00	592,94	9,54	150,00	742,94	446,47	296,47	0,66	4,95
9,00	593,70	10,07	150,00	743,70	446,85	296,85	0,66	4,96
10,00	584,65	9,54	150,00	734,65	442,33	292,33	0,66	4,90
11,00	581,97	10,07	150,00	731,97	440,98	290,98	0,66	4,88
12,00	575,27	10,07	150,00	725,27	437,64	287,64	0,66	4,84
13,00	576,38	10,60	150,00	726,38	438,19	288,19	0,66	4,84
14,00	574,28	10,60	150,00	724,28	437,14	287,14	0,66	4,83

Nota:

Los datos de remoldeo han sido indicados por el cliente.

Ensayo realizado con material pasante 3/4".

Observaciones:

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

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Grado de compactación:

Bajo
 Ligero
 Medio
 Alto
 Elevado

Realizado por:

CGC

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

Fecha:

16-may-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-01 / M-2 / 2,60-4,00**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

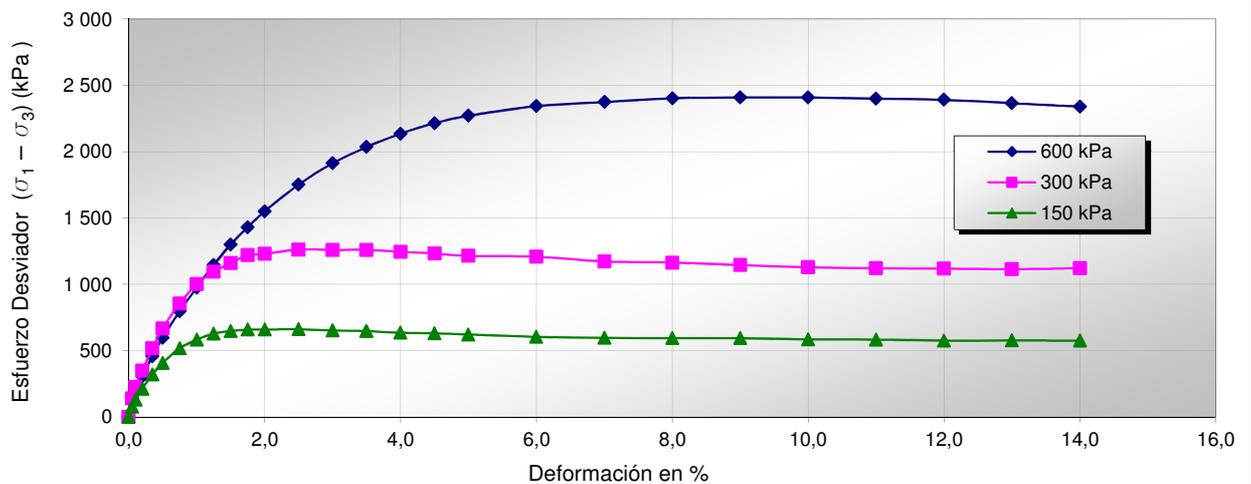
Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **16-may-18**

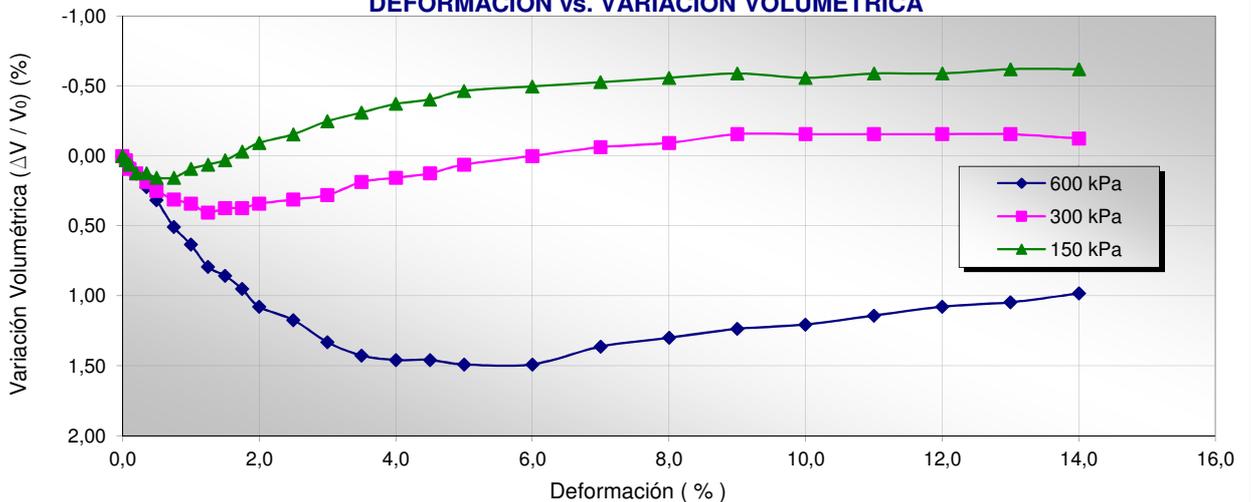
Clasificación SUCS: GP

Estado : Remoldeado a Den.Seca=2,098g/cm3 y w%=4,9%

DEFORMACIÓN vs. ESFUERZO



DEFORMACIÓN vs. VARIACIÓN VOLUMÉTRICA



Nota:

Los datos de remoldeo han sido indicados por el cliente.

Ensayo realizado con material pasante 3/4".

Observaciones:

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

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Grado de compactación:

Bajo

Ligero

Medio

Alto

Elevado

Realizado por:

CGC

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

Fecha:

16-may-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-01 / M-2 / 2,60-4,00**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

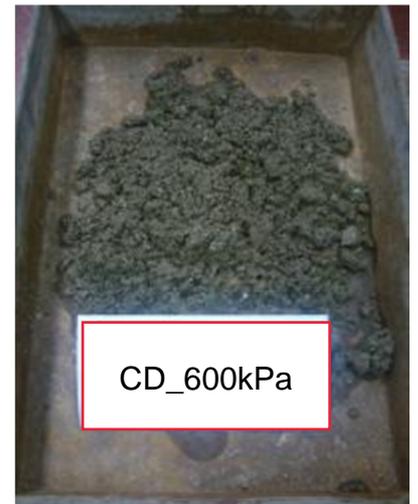
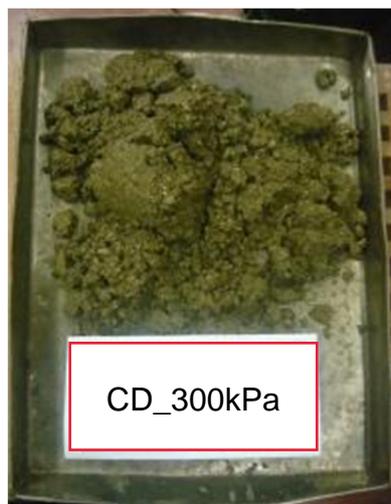
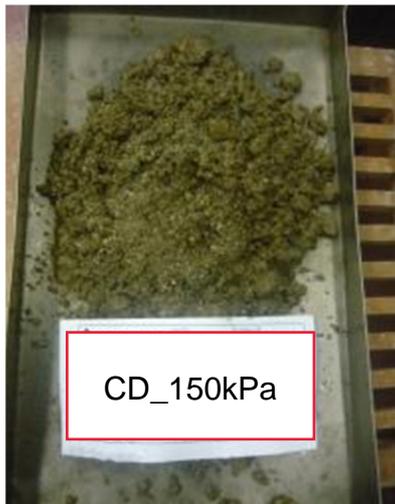
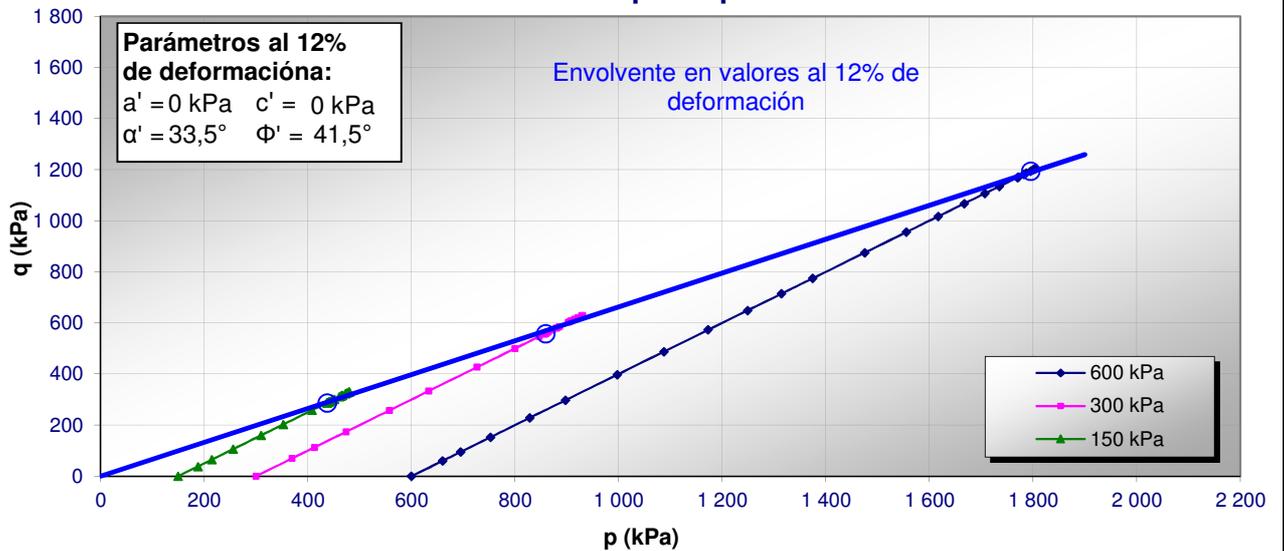
Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **16-may-18**

Clasificación SUCS: GP

Estado : Remoldeado a Den.Seca=2,098g/cm³ y w%=4,9%

p vs. q



Nota:

Los datos de remoldeo han sido indicados por el cliente.

Ensayo realizado con material pasante 3/4".

Observaciones:

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

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Grado de compactación:

Bajo

Ligero

Medio

Alto

Elevado

Realizado por:

CGC

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

Fecha:

16-may-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-01 / M-2 / 2,60-4,00**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **24-abr-18**

Partículas >3" (%) : ---
 Grava (%) : 56,1
 Arena (%) : 39,3
 Limos y Arcillas (%) : 4,6

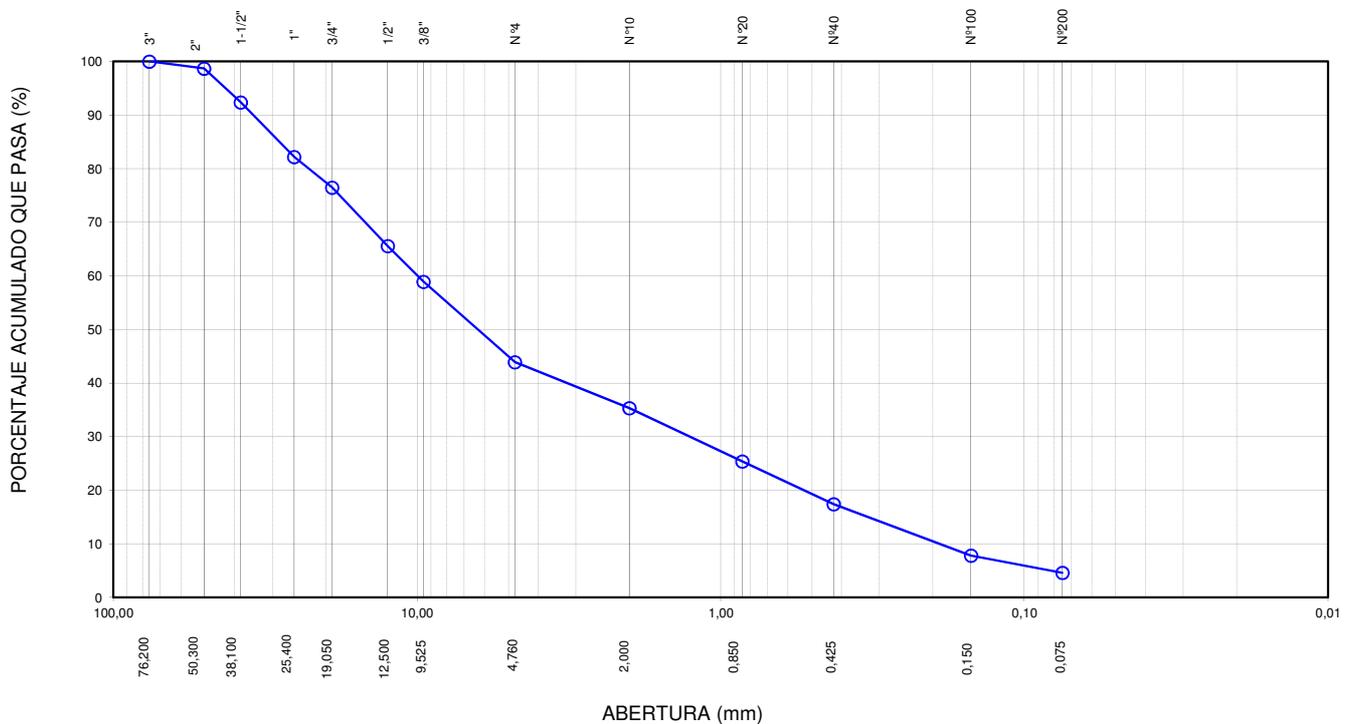
D10 : 0,19
 D30: 1,26
 D60: 9,99
 Cu: 52,44
 Cc: 0,84

Límites de Atterberg:
 LL (%) : NP
 LP (%) : NP
 IP (%) : NP

Humedad (%) : 0,9
 Clasificación SUCS : GP
 Grava pobremente gradada con arena

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,300	98,7
1 1/2"	38,100	92,4
1"	25,400	82,2
3/4"	19,050	76,5
1/2"	12,500	65,6
3/8"	9,525	58,9
Nº4	4,760	43,9
Nº10	2,000	35,3
Nº20	0,850	25,4
Nº40	0,425	17,4
Nº100	0,150	7,8
Nº200	0,075	4,6

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:
JSG

Nº Informe Lab :
AP-071-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-01 / M-2 / 2,60-4,00**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **24-abr-18**

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA Nº 4					
% Retenido en la Malla Nº 4	P ₁	56,1			
Nº de Prueba		1	2		
1) Peso de grava en agua S.S.S. en aire (gr)		1884,2	1941,5		
2) Peso de grava en agua S.S.S. en agua (gr)		1197,2	1229,8		
3) Peso de grava seca (gr)		1876,3	1935,8	Promedio	
4) Gravedad Específica de Sólidos Aparente	(3) / [(3)-(2)]	G _{s1}	2,76	2,74	2,75
5) Gravedad Específica de Sólidos Seca	(3) / [(1)-(2)]		2,73	2,72	2,73
6) Gravedad Específica de Sólidos S.S.S.	(1) / [(1)-(2)]		2,74	2,73	2,74
7) Absorción (%)	[(1)-(3)] / (3) * 100		0,42	0,29	0,36

MATERIAL PASA LA MALLA Nº 4					
% Pasa la Malla Nº 4	P ₂	43,9			
1) Nº de Fiola		1	2		
2) Peso de Fiola (gr)		163,5	158,2		
3) Peso de Muestra Seca (gr)		100,0	100,0		
4) Peso de Muestra Seca + Fiola (gr)		263,5	2583,2		
5) Peso de Muestra Seca + Fiola + Agua (gr)		725,4	720,5		
6) Peso de Fiola + Peso de agua		662,3	657,2		
7) Gravedad Específica de Sólidos	(3)/[(3)+(6)-(5)]	G _{s2}	2,71	2,72	
8) Temperatura (°C)			20	20	
9) Corrección por Temperatura (K)			1,0000	1,0000	
10) Gravedad Específica de Sólidos Corregido	(7)*(9)	G _{s2} (20°C)	2,72		

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

G _{s_{prom}} =	2,74
---------------------------------	------

Notas: Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.
El G_{s_{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:

DCF

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

Nº Informe Lab :

AP-071-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-01 / M-2 / 2,60-4,00**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **24-abr-18**

Partículas >3" (%) : ---
 Grava (%) : 51,3
 Arena (%) : 43,7
 Limos y Arcillas (%) : 5,0

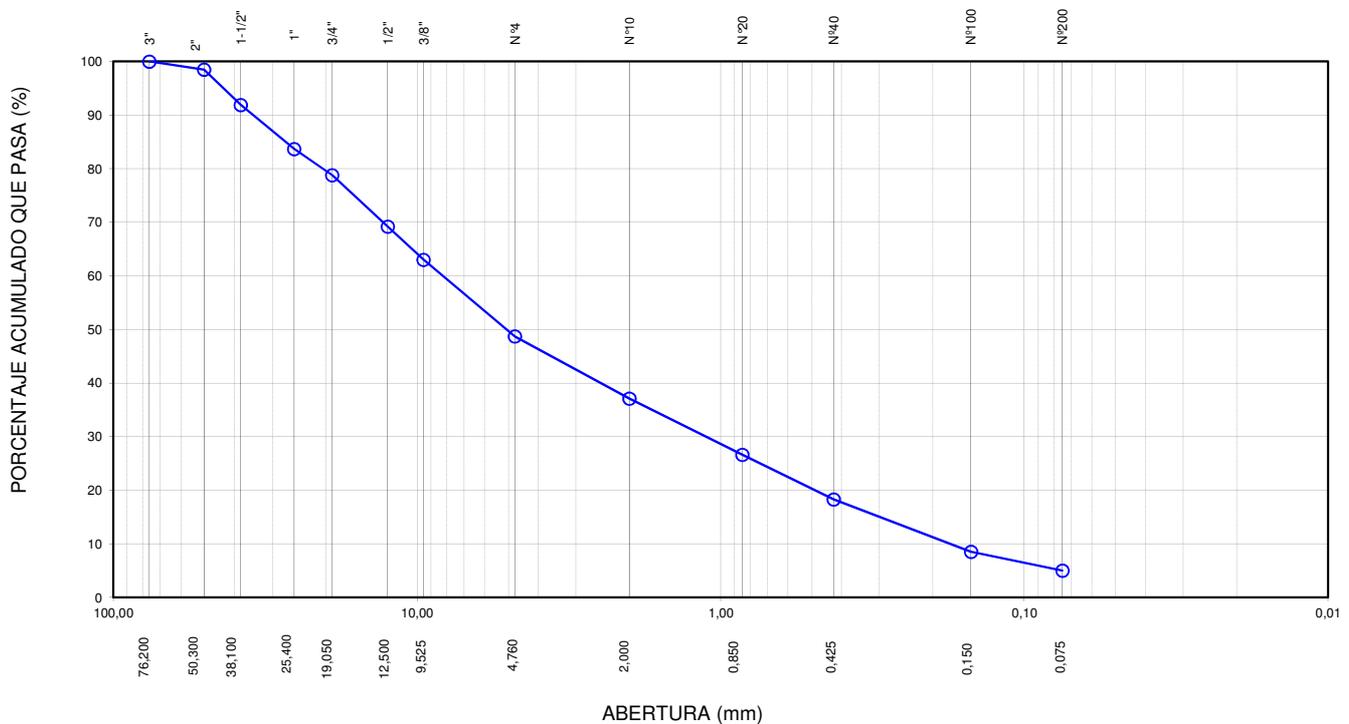
D10 : 0,18
 D30: 1,12
 D60: 8,24
 Cu: 46,81
 Cc: 0,87

Límites de Atterberg:
 LL (%) : NP
 LP (%) : NP
 IP (%) : NP

Humedad (%) : 0,9
 Clasificación SUCS : GP-GM
 Grava pobremente gradada con limo y arena

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,300	98,5
1 1/2"	38,100	91,9
1"	25,400	83,7
3/4"	19,050	78,8
1/2"	12,500	69,2
3/8"	9,525	63,0
Nº4	4,760	48,7
Nº10	2,000	37,1
Nº20	0,850	26,6
Nº40	0,425	18,3
Nº100	0,150	8,5
Nº200	0,075	5,0

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:
JSG

Nº Informe Lab :
AP-071-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-01 / M-1 / 0,00-1,20**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **24-abr-18**

Partículas >3" (%) : ---
 Grava (%) : 37,3
 Arena (%) : 55,7
 Limos y Arcillas (%) : 7,0

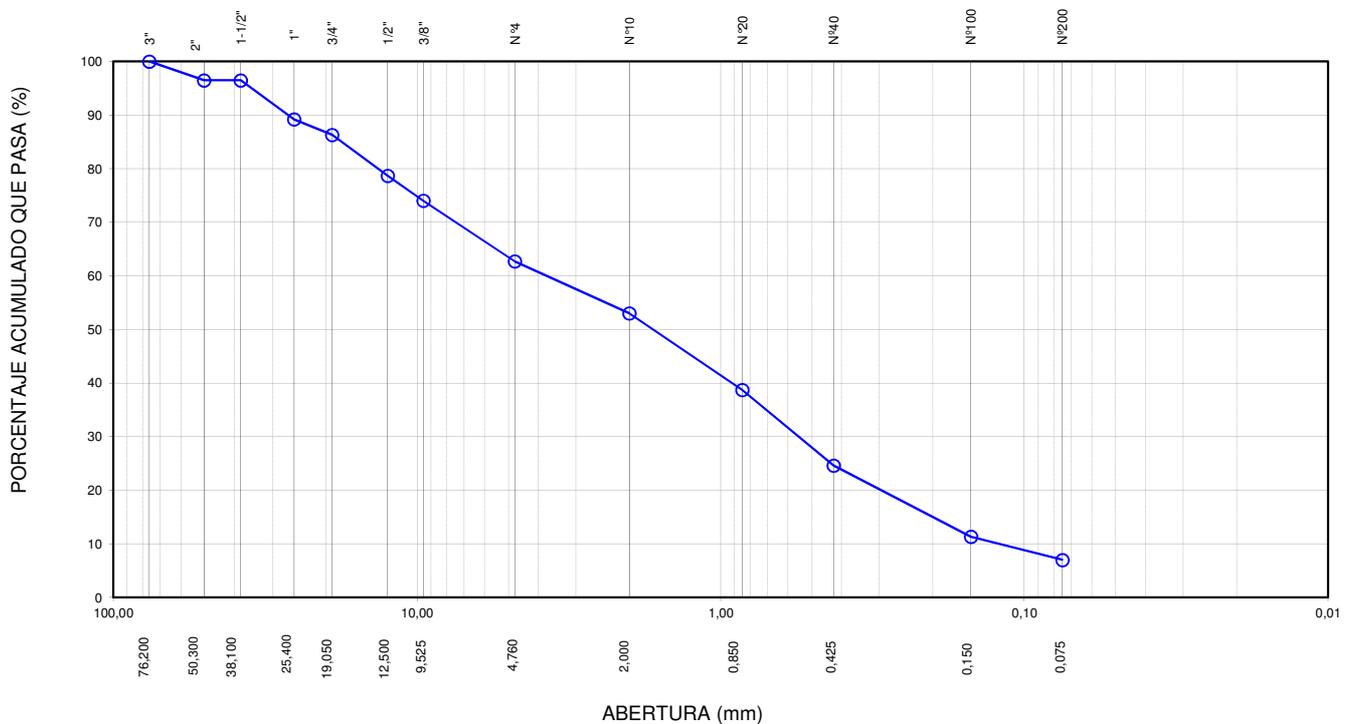
D10 : 0,12
 D30: 0,55
 D60: 3,74
 Cu: 30,87
 Cc: 0,68

Límites de Atterberg:
 LL (%) : NP
 LP (%) : NP
 IP (%) : NP

Humedad (%) : 0,7
 Clasificación SUCS : SP-SM
 Arena pobremente gradada con limo y grava

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,300	96,5
1 1/2"	38,100	96,5
1"	25,400	89,2
3/4"	19,050	86,3
1/2"	12,500	78,7
3/8"	9,525	74,0
Nº4	4,760	62,7
Nº10	2,000	53,0
Nº20	0,850	38,7
Nº40	0,425	24,6
Nº100	0,150	11,3
Nº200	0,075	7,0

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:
JSG

Nº Informe Lab :
AP-071-18

N° de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-02 / Cono de Arena N°1 / 1,80**N° Informe Lab : **AP-071-18**Descripción / Zona: **Main Dam**Fecha: **21-may-18**

N° de Prueba	1	2	3
(1) Peso Recip + Suelo Húmedo (g)	2488,2	2216,0	
(2) Peso Recip + Suelo Seco (g)	2458,3	2187,7	
(3) Peso Recipiente (g)	430,9	294,2	
(4) Peso del Agua (1) - (2)	29,9	28,3	
(5) Peso Suelo Seco (2) - (3)	2027,4	1893,5	
(6) Humedad (4/5)*100 %	1,5	1,5	
Humedad Promedio (%)	1,5		

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:

IO

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

N° Informe Lab :

AP-071-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-02 / M-1 / 3,50-6,00**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **24-abr-18**

Partículas >3" (%) : ---

Grava (%) : 54,9

Arena (%) : 41,0

Limos y Arcillas (%) : 4,1

D10 : 0,21

D30: 1,07

D60: 10,11

Cu: 48,59

Cc: 0,55

Límites de Atterberg:

LL (%) : NP

LP (%) : NP

IP (%) : NP

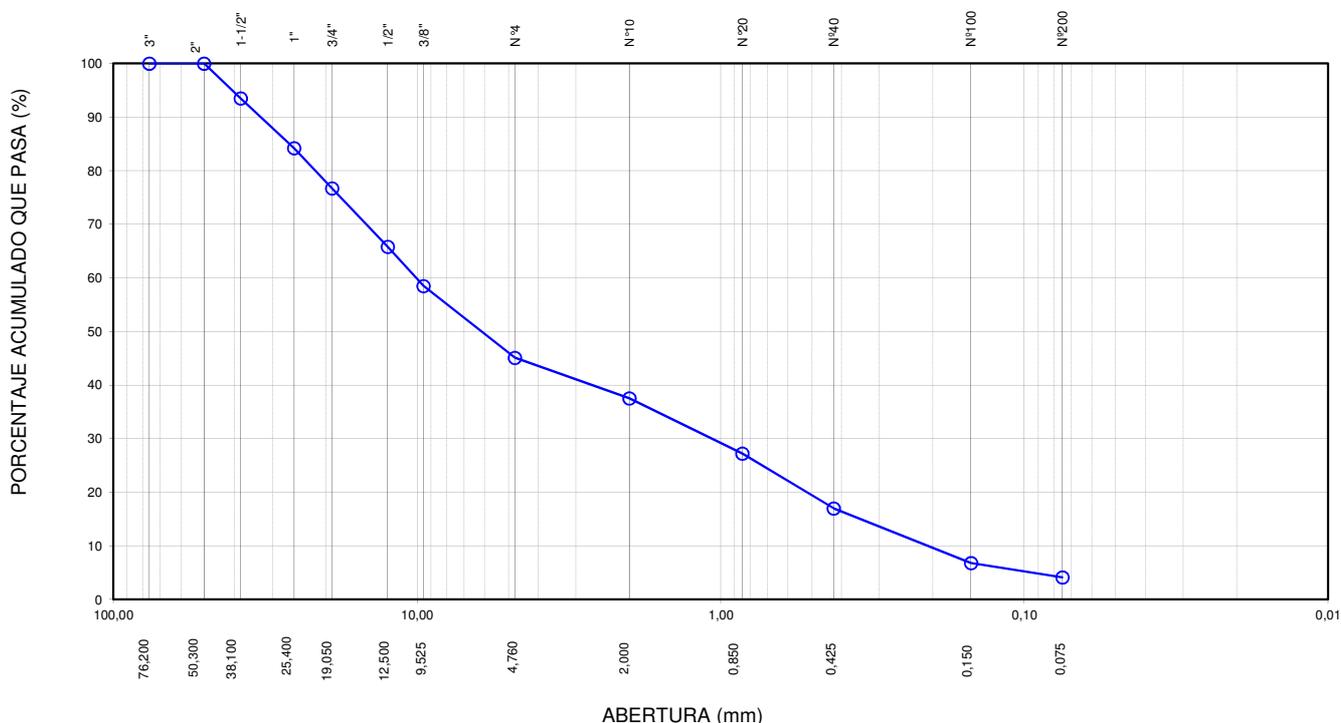
Humedad (%) : 1,6

Clasificación SUCS : GP

Grava pobremente gradada con arena

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,300	100,0
1 1/2"	38,100	93,5
1"	25,400	84,2
3/4"	19,050	76,7
1/2"	12,500	65,8
3/8"	9,525	58,5
Nº4	4,760	45,1
Nº10	2,000	37,5
Nº20	0,850	27,2
Nº40	0,425	17,0
Nº100	0,150	6,8
Nº200	0,075	4,1

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:

JSG

Nº Informe Lab :

AP-071-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-03 / M-1 / 4,50-5,50**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **24-abr-18**

Partículas >3" (%) : ---

Grava (%) : 53,1

Arena (%) : 42,1

Limos y Arcillas (%) : 4,8

D10 : 0,21

D30: 1,54

D60: 7,57

Cu: 36,29

Cc: 1,50

Límites de Atterberg:

LL (%) : NP

LP (%) : NP

IP (%) : NP

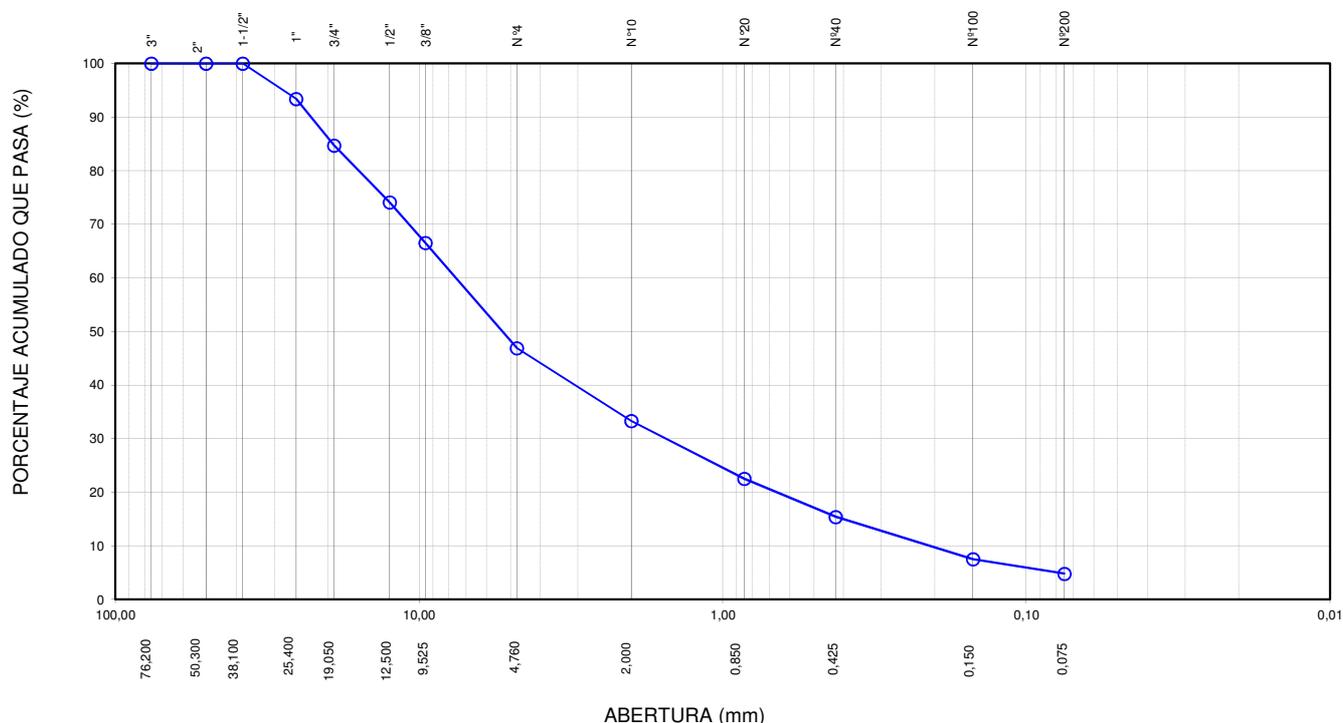
Humedad (%) : 2,4

Clasificación SUCS : GW

Grava bien gradada con arena

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,300	100,0
1 1/2"	38,100	100,0
1"	25,400	93,4
3/4"	19,050	84,7
1/2"	12,500	74,1
3/8"	9,525	66,5
Nº4	4,760	46,9
Nº10	2,000	33,3
Nº20	0,850	22,5
Nº40	0,425	15,4
Nº100	0,150	7,5
Nº200	0,075	4,8

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:
JSG

Nº Informe Lab :
AP-071-18

N° de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-04 / Cono de Arena N°3 / 1,80**N° Informe Lab : **AP-071-18**Descripción / Zona: **Main Dam**Fecha: **21-may-18**

N° de Prueba	1	2	3
(1) Peso Recip + Suelo Húmedo (g)	2165,6	2021,7	
(2) Peso Recip + Suelo Seco (g)	2149,0	2007,3	
(3) Peso Recipiente (g)	341,5	360,0	
(4) Peso del Agua (1) - (2)	16,6	14,4	
(5) Peso Suelo Seco (2) - (3)	1807,5	1647,3	
(6) Humedad (4/5)*100 %	0,9	0,9	
Humedad Promedio (%)	0,9		

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:

IO

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

N° Informe Lab :

AP-071-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-04 / M-1 / 2,00-5,60**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **24-abr-18**

Partículas >3" (%): ---

Grava (%): 63,8

Arena (%): 32,1

Limos y Arcillas (%): 4,1

D10 : 0,24

D30: 2,23

D60: 18,62

Cu: 78,26

Cc: 1,12

Límites de Atterberg:

LL (%): NP

LP (%): NP

IP (%): NP

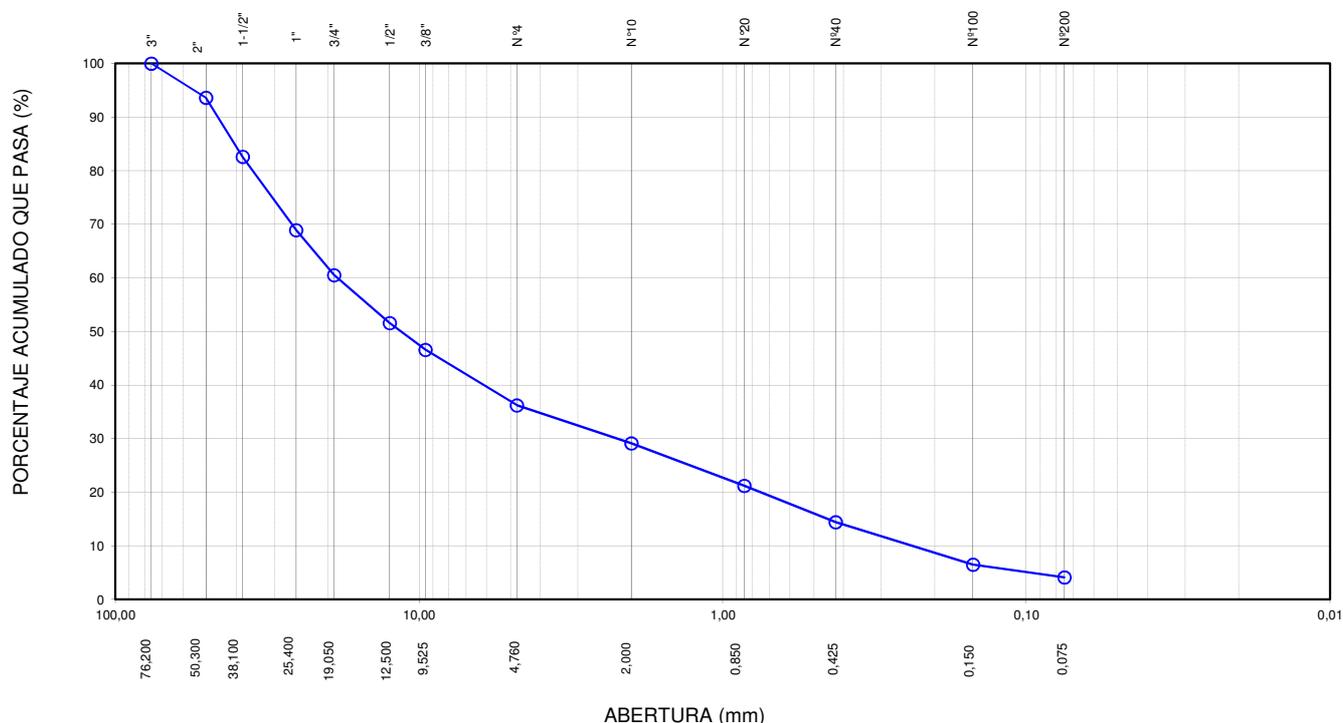
Humedad (%): 1,6

Clasificación SUCS : GW

Grava bien gradada con arena

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,300	93,6
1 1/2"	38,100	82,6
1"	25,400	68,9
3/4"	19,050	60,5
1/2"	12,500	51,6
3/8"	9,525	46,6
Nº4	4,760	36,2
Nº10	2,000	29,1
Nº20	0,850	21,2
Nº40	0,425	14,4
Nº100	0,150	6,5
Nº200	0,075	4,1

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:
JSG

Nº Informe Lab :
AP-071-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-04 / M-1 / 2,00-5,60**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Nº de Proyecto: **102345-01**

Fecha: **24-abr-18**

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA Nº 4					
% Retenido en la Malla Nº 4	P ₁	63,8			
Nº de Prueba		1	2		
1) Peso de grava en agua S.S.S. en aire (gr)		2290,5	2328,1		
2) Peso de grava en agua S.S.S. en agua (gr)		1452,6	1473,0		
3) Peso de grava seca (gr)		2279,7	2310,0	Promedio	
4) Gravedad Específica de Sólidos Aparente	(3) / [(3)-(2)] G _{s1}	2,76	2,76	2,76	
5) Gravedad Específica de Sólidos Seca	(3) / [(1)-(2)]	2,72	2,70	2,71	
6) Gravedad Específica de Sólidos S.S.S.	(1) / [(1)-(2)]	2,73	2,72	2,73	
7) Absorción (%)	[(1)-(3)] / (3) * 100	0,47	0,78	0,63	

MATERIAL PASA LA MALLA Nº 4					
% Pasa la Malla Nº 4	P ₂	36,2			
1) Nº de Fiola		1	2		
2) Peso de Fiola (gr)		161,6	210,6		
3) Peso de Muestra Seca (gr)		100,0	100,0		
4) Peso de Muestra Seca + Fiola (gr)		261,6	310,6		
5) Peso de Muestra Seca + Fiola + Agua (gr)		724,4	773,2		
6) Peso de Fiola + Peso de agua		660,4	709,2		
7) Gravedad Específica de Sólidos	(3)/[(3)+(6)-(5)] G _{s2}	2,78	2,78		
8) Temperatura (°C)		20	20		
9) Corrección por Temperatura (K)		1,0000	1,0000		
10) Gravedad Específica de Sólidos Corregido	(7)*(9) G _{s2} (20°C)	2,78			

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

G _{s_{prom}} =	2,77
---------------------------------	------

Notas: Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.
El G_{s_{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

JSG

AP-071-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-04 / M-1 / 2,00-5,60**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **07-jun-18**

Estado de la muestra: Remoldeado a Den.Seca=1,870g/cm3 y w%=1,9 (*) El promedio corresponde a 10 lecturas

Clasificación SUCS: **GW**

pero solo se reportan 4 de éstas.

Datos del Ensayo

Diámetro (cm)	30,70	Densidad inicial seca(gr/cm ³)	1,88	Densidad final seca(gr/cm ³)	2,07
Altura (cm)	31,94	Humedad Inicial (%)	1,6	Humedad final (%)	13,0
Gravedad de Sólidos	2,77	Saturación inicial (%)	9,2	Saturación final (%)	99

Medición del Coeficiente de Permeabilidad

Carga

Gradiente hidráulico promedio				Carga					
0,009				--					
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)	
24,0	23,7	0,3	71,17	474,0	6,66	9,6E-01	22,0	9,1E-01	
24,0	23,7	0,3	64,18	429,0	6,68	9,6E-01	22,0	9,2E-01	
24,0	23,7	0,3	68,80	460,0	6,69	9,6E-01	22,0	9,2E-01	
24,0	23,7	0,3	65,04	435,0	6,69	9,6E-01	22,0	9,2E-01	

Promedio (cm/s) : 9,1E-01 (*)

Medición del Coeficiente de Permeabilidad

Carga

Gradiente hidráulico promedio				Carga					
0,079				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)	
25,9	23,6	2,3	82,77	562,0	6,79	1,2E-01	22,0	1,1E-01	
25,9	23,6	2,3	105,56	717,0	6,79	1,2E-01	22,0	1,1E-01	
25,9	23,6	2,3	107,81	731,0	6,78	1,2E-01	22,0	1,1E-01	
25,9	23,6	2,3	63,95	434,0	6,79	1,2E-01	22,0	1,1E-01	

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

Notas:

Ensayo de carga constante.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Los datos de remoldeo fue coordinado con el cliente.

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 / AR

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

Nº Informe Lab :

AP-071-18

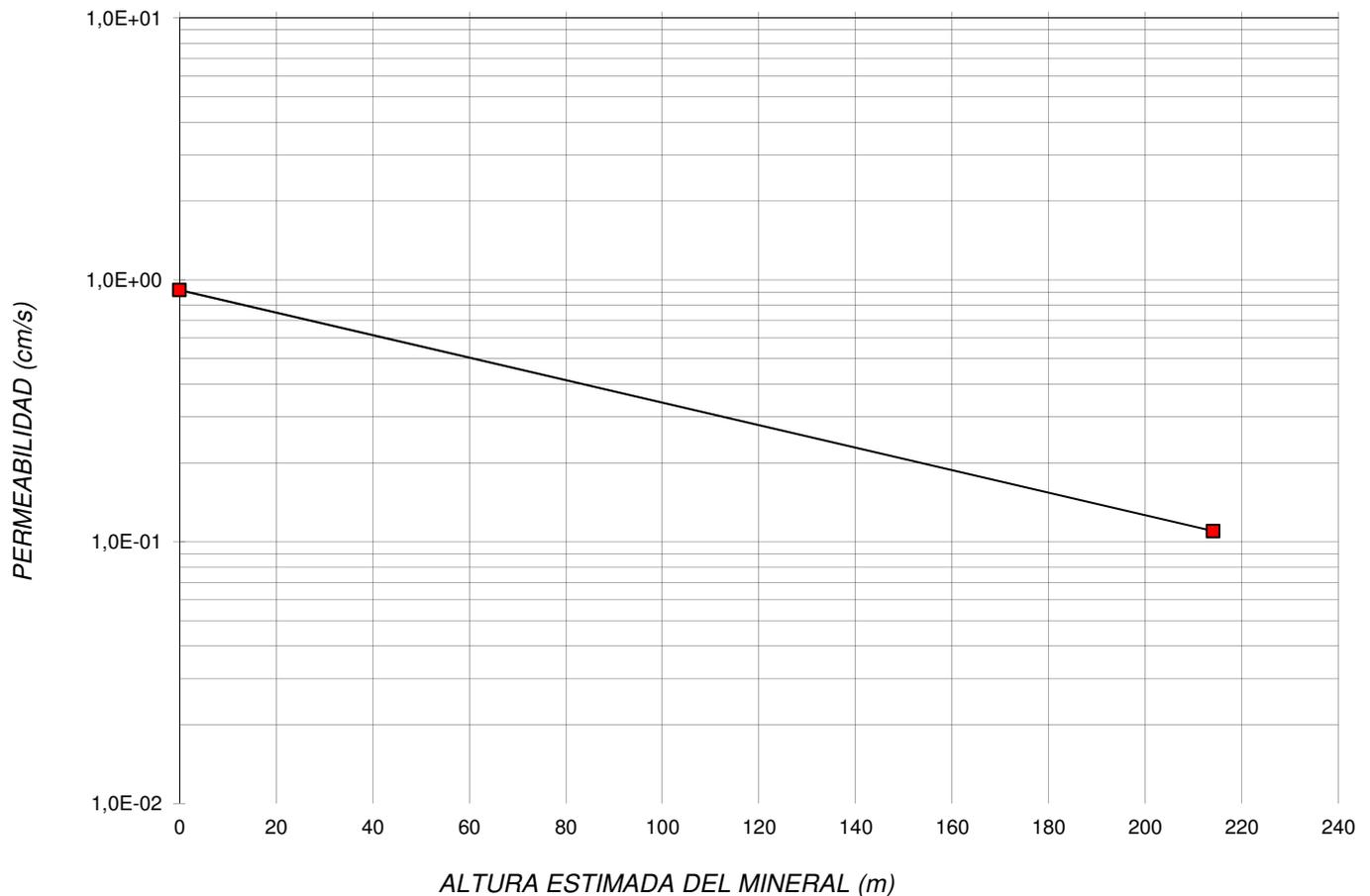
Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-04 / M-1 / 2,00-5,60**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **07-jun-18**

Nº ENSAYO	CONTENIDO DE AGUA %	DENSIDAD SECA (g/cm ³)	ALTURA ESTIMADA DEL MINERAL (m)	ESFUERZO NORMAL (kPa)	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (cm/s)
Inicial	1,6	-	-	-	-
1		1,88	0	0,0	9,1E-01
2		2,07	214	4000,0	1,1E-01
3					
Final	13,0	2,07			



NOTAS: Uso permeámetro de 12" de pared rígida.

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 / AR

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

Nº Informe Lab :

AP-071-18

N° de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-04 / M-1 / 2,00-5,60**

N° Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **17-may-18**

SUELTO				
N° de Prueba		1	2	3
1) Peso de Muestra Seca	(gr)	28569,0	28602,0	28561,0
2) Diámetro del Molde	(cm)	26,8	26,8	26,8
3) Altura del Molde	(cm)	27,9	27,9	27,9
4) Área de la Molde	(cm ²)	564,1	564,1	564,1
5) Volumen del Molde	(cm ³)	15738,5	15738,5	15738,5
6) Densidad Seca	(gr/cm ³)	1,82	1,82	1,81
7) Contenido de Humedad	(%)	0,0	0,0	0,0
8) Densidad de la muestra seca	(gr/cm ³)	1,82	1,82	1,81

Densidad seca promedio (gr/cm³)	1,816
---	--------------

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:

PCh

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

N° Informe Lab :

AP-071-18

N° de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-04 / M-1 / 2,00-5,60**

N° Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **17-may-18**

COMPACTADO				
N° de Prueba		1	2	3
1) Peso de Muestra Seca	(gr)	32337,0	32764,0	32763,0
2) Diámetro del Molde	(cm)	26,8	26,8	26,8
3) Altura del Molde	(cm)	27,9	27,9	27,9
4) Área de la Molde	(cm ²)	564,1	564,1	564,1
5) Volumen del Molde	(cm ³)	15738,5	15738,5	15738,5
6) Densidad Seca	(gr/cm ³)	2,05	2,08	2,08
7) Contenido de Humedad	(%)	0,0	0,0	0,0
8) Densidad de la muestra seca	(gr/cm ³)	2,05	2,08	2,08

Densidad seca promedio (gr/cm³)	2,073
---	--------------

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:

PCh

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

Fecha:

17-may-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-04 / M-1 / 2,00-5,60**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **06-jun-18**

Clasificación SUCS: GW

Estado : Remoldeado a Den.Seca=1,870g/cm3 y w%=4,0%

Etapa de consolidación	Inicial	Final	Velocidad (pulg/min)	0,01
Altura (cm)	31,00	30,42	Parámetro "B"	0,99
Diámetro (cm)	15,15	14,81	Presión de celda kPa	807
Humedad (%)	4,00	7,59	Contra presión kPa	207
Densidad seca (gr/cc)	1,865	1,989	Esf. Efect. Inicial kPa	600

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	ΔV (cm ³)	$\bar{\sigma}_3$ (cm ³)	$\bar{\sigma}_1$ (cm ³)	\bar{p} (cm ³)	\bar{q} (cm ³)	\bar{q} / \bar{p}	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$)
0,00	0,00	0,00	600,00	600,00	600,00	0,00	0,00	1,00
0,05	105,50	-2,12	600,00	705,50	652,75	52,75	0,08	1,18
0,10	174,71	-3,18	600,00	774,71	687,36	87,36	0,13	1,29
0,20	246,65	-6,89	600,00	846,65	723,32	123,32	0,17	1,41
0,35	324,68	-12,72	600,00	924,68	762,34	162,34	0,21	1,54
0,50	389,44	-18,02	600,00	989,44	794,72	194,72	0,25	1,65
0,75	489,16	-28,62	600,00	1 089,16	844,58	244,58	0,29	1,82
1,00	587,39	-37,63	600,00	1 187,39	893,69	293,69	0,33	1,98
1,25	681,06	-47,17	600,00	1 281,06	940,53	340,53	0,36	2,14
1,50	766,70	-55,65	600,00	1 366,70	983,35	383,35	0,39	2,28
1,75	860,61	-64,13	600,00	1 460,61	1 030,30	430,30	0,42	2,43
2,00	949,72	-71,55	600,00	1 549,72	1 074,86	474,86	0,44	2,58
2,50	1 113,20	-85,86	600,00	1 713,20	1 156,60	556,60	0,48	2,86
3,00	1 269,50	-98,05	600,00	1 869,50	1 234,75	634,75	0,51	3,12
3,50	1 413,02	-108,65	600,00	2 013,02	1 306,51	706,51	0,54	3,36
4,00	1 549,97	-118,19	600,00	2 149,97	1 374,98	774,98	0,56	3,58
4,50	1 674,86	-126,67	600,00	2 274,86	1 437,43	837,43	0,58	3,79
5,00	1 780,79	-132,50	600,00	2 380,79	1 490,39	890,39	0,60	3,97
6,00	1 954,32	-142,57	600,00	2 554,32	1 577,16	977,16	0,62	4,26
7,00	2 093,70	-147,87	600,00	2 693,70	1 646,85	1 046,85	0,64	4,49
8,00	2 176,21	-150,52	600,00	2 776,21	1 688,11	1 088,11	0,64	4,63
9,00	2 228,50	-151,05	600,00	2 828,50	1 714,25	1 114,25	0,65	4,71
10,00	2 247,67	-149,46	600,00	2 847,67	1 723,84	1 123,84	0,65	4,75
11,00	2 251,35	-148,40	600,00	2 851,35	1 725,68	1 125,68	0,65	4,75
12,00	2 255,72	-146,81	600,00	2 855,72	1 727,86	1 127,86	0,65	4,76
13,00	2 245,49	-145,75	600,00	2 845,49	1 722,74	1 122,74	0,65	4,74
14,00	2 238,35	-144,16	600,00	2 838,35	1 719,17	1 119,17	0,65	4,73

Nota:

Los datos de remoldeo han sido indicados por el cliente.

Ensayo realizado con material pasante 1".

Observaciones:

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

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Grado de compactación:

Bajo
 Ligero
 Medio
 Alto
 Elevado

Realizado por:

CGC

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

Fecha:

06-jun-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-04 / M-1 / 2,00-5,60**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Nº de Proyecto: **102345-01**

Fecha: **06-jun-18**

Clasificación SUCS: GW

Estado : Remoldeado a Den.Seca=1,870g/cm3 y w%=4,0%

Etapa de consolidación	Inicial	Final	Velocidad (pulg/min)	0,01
Altura (cm)	31,00	30,53	Parámetro "B"	0,99
Diámetro (cm)	15,15	15,01	Presión de celda kPa	507
Humedad (%)	4,00	8,78	Contra presión kPa	207
Densidad seca (gr/cc)	1,865	1,929	Esf. Efect. Inicial kPa	300

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	ΔV (cm ³)	σ_3 (cm ³)	σ_1 (cm ³)	\bar{p} (cm ³)	\bar{q} (cm ³)	\bar{q} / \bar{p}	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$)
0,00	0,00	0,00	300,00	300,00	300,00	0,00	0,00	1,00
0,05	66,91	-2,12	300,00	366,91	333,46	33,46	0,10	1,22
0,10	89,53	-3,71	300,00	389,53	344,77	44,77	0,13	1,30
0,20	118,12	-8,48	300,00	418,12	359,06	59,06	0,16	1,39
0,35	154,75	-14,84	300,00	454,75	377,38	77,38	0,21	1,52
0,50	187,33	-21,20	300,00	487,33	393,67	93,67	0,24	1,62
0,75	241,19	-31,80	300,00	541,19	420,59	120,59	0,29	1,80
1,00	287,67	-41,87	300,00	587,67	443,83	143,83	0,32	1,96
1,25	336,13	-50,88	300,00	636,13	468,07	168,07	0,36	2,12
1,50	382,15	-59,89	300,00	682,15	491,08	191,08	0,39	2,27
1,75	425,34	-68,37	300,00	725,34	512,67	212,67	0,41	2,42
2,00	467,62	-76,32	300,00	767,62	533,81	233,81	0,44	2,56
2,50	547,63	-90,10	300,00	847,63	573,81	273,81	0,48	2,83
3,00	624,46	-102,82	300,00	924,46	612,23	312,23	0,51	3,08
3,50	691,92	-112,89	300,00	991,92	645,96	345,96	0,54	3,31
4,00	753,26	-121,37	300,00	1 053,26	676,63	376,63	0,56	3,51
4,50	807,53	-129,32	300,00	1 107,53	703,76	403,76	0,57	3,69
5,00	853,69	-135,68	300,00	1 153,69	726,84	426,84	0,59	3,85
6,00	936,87	-145,22	300,00	1 236,87	768,43	468,43	0,61	4,12
7,00	986,98	-150,52	300,00	1 286,98	793,49	493,49	0,62	4,29
8,00	1 022,60	-153,70	300,00	1 322,60	811,30	511,30	0,63	4,41
9,00	1 051,18	-155,82	300,00	1 351,18	825,59	525,59	0,64	4,50
10,00	1 099,22	-156,35	300,00	1 399,22	849,61	549,61	0,65	4,66
11,00	1 075,75	-156,88	300,00	1 375,75	837,87	537,87	0,64	4,59
12,00	1 079,74	-156,88	300,00	1 379,74	839,87	539,87	0,64	4,60
13,00	1 089,79	-156,88	300,00	1 389,79	844,90	544,90	0,64	4,63
14,00	1 092,04	-156,88	300,00	1 392,04	846,02	546,02	0,65	4,64

Nota:

Los datos de remoldeo han sido indicados por el cliente.

Ensayo realizado con material pasante 1".

Observaciones:

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

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Grado de compactación:

Bajo
 Ligero
 Medio
 Alto
 Elevado

Realizado por:

CGC

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

Fecha:

06-jun-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-04 / M-1 / 2,00-5,60**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **06-jun-18**

Clasificación SUCS: GW

Estado : Remoldeado a Den.Seca=1,870g/cm3 y w%=4,0%

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	31,00	30,78
Diámetro (cm)	15,15	15,01
Humedad (%)	4,00	9,41
Densidad seca (gr/cc)	1,865	1,914

Velocidad (pulg/min)	0,01
Parámetro "B"	0,99
Presión de celda kPa	357
Contra presión kPa	207
Esf. Efect. Inicial kPa	150

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	ΔV (cm ³)	$\bar{\sigma}_3$ (cm ³)	$\bar{\sigma}_1$ (cm ³)	\bar{p} (cm ³)	\bar{q} (cm ³)	\bar{q} / \bar{p}	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$)
0,00	0,00	0,00	150,00	150,00	150,00	0,00	0,00	1,00
0,05	30,58	-2,12	150,00	180,58	165,29	15,29	0,09	1,20
0,10	41,33	-3,18	150,00	191,33	170,67	20,67	0,12	1,28
0,20	54,91	-8,48	150,00	204,91	177,45	27,45	0,15	1,37
0,35	73,38	-14,84	150,00	223,38	186,69	36,69	0,20	1,49
0,50	91,18	-21,20	150,00	241,18	195,59	45,59	0,23	1,61
0,75	114,88	-31,80	150,00	264,88	207,44	57,44	0,28	1,77
1,00	137,25	-42,40	150,00	287,25	218,62	68,62	0,31	1,91
1,25	161,60	-50,88	150,00	311,60	230,80	80,80	0,35	2,08
1,50	181,32	-59,89	150,00	331,32	240,66	90,66	0,38	2,21
1,75	201,35	-68,90	150,00	351,35	250,67	100,67	0,40	2,34
2,00	221,16	-76,32	150,00	371,16	260,58	110,58	0,42	2,47
2,50	255,08	-90,10	150,00	405,08	277,54	127,54	0,46	2,70
3,00	288,86	-103,35	150,00	438,86	294,43	144,43	0,49	2,93
3,50	319,04	-114,48	150,00	469,04	309,52	159,52	0,52	3,13
4,00	346,99	-124,55	150,00	496,99	323,50	173,50	0,54	3,31
4,50	361,19	-129,85	150,00	511,19	330,60	180,60	0,55	3,41
5,00	387,81	-140,45	150,00	537,81	343,91	193,91	0,56	3,59
6,00	423,23	-151,05	150,00	573,23	361,62	211,62	0,59	3,82
7,00	449,58	-159,00	150,00	599,58	374,79	224,79	0,60	4,00
8,00	474,72	-164,30	150,00	624,72	387,36	237,36	0,61	4,16
9,00	489,66	-166,95	150,00	639,66	394,83	244,83	0,62	4,26
10,00	504,66	-169,60	150,00	654,66	402,33	252,33	0,63	4,36
11,00	509,29	-171,19	150,00	659,29	404,65	254,65	0,63	4,40
12,00	515,22	-171,19	150,00	665,22	407,61	257,61	0,63	4,43
13,00	521,38	-171,19	150,00	671,38	410,69	260,69	0,63	4,48
14,00	521,27	-171,72	150,00	671,27	410,64	260,64	0,63	4,48

Nota:

Los datos de remoldeo han sido indicados por el cliente.

Ensayo realizado con material pasante 1".

Observaciones:

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

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Grado de compactación:

Bajo
 Ligero
 Medio
 Alto
 Elevado

Realizado por:

CGC

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

Fecha:

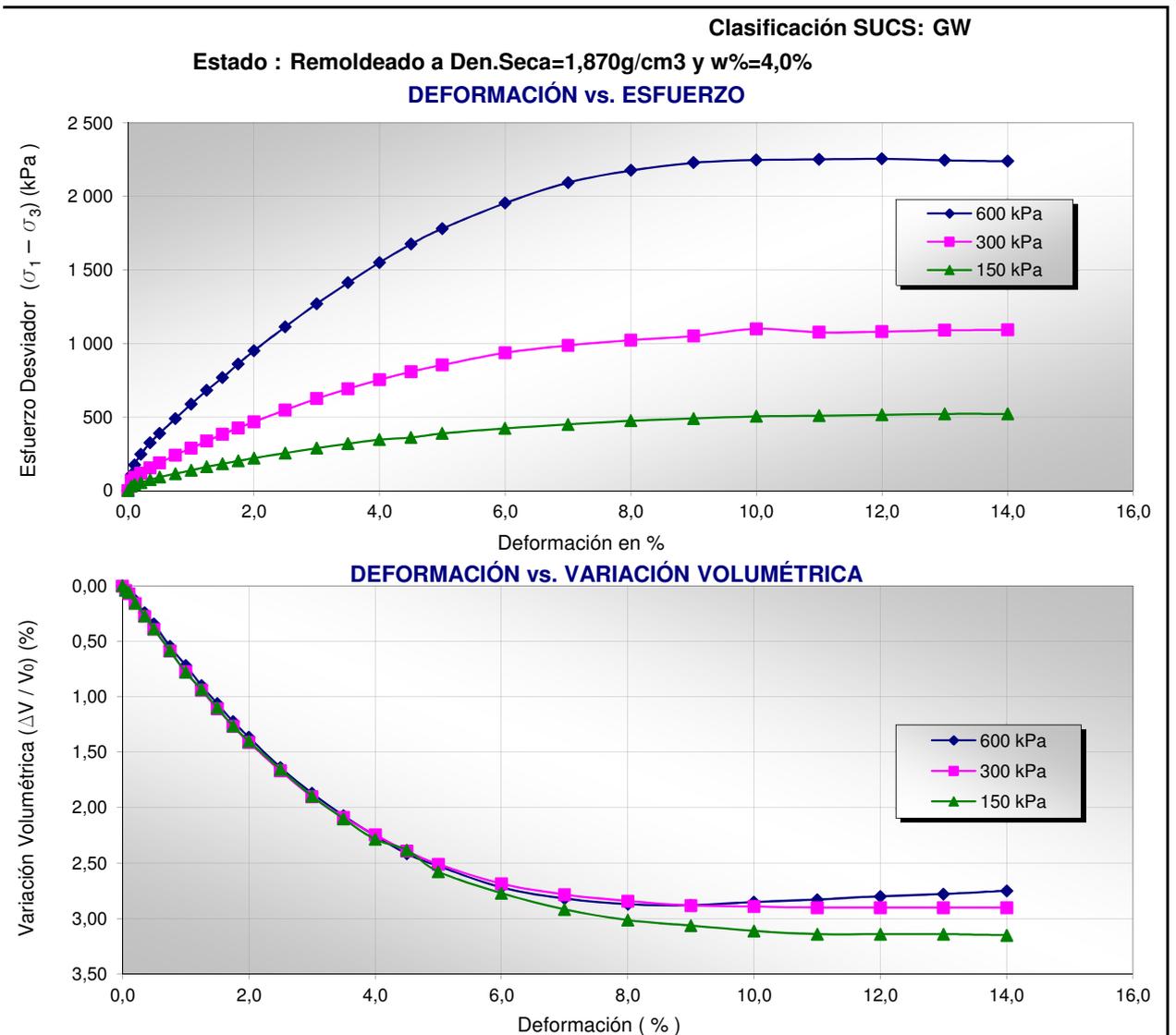
06-jun-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-04 / M-1 / 2,00-5,60**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **06-jun-18**



Nota:

Los datos de remoldeo han sido indicados por el cliente.

Ensayo realizado con material pasante 1".

Observaciones:

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

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Grado de compactación:

Bajo

Ligero

Medio

Alto

Elevado

Realizado por:

CGC

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

Fecha:

06-jun-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-04 / M-1 / 2,00-5,60**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

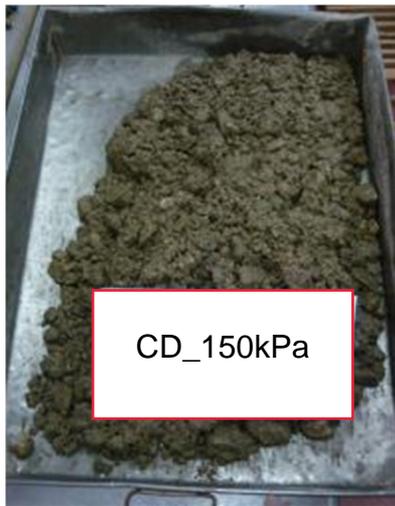
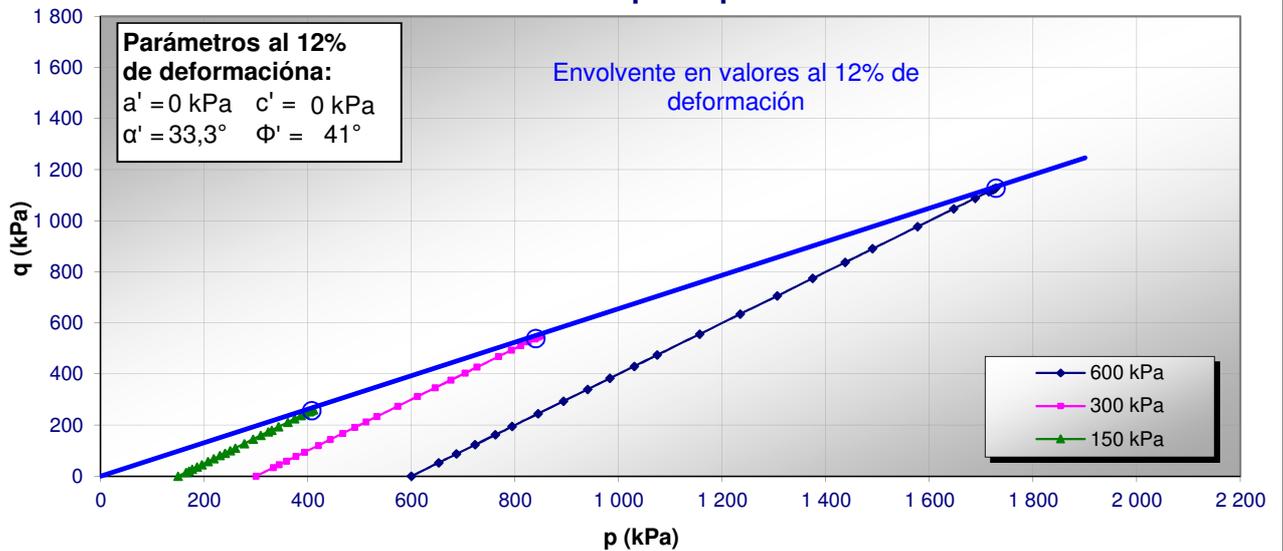
Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **06-jun-18**

Clasificación SUCS: GW

Estado : Remoldeado a Den.Seca=1,870g/cm3 y w%=4,0%

p vs. q



Nota:

Los datos de remoldeo han sido indicados por el cliente.

Ensayo realizado con material pasante 1".

Observaciones:

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

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Grado de compactación:

Bajo

Ligero

Medio

Alto

Elevado

Realizado por:

CGC

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

Fecha:

06-jun-18

N° de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-05 / Cono de Arena N°4 / 1,80**N° Informe Lab : **AP-071-18**Descripción / Zona: **Main Dam**Fecha: **21-may-18**

N° de Prueba	1	2	3
(1) Peso Recip + Suelo Húmedo (g)	1669,1	1852,7	
(2) Peso Recip + Suelo Seco (g)	1647,8	1827,8	
(3) Peso Recipiente (g)	357,1	340,7	
(4) Peso del Agua (1) - (2)	21,3	24,9	
(5) Peso Suelo Seco (2) - (3)	1290,7	1487,1	
(6) Humedad (4/5)*100 %	1,7	1,7	
Humedad Promedio (%)	1,7		

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:

IO

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

N° Informe Lab :

AP-071-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-05 / M-1 / 0,00-5,50**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **24-abr-18**

Partículas >3" (%) : ---

Grava (%) : 53,1

Arena (%) : 42,7

Limos y Arcillas (%) : 4,2

D10 : 0,22

D30: 1,17

D60: 10,17

Cu: 46,81

Cc: 0,62

Límites de Atterberg:

LL (%) : NP

LP (%) : NP

IP (%) : NP

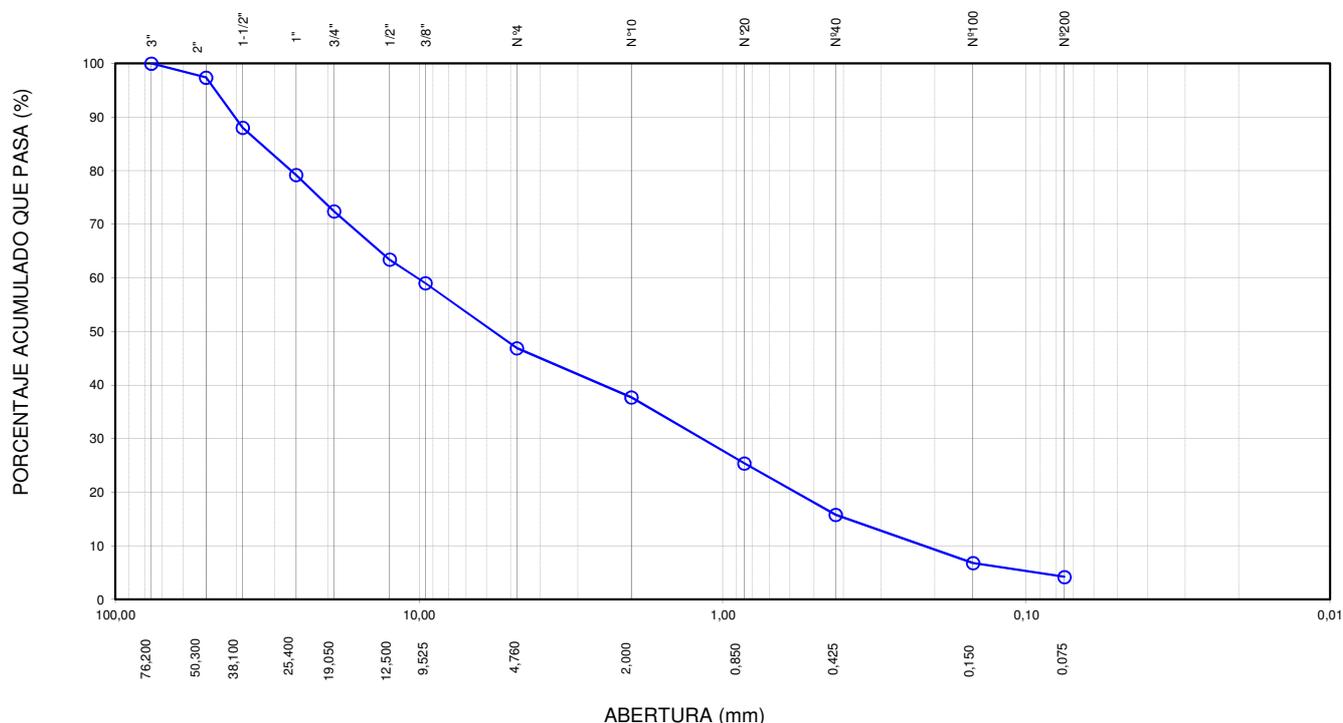
Humedad (%) : 1,3

Clasificación SUCS : GP

Grava pobremente gradada con arena

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,300	97,4
1 1/2"	38,100	88,0
1"	25,400	79,2
3/4"	19,050	72,4
1/2"	12,500	63,4
3/8"	9,525	59,0
Nº4	4,760	46,9
Nº10	2,000	37,7
Nº20	0,850	25,4
Nº40	0,425	15,8
Nº100	0,150	6,8
Nº200	0,075	4,2

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:
JSG

Nº Informe Lab :
AP-071-18

N° de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-06 / Cono de Arena N°5 / 1,80**

N° Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **21-may-18**

N° de Prueba	1	2	3
(1) Peso Recip + Suelo Húmedo (g)	1859,4	1989,0	
(2) Peso Recip + Suelo Seco (g)	1836,6	1962,9	
(3) Peso Recipiente (g)	289,1	291,9	
(4) Peso del Agua (1) - (2)	22,8	26,1	
(5) Peso Suelo Seco (2) - (3)	1547,5	1671,0	
(6) Humedad (4/5)*100 %	1,5	1,6	
Humedad Promedio (%)	1,5		

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:
IO

Ingresado por:
HEV

Revisado por:
JSG

N° Informe Lab :
AP-071-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-06 / M-1 / 4,50-6,50**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **24-abr-18**

Partículas >3" (%) : ---

Grava (%) : 60,3

Arena (%) : 37,1

Limos y Arcillas (%) : 2,6

D10 : 0,55

D30: 2,68

D60: 13,49

Cu: 24,33

Cc: 0,96

Límites de Atterberg:

LL (%) : NP

LP (%) : NP

IP (%) : NP

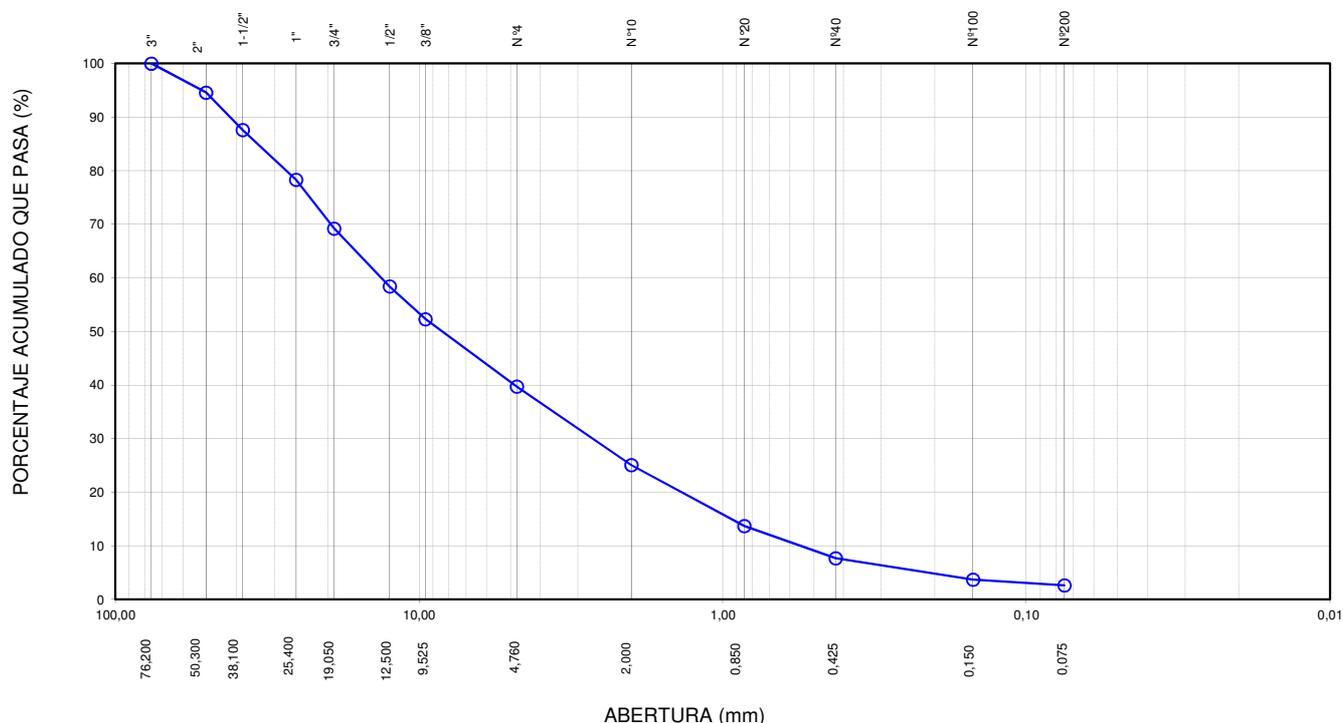
Humedad (%) : 1,7

Clasificación SUCS : GP

Grava pobremente gradada con arena

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,300	94,6
1 1/2"	38,100	87,6
1"	25,400	78,3
3/4"	19,050	69,2
1/2"	12,500	58,4
3/8"	9,525	52,3
Nº4	4,760	39,7
Nº10	2,000	25,1
Nº20	0,850	13,7
Nº40	0,425	7,7
Nº100	0,150	3,7
Nº200	0,075	2,6

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:
JSG

Nº Informe Lab :
AP-071-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-06 / M-1 / 4,50-6,50**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **24-abr-18**

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA Nº 4					
% Retenido en la Malla Nº 4	P ₁	60,3			
Nº de Prueba		1	2		
1) Peso de grava en agua S.S.S. en aire (gr)		1519,6	1620,0		
2) Peso de grava en agua S.S.S. en agua (gr)		943,1	1003,1		
3) Peso de grava seca (gr)		1511,7	1602,5	Promedio	
4) Gravedad Específica de Sólidos Aparente	(3) / [(3)-(2)] G _{s1}	2,66	2,67	2,67	
5) Gravedad Específica de Sólidos Seca	(3) / [(1)-(2)]	2,62	2,60	2,61	
6) Gravedad Específica de Sólidos S.S.S.	(1) / [(1)-(2)]	2,64	2,63	2,63	
7) Absorción (%)	[(1)-(3)] / (3) * 100	0,52	1,09	0,81	

MATERIAL PASA LA MALLA Nº 4			
% Pasa la Malla Nº 4	P ₂	39,7	
1) Nº de Fiola		1	2
2) Peso de Fiola (gr)		188,1	161,6
3) Peso de Muestra Seca (gr)		100,0	100,0
4) Peso de Muestra Seca + Fiola (gr)		288,1	261,6
5) Peso de Muestra Seca + Fiola + Agua (gr)		749,7	723,5
6) Peso de Fiola + Peso de agua		686,4	660,2
7) Gravedad Específica de Sólidos	(3)/[(3)+(6)-(5)] G _{s2}	2,72	2,72
8) Temperatura (°C)		20	20
9) Corrección por Temperatura (K)		1,0000	1,0000
10) Gravedad Específica de Sólidos Corregido	(7)*(9) G _{s2} (20°C)	2,72	

$$G_{s_{prom}} = \frac{1}{\frac{P_1}{100 \times G_{s_1}} + \frac{P_2}{100 \times G_{s_2} (20^\circ C)}}$$

G _{s_{prom}} =	2,69
---------------------------------	------

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

El G_{s_{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:

DCF

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

Nº Informe Lab :

AP-071-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-06 / M-1 / 4,50-6,50**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **07-jun-18**

Estado de la muestra: Remoldeado a Den.Seca=2,159g/cm³ y w%=1,7 (*) El promedio corresponde a 10 lecturas

Clasificación SUCS: **GP**

pero solo se reportan 4 de éstas.

Datos del Ensayo

Diámetro (cm)	30,30	Densidad inicial seca(gr/cm ³)	2,16	Densidad final seca(gr/cm ³)	2,28
Altura (cm)	32,04	Humedad Inicial (%)	1,7	Humedad final (%)	12,3
Gravedad de Sólidos	2,69	Saturación inicial (%)	18,5	Saturación final (%)	99

Medición del Coeficiente de Permeabilidad

Carga

Gradiente hidráulico promedio				Carga				
0,144				--				
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)
35,2	30,6	4,6	64,53	385,0	5,97	5,8E-02	19,0	5,9E-02
35,2	30,6	4,6	103,42	619,0	5,99	5,8E-02	19,0	5,9E-02
35,2	30,6	4,6	67,58	409,0	6,05	5,8E-02	19,0	6,0E-02
35,2	30,6	4,6	67,81	418,0	6,16	6,0E-02	19,0	6,1E-02

Promedio (cm/s) : 6,1E-02 (*)

Medición del Coeficiente de Permeabilidad

Carga

Gradiente hidráulico promedio				Carga				
0,257				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)
38,5	30,7	7,8	63,85	340,0	5,32	2,9E-02	19,0	2,9E-02
38,5	30,7	7,8	62,93	334,0	5,31	2,9E-02	19,0	2,9E-02
38,5	30,7	7,8	61,88	329,0	5,32	2,9E-02	19,0	2,9E-02
38,5	30,7	7,8	64,18	341,0	5,31	2,9E-02	19,0	2,9E-02

Promedio (cm/s) : 2,9E-02 (*)

Notas:

Ensayo de carga constante.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Los datos de remoldeo fue coordinado con el cliente.

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 / AR

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

Nº Informe Lab :

AP-071-18

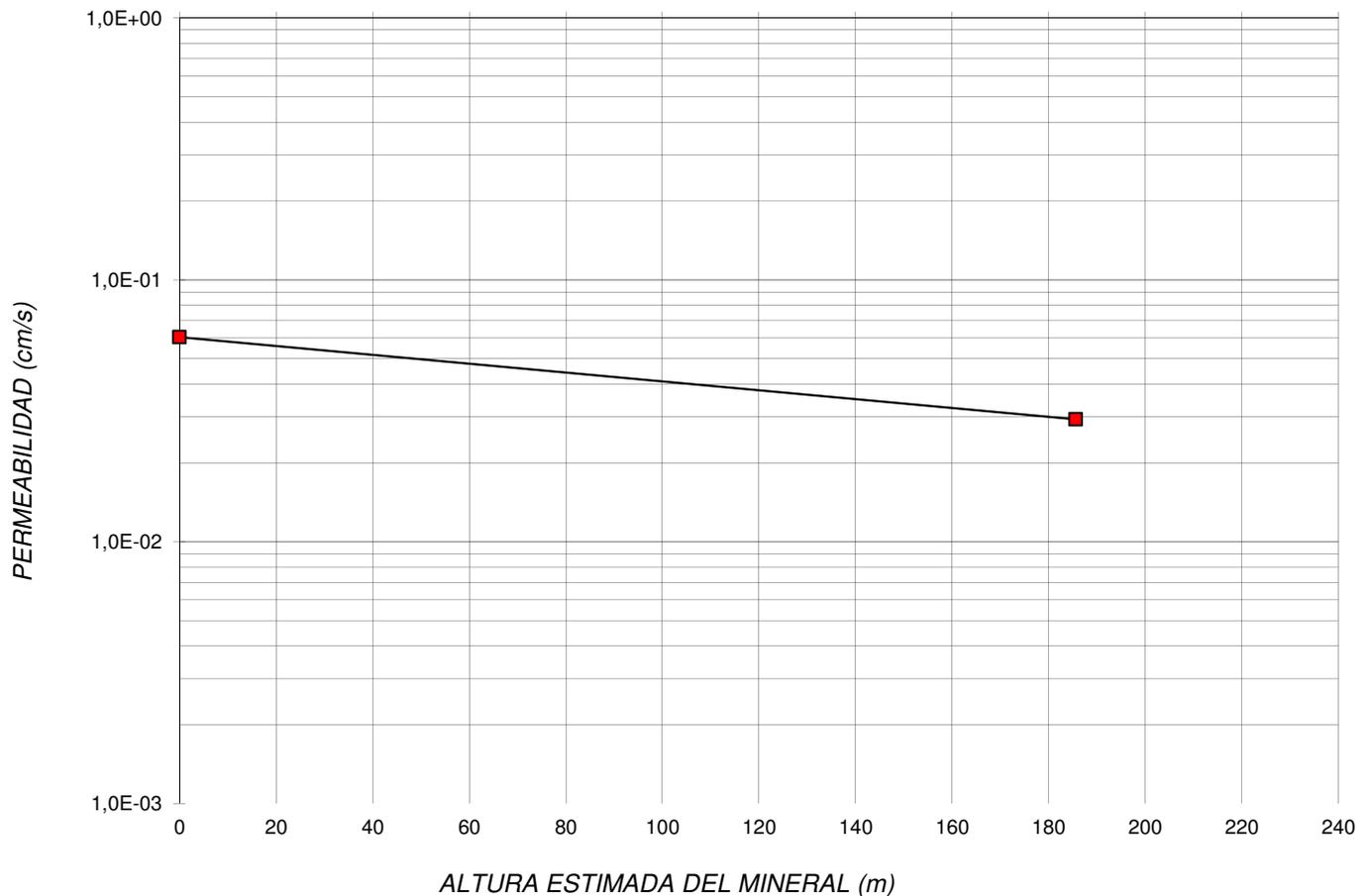
Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-06 / M-1 / 4,50-6,50**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **07-jun-18**

Nº ENSAYO	CONTENIDO DE AGUA %	DENSIDAD SECA (g/cm ³)	ALTURA ESTIMADA DEL MINERAL (m)	ESFUERZO NORMAL (kPa)	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (cm/s)
Inicial	1,7	-	-	-	-
1		2,16	0	0,0	6,1E-02
2		2,28	186	4000,0	2,9E-02
3					
Final	12,3	2,28			



NOTAS: Uso permeámetro de 12" de pared rígida.
 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 / AR

Ingresado por:
HEV

Revisado por:
JSG

Nº Informe Lab :
AP-071-18

N° de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-06 / M-1 / 4,50-6,50**

N° Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **17-may-18**

SUELTO				
N° de Prueba		1	2	3
1) Peso de Muestra Seca	(gr)	27213,0	27363,0	27250,0
2) Diámetro del Molde	(cm)	26,8	26,8	26,8
3) Altura del Molde	(cm)	27,9	27,9	27,9
4) Área de la Molde	(cm ²)	564,1	564,1	564,1
5) Volumen del Molde	(cm ³)	15738,5	15738,5	15738,5
6) Densidad Seca	(gr/cm ³)	1,73	1,74	1,73
7) Contenido de Humedad	(%)	0,0	0,0	0,0
8) Densidad de la muestra seca	(gr/cm ³)	1,73	1,74	1,73

Densidad seca promedio (gr/cm³)	1,733
---	--------------

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:

PCh

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

N° Informe Lab :

AP-071-18

N° de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-06 / M-1 / 4,50-6,50**N° Informe Lab : **AP-071-18**Descripción / Zona: **Main Dam**Fecha: **17-may-18****COMPACTADO**

N° de Prueba		1	2	3
1) Peso de Muestra Seca	(gr)	29441,0	29539,0	29485,0
2) Diámetro del Molde	(cm)	26,8	26,8	26,8
3) Altura del Molde	(cm)	27,9	27,9	27,9
4) Área de la Molde	(cm ²)	564,1	564,1	564,1
5) Volumen del Molde	(cm ³)	15738,5	15738,5	15738,5
6) Densidad Seca	(gr/cm ³)	1,87	1,88	1,87
7) Contenido de Humedad	(%)	0,0	0,0	0,0
8) Densidad de la muestra seca	(gr/cm ³)	1,87	1,88	1,87

Densidad seca promedio (gr/cm³)	1,874
---	--------------

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:

PCh

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

Fecha:

17-may-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-06 / M-1 / 4,50-6,50**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **06-jun-18**

Clasificación SUCS: GP

Estado : Remoldeado a Den.Seca=2,159g/cm3 y w%=4,7%

Etapa de consolidación	Inicial	Final	Velocidad (pulg/min)	
Altura (cm)	31,00	30,90	0,01	
Diámetro (cm)	15,15	15,02	Parámetro "B"	0,97
Humedad (%)	4,70	8,83	Presión de celda	kPa 807
Densidad seca (gr/cc)	2,159	2,202	Contra presión	kPa 207
			Esf. Efect. Inicial	kPa 600

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	ΔV (cm ³)	σ_3 (cm ³)	σ_1 (cm ³)	\bar{p} (cm ³)	\bar{q} (cm ³)	\bar{q} / \bar{p}	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$)
0,00	0,00	0,00	600,00	600,00	600,00	0,00	0,00	1,00
0,05	157,63	-1,59	600,00	757,63	678,82	78,82	0,12	1,26
0,10	266,63	-3,18	600,00	866,63	733,32	133,32	0,18	1,44
0,20	469,88	-6,36	600,00	1 069,88	834,94	234,94	0,28	1,78
0,35	746,76	-11,13	600,00	1 346,76	973,38	373,38	0,38	2,24
0,50	986,19	-15,37	600,00	1 586,19	1 093,09	493,09	0,45	2,64
0,75	1 322,38	-22,26	600,00	1 922,38	1 261,19	661,19	0,52	3,20
1,00	1 589,49	-27,03	600,00	2 189,49	1 394,75	794,75	0,57	3,65
1,25	1 792,69	-31,27	600,00	2 392,69	1 496,34	896,34	0,60	3,99
1,50	1 950,40	-33,92	600,00	2 550,40	1 575,20	975,20	0,62	4,25
1,75	2 080,53	-36,04	600,00	2 680,53	1 640,26	1 040,26	0,63	4,47
2,00	2 181,22	-37,10	600,00	2 781,22	1 690,61	1 090,61	0,65	4,64
2,50	2 333,83	-38,16	600,00	2 933,83	1 766,92	1 166,92	0,66	4,89
3,00	2 421,97	-38,16	600,00	3 021,97	1 810,98	1 210,98	0,67	5,04
3,50	2 474,43	-36,57	600,00	3 074,43	1 837,21	1 237,21	0,67	5,12
4,00	2 499,87	-34,45	600,00	3 099,87	1 849,93	1 249,93	0,68	5,17
4,50	2 509,95	-31,80	600,00	3 109,95	1 854,98	1 254,98	0,68	5,18
5,00	2 510,57	-29,15	600,00	3 110,57	1 855,29	1 255,29	0,68	5,18
6,00	2 486,06	-23,32	600,00	3 086,06	1 843,03	1 243,03	0,67	5,14
7,00	2 464,19	-15,37	600,00	3 064,19	1 832,10	1 232,10	0,67	5,11
8,00	2 423,91	-11,13	600,00	3 023,91	1 811,95	1 211,95	0,67	5,04
9,00	2 392,94	-7,42	600,00	2 992,94	1 796,47	1 196,47	0,67	4,99
10,00	2 363,98	-3,18	600,00	2 963,98	1 781,99	1 181,99	0,66	4,94
11,00	2 336,51	0,00	600,00	2 936,51	1 768,26	1 168,26	0,66	4,89
12,00	2 317,05	2,12	600,00	2 917,05	1 758,52	1 158,52	0,66	4,86
13,00	2 297,89	3,71	600,00	2 897,89	1 748,95	1 148,95	0,66	4,83
14,00	2 271,44	5,30	600,00	2 871,44	1 735,72	1 135,72	0,65	4,79

Nota:

Los datos de remoldeo han sido indicados por el cliente.

Ensayo realizado con material pasante 1".

Observaciones:

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

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Grado de compactación:

Bajo
 Ligero
 Medio
 Alto
 Elevado

Realizado por:

CGC

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

Fecha:

06-jun-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-06 / M-1 / 4,50-6,50**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **06-jun-18**

Clasificación SUCS: GP

Estado : Remoldeado a Den.Seca=2,159g/cm3 y w%=4,7%

Etapa de consolidación	Inicial	Final	Velocidad (pulg/min)	
Altura (cm)	31,00	30,93	0,01	
Diámetro (cm)	15,15	15,06	Parámetro "B"	0,98
Humedad (%)	4,70	9,94	Presión de celda kPa	507
Densidad seca (gr/cc)	2,159	2,189	Contra presión kPa	207
			Esf. Efect. Inicial kPa	300

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	ΔV (cm ³)	$\bar{\sigma}_3$ (cm ³)	$\bar{\sigma}_1$ (cm ³)	\bar{p} (cm ³)	\bar{q} (cm ³)	\bar{q} / \bar{p}	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$)
0,00	0,00	0,00	300,00	300,00	300,00	0,00	0,00	1,00
0,05	129,29	-1,06	300,00	429,29	364,64	64,64	0,18	1,43
0,10	214,17	-2,12	300,00	514,17	407,08	107,08	0,26	1,71
0,20	388,01	-5,30	300,00	688,01	494,01	194,01	0,39	2,29
0,35	613,25	-8,48	300,00	913,25	606,62	306,62	0,51	3,04
0,50	793,85	-10,60	300,00	1 093,85	696,93	396,93	0,57	3,65
0,75	1 019,60	-11,66	300,00	1 319,60	809,80	509,80	0,63	4,40
1,00	1 167,01	-10,60	300,00	1 467,01	883,50	583,50	0,66	4,89
1,25	1 276,33	-8,48	300,00	1 576,33	938,17	638,17	0,68	5,25
1,50	1 354,41	-5,30	300,00	1 654,41	977,21	677,21	0,69	5,51
1,75	1 407,66	-1,06	300,00	1 707,66	1 003,83	703,83	0,70	5,69
2,00	1 445,12	3,18	300,00	1 745,12	1 022,56	722,56	0,71	5,82
2,50	1 485,65	13,25	300,00	1 785,65	1 042,83	742,83	0,71	5,95
3,00	1 495,10	23,32	300,00	1 795,10	1 047,55	747,55	0,71	5,98
3,50	1 485,89	32,86	300,00	1 785,89	1 042,94	742,94	0,71	5,95
4,00	1 470,07	42,40	300,00	1 770,07	1 035,04	735,04	0,71	5,90
4,50	1 442,23	52,47	300,00	1 742,23	1 021,12	721,12	0,71	5,81
5,00	1 420,76	58,83	300,00	1 720,76	1 010,38	710,38	0,70	5,74
6,00	1 365,69	72,61	300,00	1 665,69	982,84	682,84	0,69	5,55
7,00	1 331,38	83,21	300,00	1 631,38	965,69	665,69	0,69	5,44
8,00	1 293,42	91,16	300,00	1 593,42	946,71	646,71	0,68	5,31
9,00	1 259,41	98,58	300,00	1 559,41	929,70	629,70	0,68	5,20
10,00	1 231,49	104,41	300,00	1 531,49	915,74	615,74	0,67	5,10
11,00	1 209,57	108,65	300,00	1 509,57	904,79	604,79	0,67	5,03
12,00	1 190,78	111,30	300,00	1 490,78	895,39	595,39	0,66	4,97
13,00	1 174,35	115,01	300,00	1 474,35	887,17	587,17	0,66	4,91
14,00	1 161,32	117,66	300,00	1 461,32	880,66	580,66	0,66	4,87

Nota:

Los datos de remoldeo han sido indicados por el cliente.

Ensayo realizado con material pasante 1".

Observaciones:

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

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Grado de compactación:

Bajo
 Ligero
 Medio
 Alto
 Elevado

Realizado por:

CGC

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

Fecha:

06-jun-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-06 / M-1 / 4,50-6,50**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **06-jun-18**

Clasificación SUCS: GP

Estado : Remoldeado a Den.Seca=2,159g/cm3 y w%=4,7%

Etapa de consolidación	Inicial	Final	Velocidad (pulg/min)	0,01
Altura (cm)	31,00	30,94	Parámetro "B"	0,98
Diámetro (cm)	15,15	15,06	Presión de celda kPa	357
Humedad (%)	4,70	12,52	Contra presión kPa	207
Densidad seca (gr/cc)	2,159	2,188	Esf. Efect. Inicial kPa	150

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	ΔV (cm ³)	σ_3 (cm ³)	σ_1 (cm ³)	\bar{p} (cm ³)	\bar{q} (cm ³)	\bar{q} / \bar{p}	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$)
0,00	0,00	0,00	150,00	150,00	150,00	0,00	0,00	1,00
0,05	74,44	-1,59	150,00	224,44	187,22	37,22	0,20	1,50
0,10	139,98	-3,18	150,00	289,98	219,99	69,99	0,32	1,93
0,20	256,52	-5,30	150,00	406,52	278,26	128,26	0,46	2,71
0,35	408,28	-7,42	150,00	558,28	354,14	204,14	0,58	3,72
0,50	519,07	-6,89	150,00	669,07	409,53	259,53	0,63	4,46
0,75	655,31	-3,71	150,00	805,31	477,65	327,65	0,69	5,37
1,00	739,73	1,06	150,00	889,73	519,86	369,86	0,71	5,93
1,25	797,89	7,95	150,00	947,89	548,94	398,94	0,73	6,32
1,50	837,58	15,37	150,00	987,58	568,79	418,79	0,74	6,58
1,75	851,86	22,26	150,00	1 001,86	575,93	425,93	0,74	6,68
2,00	860,10	29,68	150,00	1 010,10	580,05	430,05	0,74	6,73
2,50	856,85	43,99	150,00	1 006,85	578,42	428,42	0,74	6,71
3,00	837,67	56,71	150,00	987,67	568,84	418,84	0,74	6,58
3,50	824,56	68,37	150,00	974,56	562,28	412,28	0,73	6,50
4,00	782,14	80,56	150,00	932,14	541,07	391,07	0,72	6,21
4,50	762,61	89,57	150,00	912,61	531,31	381,31	0,72	6,08
5,00	746,05	96,99	150,00	896,05	523,03	373,03	0,71	5,97
6,00	713,13	108,65	150,00	863,13	506,56	356,56	0,70	5,75
7,00	699,47	118,19	150,00	849,47	499,74	349,74	0,70	5,66
8,00	684,80	126,67	150,00	834,80	492,40	342,40	0,70	5,57
9,00	688,32	133,03	150,00	838,32	494,16	344,16	0,70	5,59
10,00	656,74	139,39	150,00	806,74	478,37	328,37	0,69	5,38
11,00	640,85	144,69	150,00	790,85	470,43	320,43	0,68	5,27
12,00	629,01	147,87	150,00	779,01	464,50	314,50	0,68	5,19
13,00	612,59	150,52	150,00	762,59	456,29	306,29	0,67	5,08
14,00	606,61	153,17	150,00	756,61	453,30	303,30	0,67	5,04

Nota:

Los datos de remoldeo han sido indicados por el cliente.

Ensayo realizado con material pasante 1".

Observaciones:

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

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Grado de compactación:

Bajo
 Ligero
 Medio
 Alto
 Elevado

Realizado por:

CGC

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

Fecha:

06-jun-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-06 / M-1 / 4,50-6,50**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

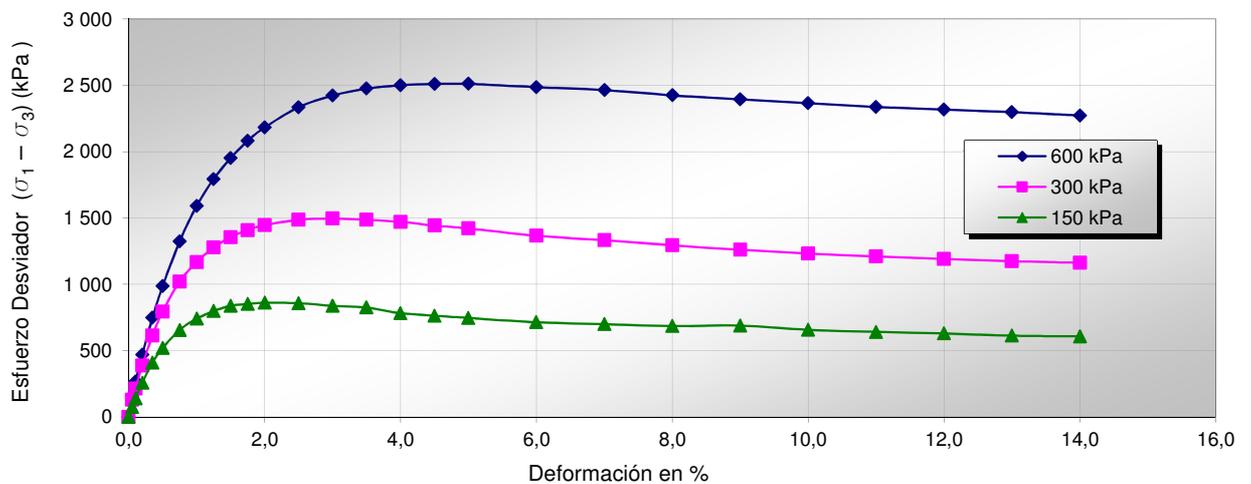
Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **06-jun-18**

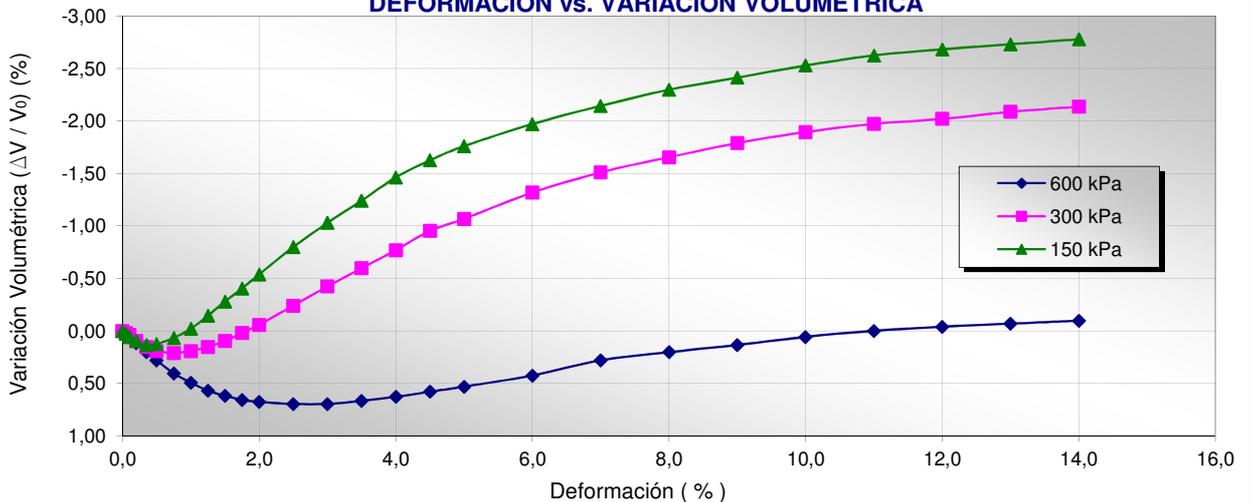
Clasificación SUCS: GP

Estado : Remoldeado a Den.Seca=2,159g/cm3 y w%=4,7%

DEFORMACIÓN vs. ESFUERZO



DEFORMACIÓN vs. VARIACIÓN VOLUMÉTRICA



Nota:

Los datos de remoldeo han sido indicados por el cliente.

Ensayo realizado con material pasante 1".

Observaciones:

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

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Grado de compactación:

Bajo

Ligero

Medio

Alto

Elevado

Realizado por:

CGC

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

Fecha:

06-jun-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-06 / M-1 / 4,50-6,50**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

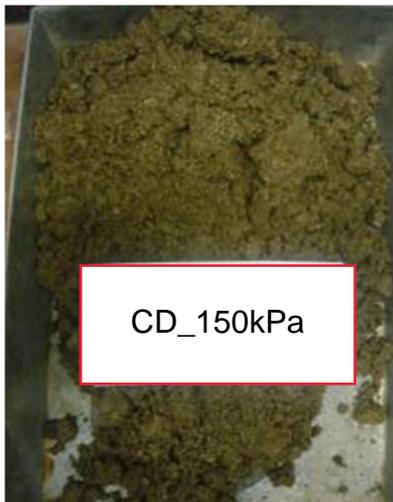
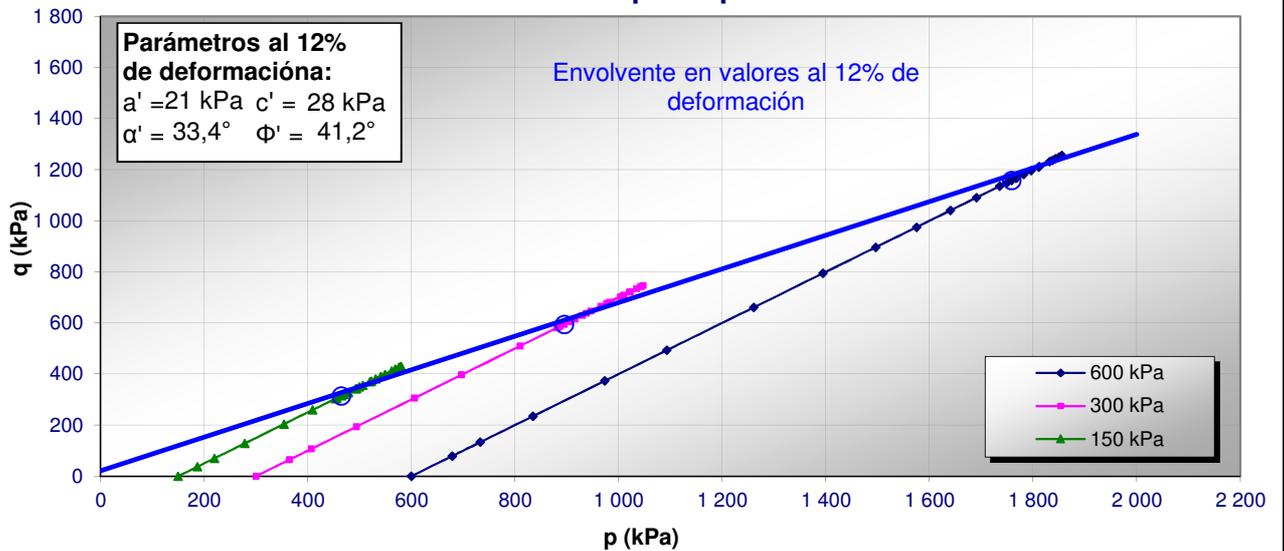
Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **06-jun-18**

Clasificación SUCS: GP

Estado : Remoldeado a Den.Seca=2,159g/cm3 y w%=4,7%

p vs. q



Nota:

Los datos de remoldeo han sido indicados por el cliente.

Ensayo realizado con material pasante 1".

Observaciones:

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

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Grado de compactación:

Bajo

Ligero

Medio

Alto

Elevado

Realizado por:

CGC

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

Fecha:

06-jun-18

N° de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-06 / Reemplazo de Agua N°2 / 1,80**N° Informe Lab : **AP-071-18**Descripción / Zona: **Main Dam**Fecha: **21-may-18**

N° de Prueba	1	2	3
(1) Peso Recip + Suelo Húmedo (g)	1885,8	2105,1	
(2) Peso Recip + Suelo Seco (g)	1855,8	2070,9	
(3) Peso Recipiente (g)	116,7	109,8	
(4) Peso del Agua (1) - (2)	30,0	34,2	
(5) Peso Suelo Seco (2) - (3)	1739,1	1961,1	
(6) Humedad (4/5)*100 %	1,7	1,7	
Humedad Promedio (%)	1,7		

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:

IO

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

N° Informe Lab :

AP-071-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-16 / M-1 / 3,80-7,60**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **24-abr-18**

Partículas >3" (%) : ---

Grava (%) : 54,6

Arena (%) : 42,3

Limos y Arcillas (%) : 3,1

D10 : 0,30

D30: 1,48

D60: 10,97

Cu: 36,70

Cc: 0,67

Límites de Atterberg:

LL (%) : NP

LP (%) : NP

IP (%) : NP

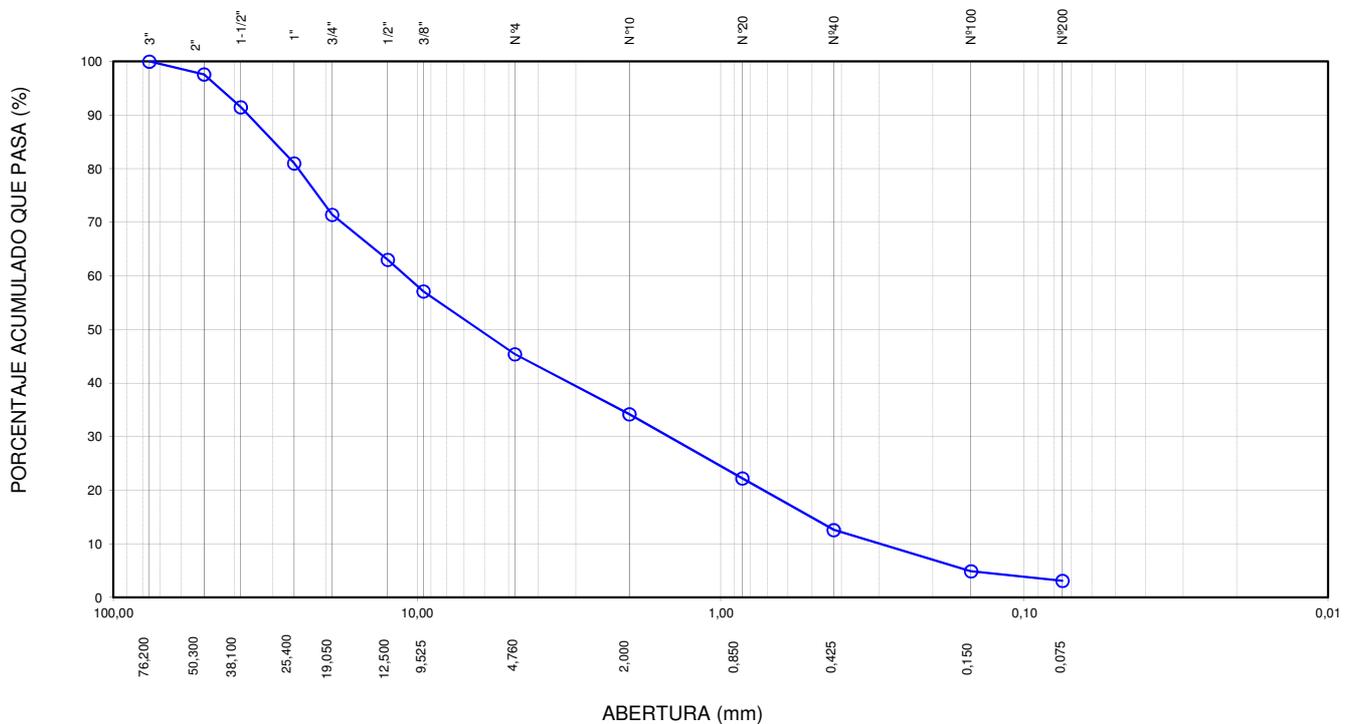
Humedad (%) : 2,0

Clasificación SUCS : GP

Grava pobremente gradada con arena

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,300	97,6
1 1/2"	38,100	91,5
1"	25,400	81,0
3/4"	19,050	71,4
1/2"	12,500	63,0
3/8"	9,525	57,1
Nº4	4,760	45,4
Nº10	2,000	34,2
Nº20	0,850	22,2
Nº40	0,425	12,6
Nº100	0,150	4,9
Nº200	0,075	3,1

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:

JSG

Nº Informe Lab :

AP-071-18

N° de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-17 / Cono de Arena N°11 / 1,80**N° Informe Lab : **AP-071-18**Descripción / Zona: **Main Dam**Fecha: **21-may-18**

N° de Prueba	1	2	3
(1) Peso Recip + Suelo Húmedo (g)	1862,0	1747,2	
(2) Peso Recip + Suelo Seco (g)	1842,5	1729,6	
(3) Peso Recipiente (g)	359,2	342,3	
(4) Peso del Agua (1) - (2)	19,5	17,6	
(5) Peso Suelo Seco (2) - (3)	1483,3	1387,3	
(6) Humedad (4/5)*100 %	1,3	1,3	
Humedad Promedio (%)	1,3		

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:

IO

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

N° Informe Lab :

AP-071-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-17 / M-1 / 4,10-7,30**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **24-abr-18**

Partículas >3" (%) : ---

Grava (%) : 54,3

Arena (%) : 38,7

Limos y Arcillas (%) : 7,0

D10 : 0,13

D30: 1,13

D60: 9,06

Cu: 67,98

Cc: 1,06

Límites de Atterberg:

LL (%) : NP

LP (%) : NP

IP (%) : NP

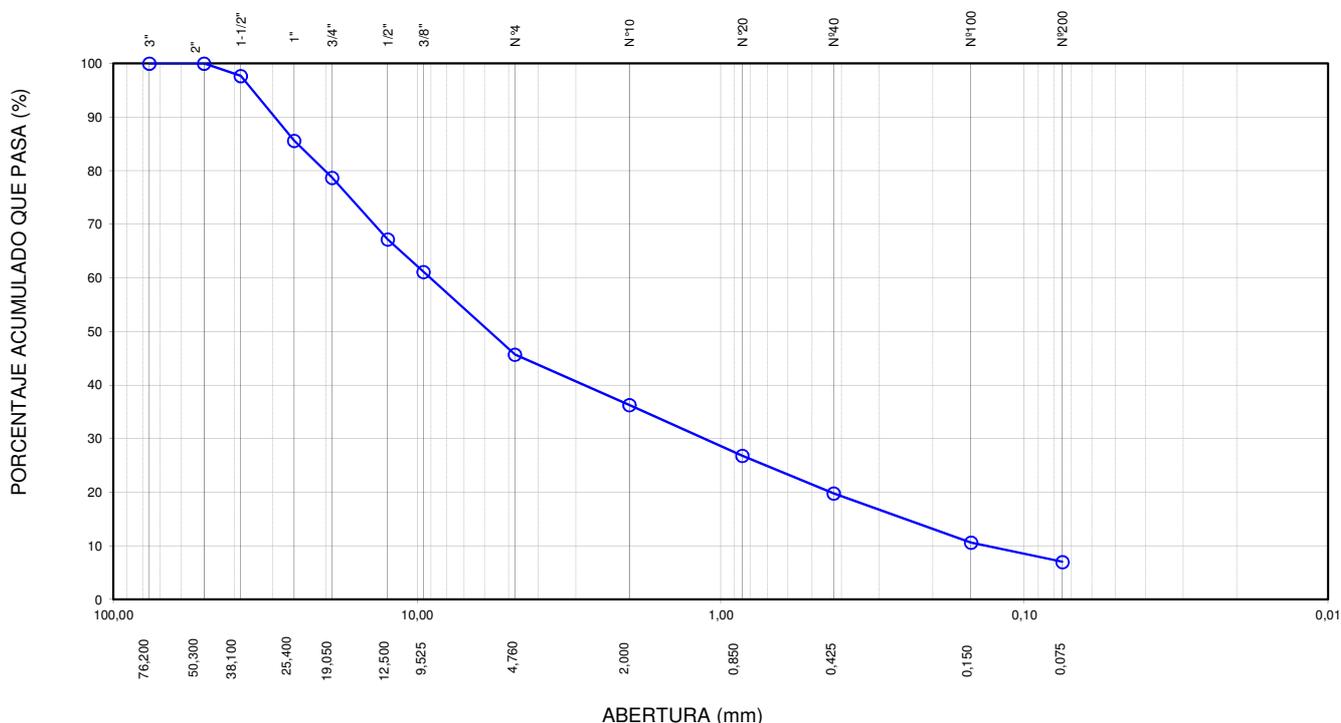
Humedad (%) : 2,5

Clasificación SUCS : **GW-GM**

Grava bien gradada con limo y arena

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,300	100,0
1 1/2"	38,100	97,7
1"	25,400	85,6
3/4"	19,050	78,7
1/2"	12,500	67,2
3/8"	9,525	61,1
Nº4	4,760	45,7
Nº10	2,000	36,3
Nº20	0,850	26,8
Nº40	0,425	19,8
Nº100	0,150	10,6
Nº200	0,075	7,0

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:
JSG

Nº Informe Lab :
AP-071-18

Nº de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-17 / M-1 / 4,10-7,30**

Nº Informe Lab : **AP-071-18**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **21-may-18**

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA Nº 4					
% Retenido en la Malla Nº 4	P ₁	54,3			
Nº de Prueba		1	2		
1) Peso de grava en agua S.S.S. en aire (gr)		1422,1	1158,2		
2) Peso de grava en agua S.S.S. en agua (gr)		891,2	729,2		
3) Peso de grava seca (gr)		1414,9	1154,9	Promedio	
4) Gravedad Específica de Sólidos Aparente	(3) / [(3)-(2)] G _{s1}	2,70	2,71	2,71	
5) Gravedad Específica de Sólidos Seca	(3) / [(1)-(2)]	2,67	2,69	2,68	
6) Gravedad Específica de Sólidos S.S.S.	(1) / [(1)-(2)]	2,68	2,70	2,69	
7) Absorción (%)	[(1)-(3)] / (3) * 100	0,51	0,29	0,40	

MATERIAL PASA LA MALLA Nº 4					
% Pasa la Malla Nº 4	P ₂	45,7			
1) Nº de Fiola		1	2		
2) Peso de Fiola (gr)		179,5	163,1		
3) Peso de Muestra Seca (gr)		100,0	100,0		
4) Peso de Muestra Seca + Fiola (gr)		279,5	263,1		
5) Peso de Muestra Seca + Fiola + Agua (gr)		741,2	724,3		
6) Peso de Fiola + Peso de agua		678,2	661,4		
7) Gravedad Específica de Sólidos	(3)/[(3)+(6)-(5)] G _{s2}	2,70	2,70		
8) Temperatura (°C)		22	22		
9) Corrección por Temperatura (K)		0,9996	0,9996		
10) Gravedad Específica de Sólidos Corregido	(7)*(9) G _{s2} (20°C)	2,70			

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

G _{s_{prom}} =	2,70
---------------------------------	------

Notas: Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.
El G_{s_{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:

DCF

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

Nº Informe Lab :

AP-071-18

N° de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-17 / M-1 / 4,10-7,30**

N° de Proyecto: **102345-01**

Descripción / Zona: **Main Dam**

Fecha: **17-may-18**

SUELTO				
N° de Prueba		1	2	3
1) Peso de Muestra Seca	(gr)	26361,0	26554,0	26483,0
2) Diámetro del Molde	(cm)	26,8	26,8	26,8
3) Altura del Molde	(cm)	27,9	27,9	27,9
4) Área de la Molde	(cm ²)	564,1	564,1	564,1
5) Volumen del Molde	(cm ³)	15738,5	15738,5	15738,5
6) Densidad Seca	(gr/cm ³)	1,67	1,69	1,68
7) Contenido de Humedad	(%)	0,0	0,0	0,0
8) Densidad de la muestra seca	(gr/cm ³)	1,67	1,69	1,68

Densidad seca promedio (gr/cm³)	1,682
---	--------------

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:

PCh

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

N° Informe Lab :

AP-071-18

LABORATORIO GEOTÉCNICO

N° de muestra / Prof. (m): **TP_MD18-17 / M-1 / 4,10-7,30**N° Informe Lab : **AP-071-18**Descripción / Zona: **Main Dam**Fecha: **17-may-18****COMPACTADO**

N° de Prueba		1	2	3
1) Peso de Muestra Seca	(gr)	28336,0	28420,0	28480,0
2) Diámetro del Molde	(cm)	26,8	26,8	26,8
3) Altura del Molde	(cm)	27,9	27,9	27,9
4) Área de la Molde	(cm ²)	564,1	564,1	564,1
5) Volumen del Molde	(cm ³)	15738,5	15738,5	15738,5
6) Densidad Seca	(gr/cm ³)	1,80	1,81	1,81
7) Contenido de Humedad	(%)	0,0	0,0	0,0
8) Densidad de la muestra seca	(gr/cm ³)	1,80	1,81	1,81

Densidad seca promedio (gr/cm³)	1,805
---	--------------

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:

PCh

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

Fecha:

17-may-18