JO INGENIERÍA SPA

S.C.M. ATACAMA KOZAN

AUMENTO DE VIDA ÚTIL DE FAENA MINERA ATACAMA KOZAN, INCORPORANDO RELAVES FILTRADOS EN QUEBRADA EL GATO

N° 3070-GO-MEC-001_2

MC ESTABILIDAD FÍSICA DEL DEPÓSITO Y BOTADERO MATERIAL EXCAVACIONES

Preparado por

JO Ingeniería.

Aprobado por

Jefe de Disciplina _____
Gerente de Ingeniería _____
Sub-Gerente de Proyecto _____
Gerente de Proyecto _____

Rev.	Por	Emitido para	Fecha	Fecha de Revisión	Aprobado
A	SCC	Revisión Interna	28-10-16	29-11-16	AHB
B	SCC	Revisión del cliente	07-11-16	10-11-16	AHB
0	SCC	Emitido para uso	30-11-16	30-11-16	AHB
1	SCC	Emitido para uso	10-02-17	10-02-17	AHB
2	SCC	Emisión final	24-03-17	24-03-17	AHB
1	AHB	Agrega caso combinado	09-05-17		
Comentarios:					

AUMENTO DE VIDA ÚTIL DE FAENA MINERA ATACAMA KOZAN, INCORPORANDO RELAVES FILTRADOS EN QUEBRADA EL GATO

MC ESTABILIDAD FÍSICA DEL DEPÓSITO Y BOTADERO MATERIAL EXCAVACIONES

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN 4
2 OBJETIVO 4
3 ALCANCE 4
4 UBICACIÓN 4
5 DOCUMENTOS DE REFERENCIA 5
6 CONDICIONES DE SITIO 6
7 REQUERIMIENTOS GENERALES 7
7.1 UNIDADES 7
7.2 REFERENCIA TOPOGRÁFICA 7
8 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA 7
8.1 GENERAL 7
8.2 SUELO DE FUNDACIÓN 7
8.3 PARÁMETROS MECÁNICOS 8
9 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD 9
9.1 GENERAL 9
9.2 ESCENARIO DE ANÁLISIS 9
9.3 MODELO TIPO A UTILIZAR 10
9.4 ANÁLISIS PSEUDO-ESTÁTICO 11
9.5 CRITERIOS DE ESTABILIDAD 12
9.6 RESULTADOS DEL ANÁLISIS 12
9.6.1 ANÁLISIS PARA ACOPIO FUERA DE OPERACIÓN 12
9.6.1.1 Casos de fallas más desfavorables 12
9.6.1.2 Caso de falla de interacción muro – relaves filtrados 14
9.6.2 ANÁLISIS PARA ETAPAS INTERMEDIAS DE OPERACIÓN 14
9.6.3 ANÁLISIS DE DEFORMACIÓN 15
9.7 ANÁLISIS COMPARATIVOS PARA DISTINTOS TALUDES. 16
9.8 ANÁLISIS ESTABILIDAD BOTADERO DE EXCAVACIONES 17

LISTADO DE TABLAS

Tabla 7-1: Unidades de medida (SI) 7

Tabla 8-1: Propiedades geotécnicas a utilizar 8

Tabla 9-1: Coeficientes sísmicos para análisis seudo-estático. 12

Tabla 9-2: Factores de seguridad acopio de relaves filtrados al cierre 12

Tabla 9-3: Factores de seguridad acopio de relaves filtrados durante operación 14

Tabla 9-4: Factores de seguridad para distintos taludes locales..... 17

Tabla 9-5: Factores de seguridad botadero de excavaciones..... 17

ANEXOS

ANEXO A: Caracterización Geotécnica de Suelos – Relaves.
ANEXO B: Análisis Ensayo triaxial.
ANEXO C: Superficies de Fallas Probables.
ANEXO D: Análisis Seudo-estático para Distintos Taludes – Etapa de Cierre.
ANEXO E: Análisis Seudo-estático para Distintos Taludes – Etapa de operación.
ANEXO F: Análisis de Deformación.
ANEXO G: Análisis Botadero de Material Excavaciones.

1 INTRODUCCIÓN

La **COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA ATACAMA KOZAN** (AK) está planificando desarrollar un nuevo depósito de relaves para operar a continuación (o alternadamente) del actual tranque de relaves que se ubica en la quebrada denominada El Gato, este último a una distancia de 16 km hacia el Norte de la actual planta concentradora.

Para este efecto, AK ha solicitado a JO Ingeniería (**JO**) desarrollar una ingeniería para sustentar el expediente técnico del nuevo depósito de relaves a presentar al Sistema de Evaluación Ambiental (SEA), por la vía de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), que se justifica como una ampliación del depósito de relaves en Qda. El Gato, para la capacidad actual de la planta concentradora, y por el método de relaves filtrados que es ambientalmente más favorable.

En la presente etapa de ingeniería denominada Hito 2, se desarrollará un estudio a nivel de ingeniería conceptual avanzada, base para la preparación de la DIA respectiva.

2 OBJETIVO

Determinar la estabilidad del talud del acopio de relaves filtrados proyectado y botadero temporal de excavaciones, según definición del Art. 14 letra o del DS 248 del SERNAGEOMIN.

3 ALCANCE

Determinación de los factores de seguridad de los taludes mediante métodos de equilibrio límite, considerándose la modelación de los perfiles más críticos y representativos.

Entregar recomendaciones y conclusiones para posibles aumentos de talud.

4 UBICACIÓN

El futuro DR Filtrados se localizará en el sector bajo de la Quebrada El Gato, sitios donde se ubica actualmente el Tranque de Relaves El Gato propiedad de S.C.M Atacama Kozan (AK), en la comuna de Copiapó, Región de Atacama, al Norte de la intersección de Quebrada Paipote y el cauce natural del río Copiapó, con una distancia aproximada de 15 km de la Planta de AK, como se observa en la Figura Nº 4-1.



Figura 4-1: Proyección Nuevo Depósito de Relaves Filtrados AK

5 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

[Ref. 1] Documento N°3070-RE-INF-001 Bases y Criterios de Diseño Depósito de Relaves.

[Ref. 2] Documento N°3070-ES-CRD-002 Criterio de Diseño Estructuras.

[Ref. 3] Documento N°3070-GO-ETE 002 Especificaciones Técnicas Movimientos de Tierra.

[Ref. 4] Documento Nº3070-GE-INF-005 Informe de Riesgo Sísmico.

[Ref. 5] Documento Nº3070-GE-INF-006 Informe Caracterización Física de Relave.

[Ref. 6] Documento Nº3070-GO-MEC-004 Informe MC Muro de Cierre y Botadero.

[Ref. 7] Documento Nº3070-GE-INF-008 Informe Geológico – Geotécnico.

[Ref. 8] Estudio de Tranque de Relave – Quebrada el Gato. Desarrollado por ROWE ASOC. 1996.

[Ref. 9] Análisis de Estabilidad Dinámica – Proyecto de Ampliación Tranque de Relaves El Gato. Geotecnia Ambiental.

[Ref. 10] Plano Nº3070-RE-PLA-004 Plano Disposición General Obras Depósito de Relaves – Planta General Depósito Relave Filtrado.

Otros documentos:

[Ref. 11] BRAJA DAS. 2010. “Principios de Ingeniería de Cimentaciones”. Quinta Edición. 743p.

[Ref. 12] MAKDISI & SEED 1997. “A simplified produce for estimating earthquake-induced deformation in dams and embankments”.

[Ref. 13] Saragoni, R., 1993. “Análisis del riesgo sísmico para la reconstrucción del puerto de Valparaíso”, 6º Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Sísmica, Vol II. Santiago, Chile.

[Ref. 14] Decreto Supremo Nº248: “Reglamento para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Cierre de los Depósitos de Relaves”. Ministerio de Minería. Abril 2007.

[Ref. 15] Caracterización geotécnica de suelos – relaves. OT Nº28-0000046-17-00- Informe de Ensayo Nº1.190.881-A. Febrero 2017.

Si se presentan diferencias o conflictos entre las normas, códigos y/o estándares, regirá la más conservadora y serán sometidas a revisión del Cliente o su representante.

Podrán emplearse otros Códigos o Normas, citando claramente la fuente y una vez demostrado que sean de un nivel de exigencia similar o mayor a aquéllos listados anteriormente y contando con la aprobación del Cliente.

6 CONDICIONES DE SITIO

Para las condiciones generales del sitio referirse al documento 3070-RE-INF-001 Bases y Criterios de Diseño Depósito de Relaves.

7 REQUERIMIENTOS GENERALES

7.1 UNIDADES

Los documentos técnicos y planos que desarrollará la disciplina Civil, serán realizadas, de modo general, utilizando el Sistema Internacional de Unidades (SI), según el siguiente cuadro:

Tabla 7-1: Unidades de medida (SI)

Magnitud	Nombre	Símbolo
Ángulo plano	grado	°
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Masa	tonelada	t
Masa en volumen	kilogramo por metro cúbico	kg/m^3
Superficie	metro cuadrado	m^2
Tiempo	segundo	s
Velocidad	metro por segundo	m/s
Volumen	metro cúbico	m^3
Aceleración	Metro por egundo cuadrado	m/s^2

7.2 REFERENCIA TOPOGRÁFICA

Para el proyecto considera como referencia topográfica el sistema UTM WGS84, Huso 19 Sur.

8 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

8.1 GENERAL

El acopio de relaves filtrados, tal como se menciona en el punto 4 del presente documento, se dispone aguas abajo del actual tranque de relaves El Gato, por lo que interactúa directamente con él. Así, debe evaluarse la interacción entre tres materiales principales: el suelo de fundación, el muro de arenas y el relave filtrado del acopio. Se procede entonces a definir las características y propiedades mecánicas de dichos materiales.

8.2 SUELO DE FUNDACIÓN

El mapeo geológico realizado en la zona del futuro emplazamiento del acopio de relaves filtrados señala que el suelo de fundación corresponde principalmente a depósitos aluviales inactivos, conformados por matriz de arena, limo y arcillas.

Debido a la extensión de los depósitos mencionados, se modela el suelo de fundación como una única unidad representada por una resistencia al corte característico, lo cual puede observarse en la Figura 8-1 y es explicado en profundidad en la [Ref. 7].

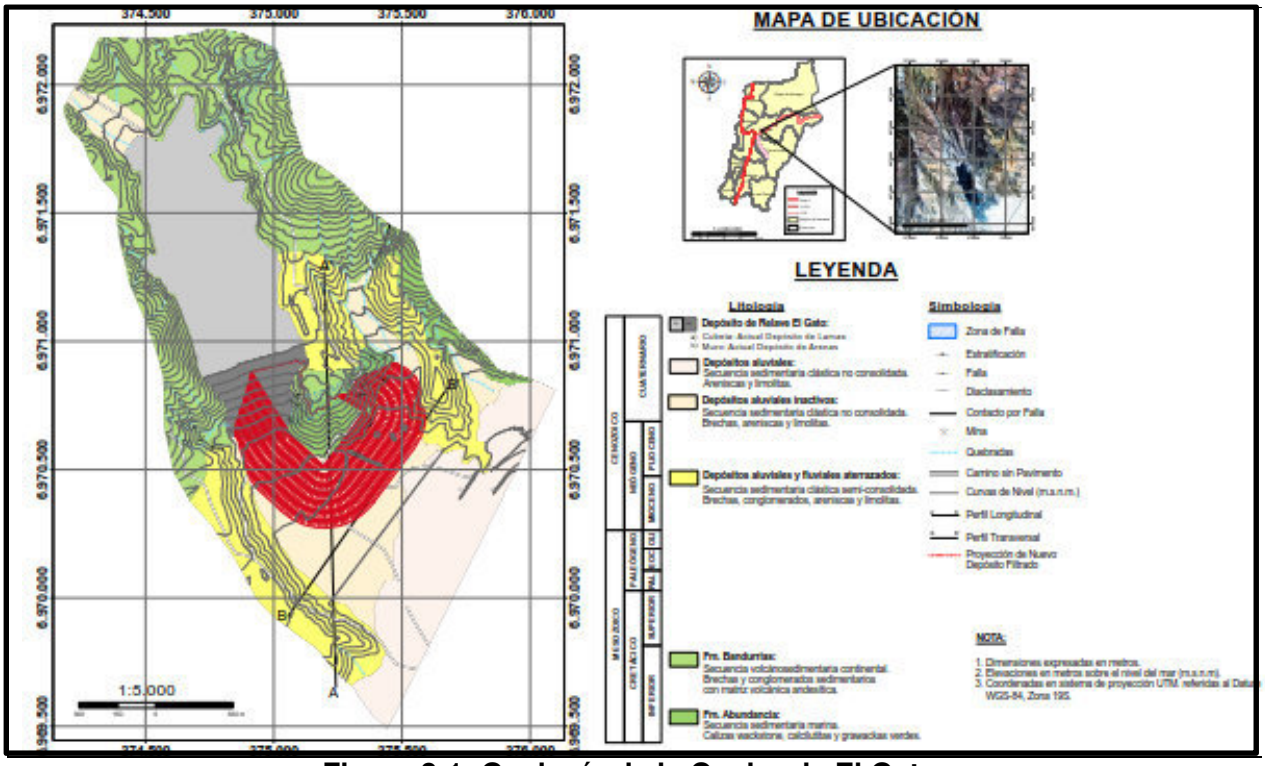


Figura 8-1: Geología de la Quebrada El Gato.

8.3 PARÁMETROS MECÁNICOS

Se utilizan propiedades mecánicas para cada uno de los materiales en cuestión, en base a la experiencia de JO Ingeniería en proyectos similares, los estudios y documentos citados en el presente informe de estabilidad, principalmente a la [Ref. 1], y los ensayos de laboratorio realizados a muestras del relave filtrado y suelo [Ref. 15], que se pueden observar en el ANEXO A, y cuyas propiedades mecánicas se determinan en el Anexo B. Dichos parámetros son detallados en la Tabla 8-1.

Tabla 8-1: Propiedades geotécnicas a utilizar

Material	Peso específico γ_h [t/m^3]	Cohesión [kg/cm^2]	Ángulo de fricción interna [º]
Suelo de Fundación	1,9	0	36
Arena de Relave Muro El Gato	1,85	0	34
Relave Filtrado	2,0	0	32-37

Las diferencias entre los resultados de los ensayos de laboratorio y los valores adoptados en informes anteriores se encuentran en el rango de tolerancia para los valores de las propiedades geotécnicas por lo que no se hace necesaria la actualización de los cálculos de estabilidad y se validan los factores de seguridad obtenidos en el presente informe.

9 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

9.1 GENERAL

El análisis de estabilidad se realiza mediante métodos de equilibrio límite los cuales asocian a una posible superficie de deslizamiento o falla, un factor de seguridad específico. Se determinan las fuerzas y momentos que provocan la falla o deslizamiento y se comparan con las fuerzas resistentes de corte.

Los modelos se realizan en el software SLOPE/W versión 2007, mediante un modelo de equilibrio límite tipo Morgenstern-Price.

El factor de seguridad depende principalmente de las propiedades mecánicas de los suelos a modelar, pero también de las propiedades geométricas.

La geometría del acopio de relaves filtrados se caracteriza por:

- Altura máxima acopio: 92 m
- Talud Global acopio: H:V=3,0:
- Método de construcción: Por terrazas
- Número de terrazas: 9
- Altura por terraza: 10 m
- Talud local terraza: H:V=3:1
- Material: Relave completo filtrado y compactado
- Densidad de compactación: 2,0 t/m^3
- Criterio de compactación 95% del Proctor Modificado

9.2 ESCENARIO DE ANÁLISIS

La [Ref. 14] en su Artículo 14 punto O, estipula como criterio de diseño la aplicación de varias fases de análisis, de las cuales pueden llegar a aplicar las siguientes:

Fase I: Simulación de estabilidad estática asumiendo licuefacción de la cubeta.

Fase II: Simulación de estabilidad estática (Análisis pseudo-estáticos) con determinación simplificada de las presiones de poros. El factor de Seguridad resultante del cálculo, no debe ser menor de uno coma dos (1,2). Para el caso de depósitos pequeños (con muros menores de 15 metros de alto) cumplida esta condición, no será necesario cumplir la fase III.

Fase III: Análisis dinámicos basados en ensayos de propiedades dinámicas de los suelos, incluyendo cálculos de desplazamientos.

De esta manera, la Fase I no aplica debido a que el proyecto se refiere a un acopio de relaves filtrados y no a un tranque convencional.

Por otro lado, la Fase II detalla que se debe realizarse el análisis estático y seudoestático, pudiéndose omitir el análisis dinámico, cuando el Factor de Seguridad (FS) sea mayor a uno coma dos (1,2) para depósitos con muros de altura menor a 15 m de alto.

En estricto rigor, el acopio de relaves filtrados proyectado no catalóga como depósito de relaves convencional con muro de arena o de empréstito, por lo que no es aplicable el Artículo 14 de la [Ref. 14] ni la Fase III. Aún así, tomándo en consideración la existencia del muro de pie de 5 m de altura, el análisis se restringe al análisis estático y seudo-estático. Como medida adicional se realiza el cálculo de deformaciones máximas del depósito como efecto de un sismo máximo creible, tal como se refiere la Fase III mencionada.

Cabe señalar que el análisis se realiza principalmente para la condición de cierre del acopio de relaves filtrados; esto es, una vez construidas todas las terrazas y habiendo llegado a la cota máxima del proyecto. Esta condición es la más crítica, ya que es donde el acopio se vuelve más inestable debido a su altura. Aún así, se realizan análisis para etapas intermedias de llenado (2,7 años y 8 años de operación) (punto 9.6.2).

9.3 MODELO TIPO A UTILIZAR

El análisis se realiza para condiciones estáticas y seudo-estáticas (sísmicas), para lo cual se consideran dos perfiles principales y críticos del acopio de relaves filtrados, los cuales se presentan en la Figura 9-1.

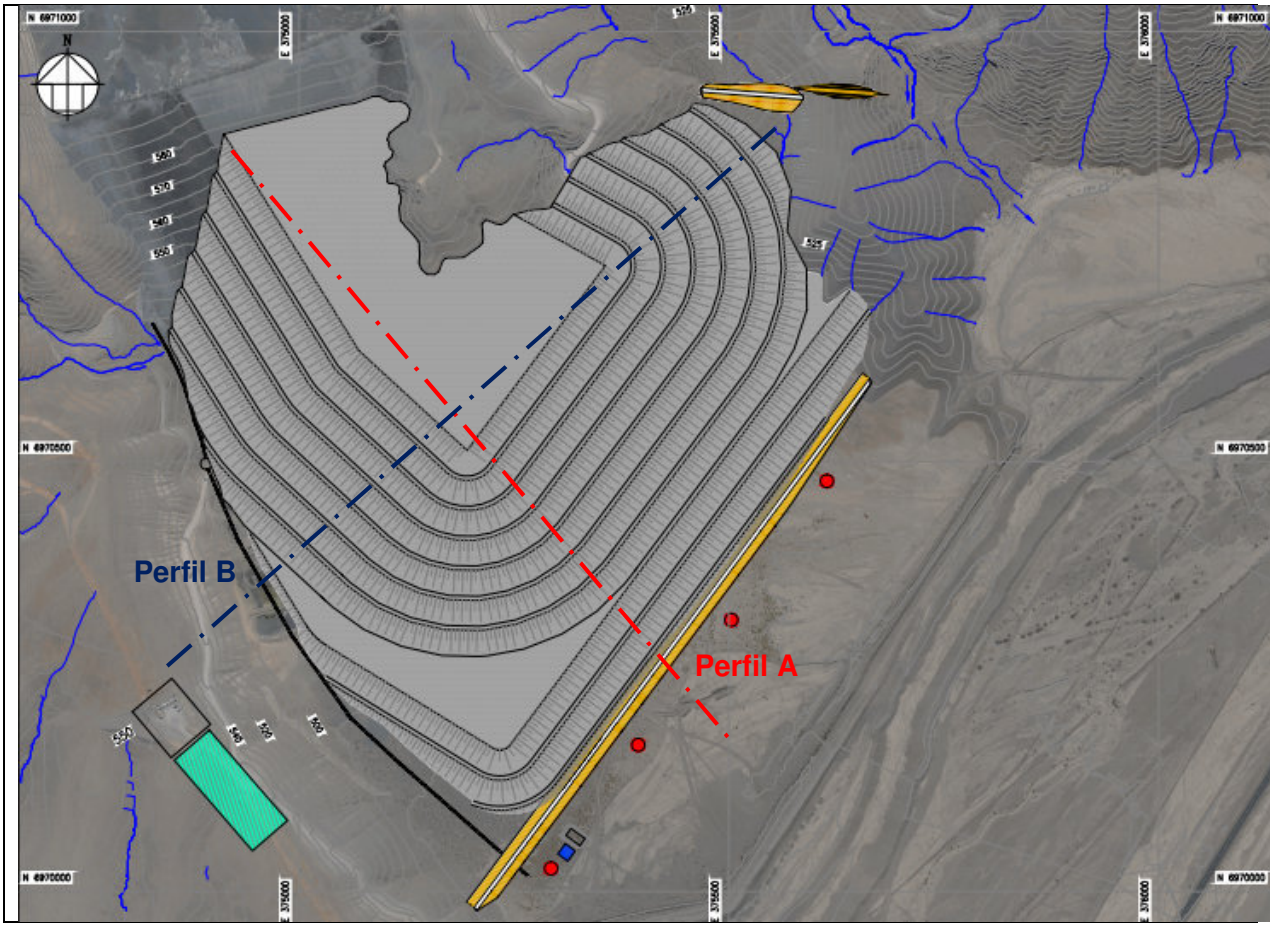


Figura 9-1:Perfiles a analizar.

Se considera relevante el análisis de la interacción entre el tranque de relaves existente y el nuevo acopio de relaves filtrados que se apoyará en el muro de contención construido con arenas de los relaves actuales, para verificar si se ve alterada la estabilidad del muro de arena. De esta manera el perfil A comprende y/o incluye al suelo de fundación, al muro de arenas, y al acopio de relaves filtrados. La Figura 9-2 muestra el perfil tipo analizado.

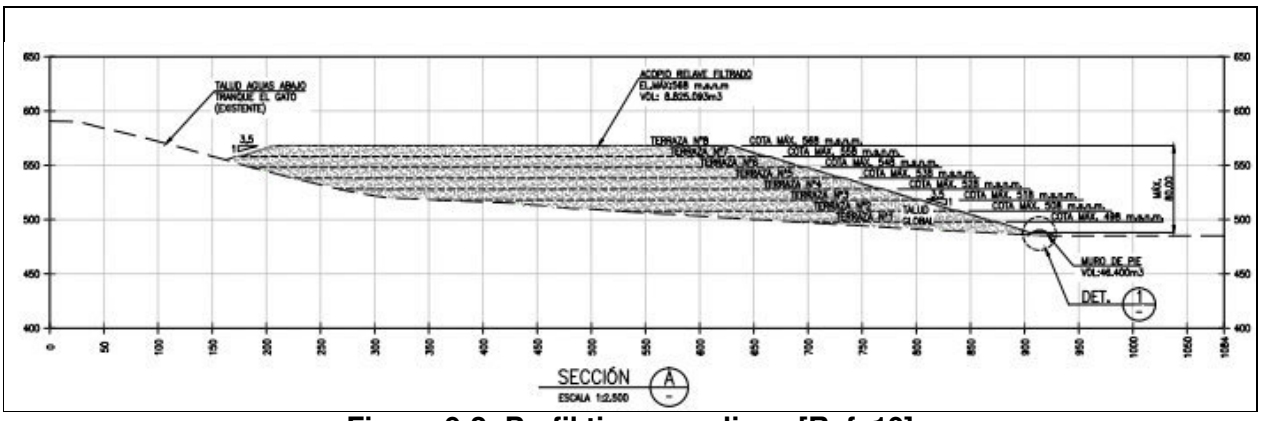


Figura 9-2: Perfil tipo a analizar. [Ref. 10]

9.4 ANÁLISIS PSEUDO-ESTÁTICO

Se utiliza el análisis seudo-estático para observar el comportamiento del acopio durante un sismo. Se imponen fuerzas inerciales tanto horizontales como verticales sobre la masa del acopio, las cuales son proporcionales a los coeficientes sísmicos determinados.

El sismo máximo para un periodo de retorno de 1000 años, que alcanza una aceleración de 0,522g (de origen probabilístico), correspondiente al sismo máximo probable, que superaría una magnitud de Ms=8.5 (que nunca habría ocurrido en la zona).

Se aceptan y utilizan las correlaciones entregadas por Saragoni en la [Ref. 13] para la obtención de los coeficientes sísmicos, siendo estos coeficientes una proporción de la aceleración máxima de campo libre estimada en la zona de fundación del acopio, tal como se muestra a continuación:

$$k_h = 0{,}3 \cdot \frac{a_{máx}}{g} \qquad con \qquad a_{máx} \leq 6{,}6 \left[{}^{m}/_{s^2} \right]$$

$$k_h = 0{,}22 \cdot \sqrt[3]{\frac{a_{máx}}{g}} \qquad con \qquad a_{máx} > 6{,}6 \left[{}^{m}/_{s^2} \right]$$

Donde:

g: Aceleración de gravedad [m/s^2].
$a_{máx}$: Aceleración máxima de campo libre estimada para la zona de estudio.

Los valores obtenidos para los coeficientes bajo las formulaciones detalladas anteriormente se aprecian en la Tabla 9-1. El coeficiente vertical se ha establecido en 2/3 del coeficiente sísmico horizontal según los criterios de diseño del proyecto [Ref. 1].

Tabla 9-1: Coeficientes sísmicos para análisis seudo-estático.

Coeficiente	Magnitud
Horizontal	0,16
Vertical	0,12

9.5 CRITERIOS DE ESTABILIDAD

Se deben cumplir los siguientes factores de seguridad mínimos en la estabilidad del acopio ([Ref. 2]):

FS estático ≥ 1,5
FS seudo-estático ≥ 1,2

9.6 RESULTADOS DEL ANÁLISIS

9.6.1 ANÁLISIS PARA ACOPIO FUERA DE OPERACIÓN

9.6.1.1 Casos de fallas más desfavorables

En este punto se considera la construcción final del acopio; esto es, en estado de cierre en su cota máxima. En base a los modelos realizados se obtienen los factores de seguridad que se muestran en la Tabla 9-2, siendo los correspondientes a las fallas más desfavorables y probables, bajo las condiciones del analisis. Las fallas producidas en otras zonas del acopio se presentan en el ANEXO C.

Tabla 9-2: Factores de seguridad acopio de relaves filtrados al cierre

Eje de análisis	FS estático	FS seudo-estático
Perfil A	2,455	1,569
Perfil B	2,483	1,592

La similitud de los factores de seguridad para ambos perfiles, se debe a que la falla más probable se produce a nivel global del talud del acopio de relaves filtrados, tal como se aprecia en la Figura 9-4, donde las terrazas tienen igual talud y configuración geométrica. Cabe mencionar que las fallas locales a nivel de cada terraza poseen factores de seguridad mayores, por lo que no se consideran críticos. Ejemplo de una falla local y del factor de seguridad asociado se muestran en la Figura 9-3.

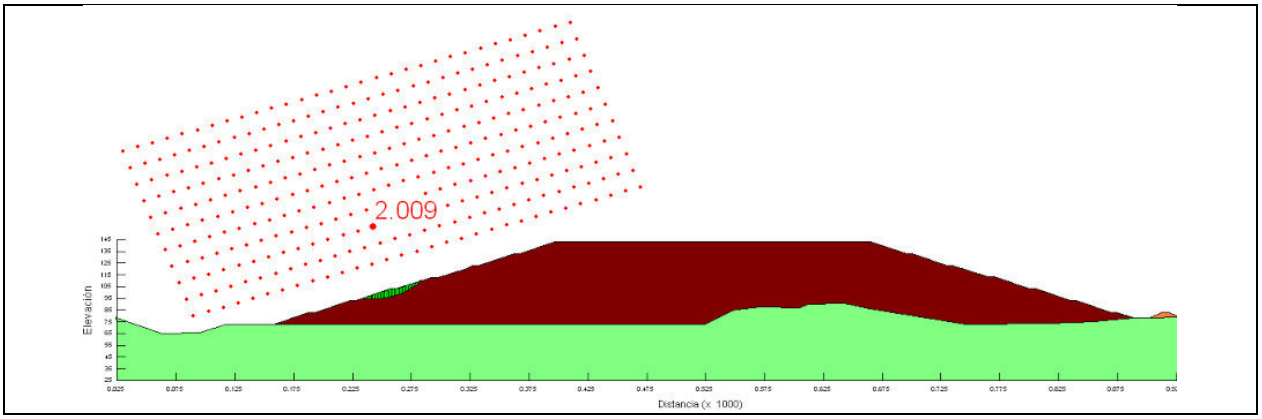


Figura 9-3: Falla local en terraza.

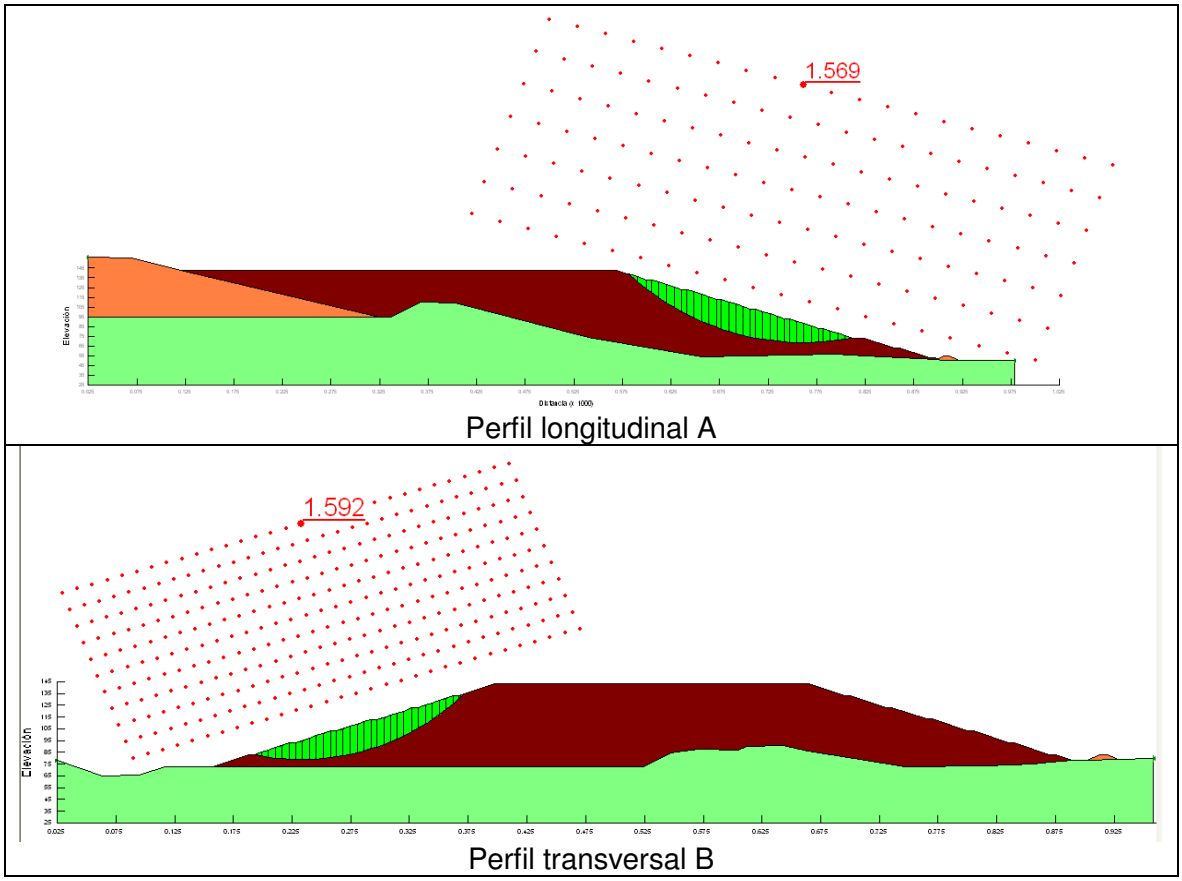


Figura 9-4: Superficie de falla caso seudo estático para perfil A y B – caso en estado e cierre.

De esta manera se concluye que los taludes autosoportados y el mismo acopio son estables, basados en la geometría, materialidad y disposición del mismo, cumpliendo con los factores de seguridad respectivos.

9.6.1.2 Caso de falla de interacción muro – relaves filtrados

Como caso específico del depósito de relaves filtrados, al final de su vida útil, se incluyó el análisis seudoestático para la falla en la interacción del muro de contención del tranque El Gato con el depósito, que se observa en la Figura 9-5. Como era de esperar el factor de seguridad es más alto que para las fallas mas desfavorables estudiadas en numeral 9.6.1.1, consecuencia de que el depósito de relaves filtrados está ejerciendo una fuerza inercial que contrarresta a las del muro de contención.

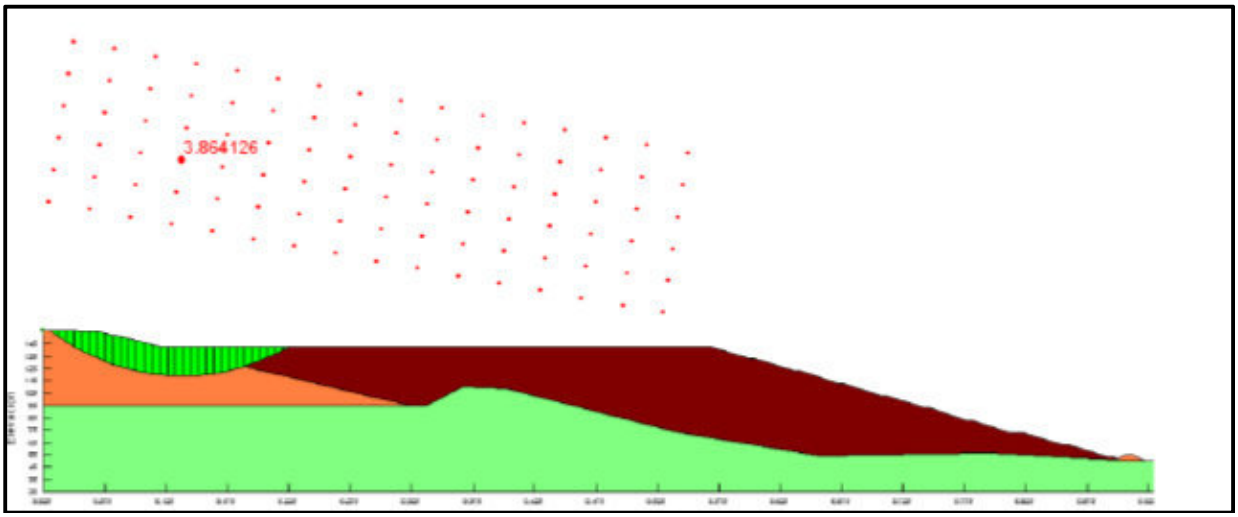


Figura 9-5: Superficie de falla en interacción muro – relaves filtrados. Analisis seudoestático en estado de cierre.

9.6.2 ANÁLISIS PARA ETAPAS INTERMEDIAS DE OPERACIÓN

En este punto se analiza la estabilidad del acopio durante la operación, específicamente para la construcción de la terraza Nº2 (4 años de operación) y terraza Nº5 (11 años de operación). La Tabla 9-3 señala los Factores de Seguridad (FS) para dichos casos.

Tabla 9-3: Factores de seguridad acopio de relaves filtrados durante operación

Año de operación	FS estático	FS seudo-estático
4 años	2,949	1,854
11 años	2,671	1,664

La Figura 9-6 muestra las superficies de falla para los años de operación mencionados. En el ANEXO D se pueden apreciar el resto de fallas para el caso estático.

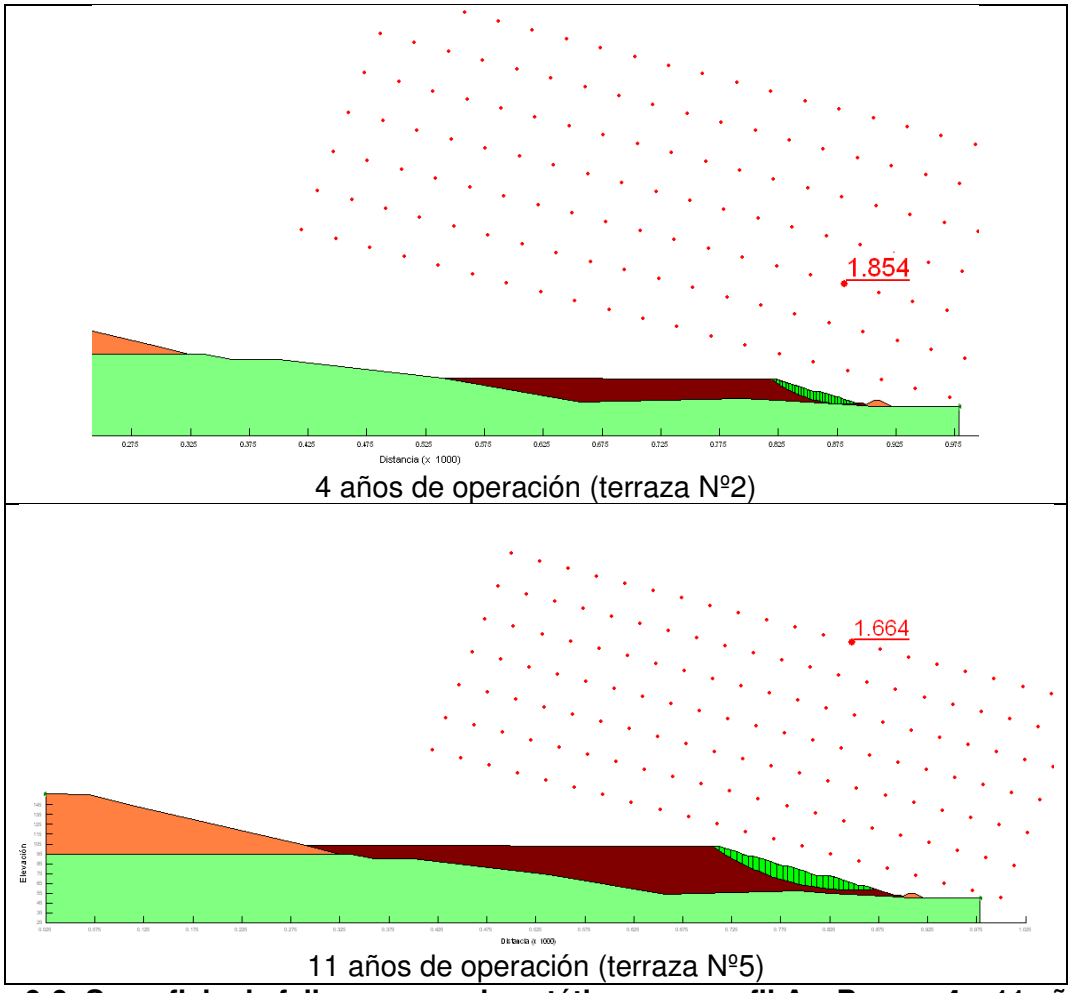


Figura 9-6: Superficie de falla caso seudo estático para perfil A y B, para 4 y 11 años de operación.

Al comparar estos resultados con los obtenidos para el acopio en su cota máxima, se aprecia claramente que el estado crítico es el estado de cierre del acopio, donde se observan los mayores FS debido a la altura mayor del depósito.

9.6.3 ANÁLISIS DE DEFORMACIÓN

Para el análisis de deformaciones del acopio se adoptó el método simplificado propuesto por Makdisi y Seed (1977) [Ref. 12].

Este método permite predecir las deformaciones inducidas por un sismo en un talud, en función de la aceleración de fluencia, la aceleración máxima inducida en el coronamiento y el periodo natural de vibración.

La aceleración de fluencia (Ky) es la aceleración media con la cual se induce una condición de desplazamiento incipiente y una potencial superficie de deslizamiento, este valor depende de la geometría y de los parámetros de resistencia al corte del material de relleno del acopio, se calcula

mediante series de análisis de estabilidad seudo - estáticos que permiten determinar el coeficiente sísmico asociado a un factor de seguridad FS= 1,0.

Mediante el uso de los modelos ya realizados y detallados se obtiene un un valor Ky= 5,1g.

Posteriormente se procede a realizar la iteración propia del método, que permite determinar la deformación máxima para el acopio considerando los siguientes criterios adicionales:

- Se consideró un sismo de magnitud Mw=8,5 [Ref. 4] (ver punto 9.4).
- Velocidad de onda compresional del sitio del depósito Vp = 500 [m/s^2] [Ref. 8].
- Se utiliza aceleraciones máximas de a=0,522g [Ref. 4]¨.
- Se estimaron las deformaciones sobre la base de la curva máxima de aceleraciones.

La deformación máxima esperada para el deposito es inferior a 1 cm. El detalle del análisis se aprecia en el ANEXO F del presente informe.

9.7 ANÁLISIS COMPARATIVOS PARA DISTINTOS TALUDES.

Para efectos de una posible optimización en la capacidad del acopio de relaves filtrados, vía el aumento de la pendiente de talud local del acopio de relaves filtrados, se genera un análisis comparativo entre los factores de seguridad para distintos modelos.

En resumen, se realizan 2 modelos extras con distintos taludes y se verifica si los factores de seguridad de cada uno cumple con los criterios de estabilidad.

La Tabla 9-4 entrega los resultados de dicho análisis, específicamente los resultados para el análisis seudo-estático, el cual es el más limitante.

Tabla 9-4: Factores de seguridad para distintos taludes locales

Modelo	FS seudo-estático
Talud local H:V = 3:1	1,6
Talud local H:V = 2,5:1	1,4
Talud local H:V = 2:1	1,2

En el ANEXO E se aprecian las superficies de falla para cada uno de los taludes analizados.

Del análisis se puede concluir que en caso de necesidad de aumento del talud local, este podría realizarse sin comprometer la estabilidad del acopio, aumentando el talud a 2,5:1.

9.8 ANÁLISIS ESTABILIDAD BOTADERO DE EXCAVACIONES

La [Ref. 6] señala la existencia de un botadero aledaño al acopio de relaves filtrados, donde se depositará el material proveniente del acondicionamiento de la superficie de fundación de dicho acopio.

El botadero se configura con terrazas de 7 m de altura máximo, lo que entrega una altura de 14 m, mientras que se establece una berma de 5 m.

Como el material que se depositará en el botadero es el proveniente del suelo de fundación, se genera un modelo con los parámetros adoptados para ese suelo (ver punto 8.3).

Los resultados del modelamiento se observan en la Tabla 9-5 y los modelos pertinentes para el análisis estático y seudo-estático se aprecian en el ANEXO G.

Tabla 9-5: Factores de seguridad botadero de excavaciones.

Modelo	FS estático	FS seudo-estático
Botadero	2,5	1,6

ANEXO A: CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE SUELOS - RELAVES

idiem Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales

INFORME DE ENSAYO Nº 1.190.881-A
MECÁNICA DE SUELOS

CARACTERIZACION GEOTECNICA DE SUELOS - RELAVES

OT Nº 28-0000046-17-00

SECCIÓN LABORATORIO DE GEOTECNIA		**REF.:** SLG.PRE.AC 133	EJEMPLAR N°: 01	N° DE PÁGINAS: 17
ELABORADO POR:	**REVISADO POR:**	**APROBADO POR:**	**CLIENTE: SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ATACAMA KOZAN**	
			Dirección: Parcela Los Olivos - Sector Punta del Cobre, Tierra Amarilla	
Fabiola Arroyo M.	Juan Pablo Vásquez B.	Iván Bejarano B.	**DESTINATARIO:** JESICA GONZALEZ	
FECHA DE MUESTREO: ---		**LUGAR DE MUESTREO:** (Realizado por el Cliente)		
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 26/12/2016	**FECHA DE INICIO DE LOS TRABAJOS:** 26/01/2017	**FECHA DE TÉRMINO DE LOS ENSAYOS:** 21/02/2017	**FECHA DE EMISIÓN :** 22 / 02 / 2017	

Nota:
La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Ensayos Geomecánicos de IDIEM.
Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.
Plaza Ercilla Nº883 / Arturo Prat N°1171, Santiago.

idiem Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales

1. Antecedentes

Informe de ensayos realizados según los siguientes documentos recibidos por la Sección Ensayos Geomecánicos

- Aceptación de presupuesto SLG.PRE.AC 133/17

De acuerdo a esto, se ejecutaron los siguientes ensayos:

- SLG-PP-06 Granulometría ASTM D422-60 (2007)
- SLG-PP-08 IP ASTM D4318-10
- SLG-PP-13 Clasificación USCS ASTM D2487-06
- Densidad Máxima y Mínima según método japonés, basado en la norma JSF E 161 – 1988
- Ensayo Permeabilidad Carga Constante Pared Flexible ASTM D5084-03
- Ensayo Triaxial CIU probeta 5x10 cm basado en ASTM D4767-04
- Ensayo Triaxial CIU probeta 10X20 cm basado en ASTM D4767-04

Nota:
La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Ensayos Geomecánicos de IDIEM.
Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.
Plaza Ercilla Nº883 / Arturo Prat N°1171, Santiago.

idiem Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales

2. Identificación de muestras.

La(s) muestra recibida(s) y ensayada(s) corresponden al detalle indicado en la tabla Nº1.

Tabla Nº1.- Muestras recibida(s) y ensayada(s)

Identificación de Muestra	Calicata [N°]	Cotas [m]	Tipo	Recibida	Ensayada
RELAVE M-622	--	--	P	X	X
COMUN (SUELO 1 C3:C4 M-623; SUELO 2 C6:C7 M-624)	--	--	P	X	X

La definición del tipo de muestras corresponde a:
- P: muestra perturbada
- NP: muestra no perturbada en bloque inalterado
- SH: muestra tubo Shelby
- CN: muestra cuchara normal
- CD: muestra corona diamantina
- C: colpa

Nota:
La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Ensayos Geomecánicos de IDIEM.
Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.
Plaza Ercilla Nº883 / Arturo Prat N°1171, Santiago.

idiem Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales

Las muestras son almacenadas por IDIEM hasta 15 días luego de emitido este informe. Posterior a este tiempo serán eliminadas, a menos que exista una solicitud escrita del cliente para su resguardo y la ejecución de ensayos adicionales por un tiempo determinado.



Carolina Smith G.
Ingeniero Revisor
Sección Ensayos Geomecánicos
IDIEM

Iván Bejarano B.
Jefe División
Geotecnia Laboratorios
IDIEM

FAM/pve

Nota:
La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Ensayos Geomecánicos de IDIEM.
Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.
Plaza Ercilla N°883 / Arturo Prat N°1171, Santiago.
Informe N° 1.190.881-A CARACTERIZACION GEOTECNICA DE SUELOS - RELAVES
Página 4 de 17
SLG – FOR – 153 Versión: 11

idiem Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales

INFORME ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DE MUESTRAS DE SUELO

Proyecto	CARACTERIZACION GEOTECNICA DE SUELOS - RELAVES
Inf. Ensaye	Nº 1.190.881-A
Orden de Trabajo	28-0000046-17-00
Fecha Inicio	26/01/2017
Fecha Término	01/02/2017

IDENTIFICACIÓN

Muestra	Nº	RELAVE M-622			
Cota	[m]	---			
Partículas sobre 3"	[%]	0,0			

GRANULOMETRÍA

Tamaño de Partícula, mm	Designación Malla o Criba	%en peso que pasa			
63,50	2 1/2"				
50,80	2"				
38,10	1 1/2"				
25,40	1"				
19,00	3/4"				
9,52	3/8"				
4,76	Nº 4				
2,00	Nº 10				
0,84	Nº 20	100,0			
0,42	Nº 40	98,7			
0,25	Nº 60	92,3			
0,11	Nº 140	71,4			
0,07	Nº 200	65,6			

Límite Líquido [%]	17			
Límite Plástico [%]	13			
Indice de Plasticidad [%]	4			
Clasificación USCS	CL-ML			

Referencias

1. SLG-PP-06 Granulometría ASTM D422-63 (2007).
2. Límite Líquido, Límite Plástico e Indice de Plasticidad según SLG-PP-08 basado en ASTM D4318-10.
3. Límite Líquido realizado por método mecánico.
4. Clasificación USCS en base a SLG-PP-13 basado en ASTM D2487-06.

Observaciones

a. Límites Líquidos y Plásticos realizados con material preparado en seco.
b. Granulometría realizada por método seco.

Nota:
La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Ensayos Geomecánicos de IDIEM.
Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.
Plaza Ercilla Nº883 / Arturo Prat Nº1171, Santiago.

idiem Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales

INFORME DETERMINACION DE PESO ESPECIFICO BAJO TAMIZ Nº 4

Proyecto	TIERRA AMARILLA
Inf. Ensaye	Nº 1.190.881-A
Orden de Trabajo	28-0000046-17-00
Fecha Inicio	20/02/2017
Fecha Término	21/02/2017

RESULTADOS DE ENSAYO

Muestra	Cota [m]	Gs
RELAVE M-622	---	3,22 *

Referencias

1. Determinación de Peso Específico bajo tamiz Nº 4 según SLG-PP-09, basado en ASTM D854-10
2. Se utilizó el método seco para determinar el peso específico
3. El porcentaje de material que pasa el tamiz Nº 4 es el indicado en el formulario de Clasificación USCS

Observaciones

1. Peso específico informado a la temperatura de 20 °C
2. Se utilizó agua destilada en la ejecución del ensayo.

Nota:
La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Ensayos Geomecánicos de IDIEM.
Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.
Plaza Ercilla Nº883 / Arturo Prat Nº1171, Santiago.

idiem Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales

INFORME DETERMINACION DENSIDAD MAXIMA

Proyecto	CARACTERIZACION GEOTECNICA DE SUELOS - RELAVES
Inf. Ensaye	Nº 1.190.881-A
Orden de Trabajo	28-0000046-17-00
Fecha Inicio	26/01/2017
Fecha Término	26/01/2017
Muestra	RELAVE M-622

RESULTADOS DE ENSAYO

Peso Molde [g]	367
Volumen Molde [cm^3]	74

Identificación	Peso Molde + Suelo [g]	Peso Suelo [g]	Densidad Máxima [g/cm^3]
1	499,340	132,03	1,79
2	498,680	131,37	1,78
3	499,040	131,73	1,79
4	498,840	131,53	1,78
5	499,260	131,95	1,79
		Media	**1,79 ± 0,01**

Referencias:

1. Determinación de Densidad Maxima según método japonés, basado en la norma JSF E 161 – 1988

Nota:
La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Ensayos Geomecánicos de IDIEM.
Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.
Plaza Ercilla Nº883 / Arturo Prat Nº1171, Santiago.

idiem Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales

INFORME DETERMINACION DENSIDAD MINIMA

Proyecto	CARACTERIZACION GEOTECNICA DE SUELOS - RELAVES
Inf. Ensaye	Nº 1.190.881-A
Orden de Trabajo	28-0000046-17-00
Fecha Inicio	26/01/2017
Fecha Término	26/01/2017
Muestra	RELAVE M-622

RESULTADOS DE ENSAYO

Peso Molde [g]	367
Volumen Molde [cm^3]	74

Identificación	Peso Molde + Suelo [g]	Peso Suelo [g]	Densidad Minima [g/cm^3]
1	451,210	83,90	1,14
2	452,380	85,07	1,15
3	452,670	85,36	1,16
4	451,840	84,53	1,15
5	452,470	85,16	1,15
		Media	**1,15 ± 0,01**

Referencias

1. Determinación de Densidad Mínima según método japonés, basado en la norma JSF E 161 – 1988

Nota:
La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Ensayos Geomecánicos de IDIEM.
Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.
Plaza Ercilla Nº883 / Arturo Prat Nº1171, Santiago.

idiem Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales

INFORME ENSAYO PERMEABILIDAD CARGA CONSTANTE
(ASTM D5084-03)

Proyecto	CARACTERIZACION GEOTECNICA DE SUELOS - RELAVES
Inf. Ensaye	Nº 1.190.881-A
Orden de Trabajo	28-0000046-17-00
Fecha de Inicio	15/02/2017
Fecha de término	15/02/2017
Muestra	RELAVE M-622

DATOS INICIALES

Diametro Inicial	[cm]	4,97
Altura Inicial	[cm]	10,02
Volumen Inicial	[cm³]	194,39
Densidad Húmeda	[gr/cm³]	1,96
Humedad Natural	[%]	6,05
Densidad Seca	[gr/cm³]	1,85

DATOS CORREGIDOS POR CONSOLIDACION

Contrapresión	[kg/cm²]	4,00
ΔVolumen por Consolidación	[cm³]	8,20
Altura Corregida	[cm]	9,88
Diámetro Corregido	[cm]	4,90
Area Corregida	[cm²]	18,86

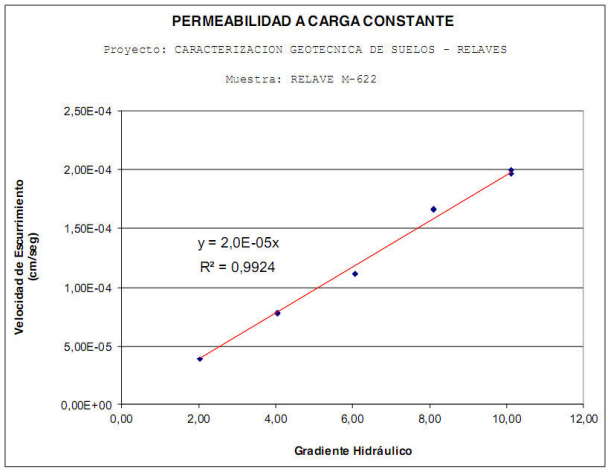
LECTURAS DE ENSAYO

Determinación Nº	Tiempo Escurrimiento Promedio [s]	Altura Carga Hidráulica [cm]	Volumen Escurrimiento [cm³]	Velocidad de Escurrimiento [cm/s]	Gradiente Hidráulico	Coef. Permeabilidad K [cm/s]
1	4311,00	20,00	3,10	3,81E-05	2,02	1,88E-05
2	4320,00	20,00	3,10	3,81E-05	2,02	1,88E-05
3	2040,00	40,00	3,00	7,80E-05	4,05	1,93E-05
4	2050,00	40,00	3,00	7,76E-05	4,05	1,92E-05
5	1810,00	60,00	3,80	1,11E-04	6,07	1,83E-05
6	1819,00	60,00	3,80	1,11E-04	6,07	1,82E-05
7	1752,00	80,00	5,50	1,66E-04	8,10	2,06E-05
8	1760,00	80,00	5,50	1,66E-04	8,10	2,05E-05
9	1600,00	100,00	6,00	1,99E-04	10,12	1,96E-05
10	1623,00	100,00	6,00	1,96E-04	10,12	1,94E-05

Observaciones:
1. Permeabilidad realizada según método de PARED FLEXIBLE
2. Permeabilidad realizada a presión de confinamiento = 1,50 kg/cm2
3. Ensaye efectuado en probeta REMOLDEADA

Estimación de Permeabilidad (K)

2,0E-05	cm/seg



Nota:
La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Ensayos Geomecánicos de IDIEM.
Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.
Plaza Ercilla Nº883 / Arturo Prat Nº1171, Santiago.
Informe Nº 1.190.881-A CARACTERIZACION GEOTECNICA DE SUELOS - RELAVES

idiem Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales

INFORME ENSAYO TRIAXIAL CIU (Según ASTM D4767-04)

Proyecto	CARACTERIZACION GEOTECNICA DE SUELOS - RELAVES
Inf.Ensaye	Nº 1.190.881-A
Orden de Trabajo	28-0000046-17-00
Fecha de Inicio	16/02/2017
Fecha de Término	16/02/2017
Muestra	RELAVE M-622
Probeta	N° 1

Altura Inicial de Confección	[cm]=	10,02
Diámetro Inicial de Confección	[cm]=	4,97
Variación Volumen drenado etapa consolidación	[cm³]=	8,20
Densidad Seca de Confección	[g/cm³]=	1,85
Humedad de Confección	[%]=	6,05
Contrapresión	[kg/cm²]=	4,00
Presión de Cámara	[kg/cm²]=	5,50
Velocidad Deformación Unitaria	[% / min]=	0,13



Deformación Unitaria [%]	Variación P. de Poros [kg/cm²]	p' [kg/cm²]	q [kg/cm²]
0,00	0,00	1,50	0,00
0,13	0,34	1,58	0,42
0,26	0,53	1,49	0,52
0,39	0,67	1,39	0,56
0,51	0,74	1,34	0,58
0,64	0,81	1,27	0,58
0,77	0,85	1,23	0,58
0,90	0,91	1,17	0,58
1,03	0,96	1,11	0,57
1,16	0,97	1,09	0,56
1,29	1,00	1,05	0,55
1,54	1,03	1,01	0,54
1,80	1,08	0,94	0,52
2,06	1,09	0,92	0,51
2,31	1,11	0,89	0,50
2,57	1,13	0,85	0,48
3,09	1,16	0,80	0,46
3,60	1,19	0,75	0,44
4,11	1,20	0,71	0,41
4,63	1,21	0,69	0,40
5,14	1,22	0,67	0,39
6,43	1,25	0,61	0,36
7,71	1,26	0,59	0,35
9,00	1,27	0,55	0,32
10,28	1,28	0,52	0,30
11,57	1,29	0,48	0,27
12,86	1,30	0,47	0,27
15,43	1,31	0,45	0,26
18,00	1,31	0,44	0,25
20,57	1,31	0,43	0,24

Observaciones:

$q = (\sigma'_1-\sigma'_3)/2$
$p' = (\sigma'_1+\sigma'_3)/2$

Ensaye efectuado en probeta REMOLDEADA y ensayada bajo condición saturada

Nota:
La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Ensayos Geomecánicos de IDIEM.
Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.
Plaza Ercilla N°883 / Arturo Prat N°1171, Santiago.

idiem Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales

INFORME ENSAYO TRIAXIAL CIU (Según ASTM D4767-04)

Proyecto	CARACTERIZACION GEOTECNICA DE SUELOS - RELAVES
Inf.Ensaye	Nº 1.190.881-A
Orden de Trabajo	28-0000046-17-00
Fecha de Inicio	14/02/2017
Fecha de Término	14/02/2017
Muestra	RELAVE M-622
Probeta	N° 2

Altura Inicial de Confección	[cm]=	10,02
Diámetro Inicial de Confección	[cm]=	4,97
Variación Volumen drenado etapa consolidación	[cm³]=	10,60
Densidad Seca de Confección	[g/cm³]=	1,85
Humedad de Confección	[%]=	6,05
Contrapresión	[kg/cm²]=	4,00
Presión de Cámara	[kg/cm²]=	7,00
Velocidad Deformación Unitaria	[% / min]=	0,13



Deformación Unitaria [%]	Variación P. de Poros [kg/cm²]	p' [kg/cm²]	q [kg/cm²]
0,00	0,00	3,00	0,00
0,13	0,51	3,14	0,65
0,26	1,05	2,89	0,94
0,39	1,30	2,71	1,01
0,52	1,68	2,39	1,07
0,65	1,76	2,31	1,07
0,77	1,86	2,20	1,06
0,90	1,96	2,09	1,05
1,03	2,04	1,99	1,03
1,16	2,09	1,92	1,01
1,29	2,15	1,84	0,99
1,55	2,21	1,74	0,95
1,81	2,27	1,64	0,91
2,07	2,32	1,55	0,87
2,32	2,36	1,49	0,85
2,58	2,39	1,43	0,82
3,10	2,45	1,34	0,79
3,61	2,46	1,30	0,76
4,13	2,51	1,23	0,74
4,65	2,53	1,19	0,72
5,16	2,55	1,15	0,70
6,45	2,58	1,06	0,64
7,75	2,59	1,02	0,61
9,04	2,59	0,99	0,58
10,33	2,60	0,95	0,55
11,62	2,61	0,92	0,53
12,91	2,63	0,85	0,48
15,49	2,66	0,78	0,44
18,07	2,68	0,73	0,41
20,65	2,70	0,67	0,37

Observaciones:

$q = (\sigma'_1-\sigma'_3)/2$
$p' = (\sigma'_1+\sigma'_3)/2$

Ensaye efectuado en probeta REMOLDEADA y ensayada bajo condición saturada

Nota:
La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Ensayos Geomecánicos de IDIEM.
Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.
Plaza Ercilla N°883 / Arturo Prat N°1171, Santiago.

idiem Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales

INFORME ENSAYO TRIAXIAL CIU (Según ASTM D4767-04)

Proyecto	CARACTERIZACION GEOTECNICA DE SUELOS - RELAVES
Inf.Ensaye	Nº 1.190.881-A
Orden de Trabajo	28-0000046-17-00
Fecha de Inicio	13/02/2017
Fecha de Término	13/02/2017
Muestra	RELAVE M-622
Probeta	N° 3

Altura Inicial de Confección	[cm]=	10,02
Diámetro Inicial de Confección	[cm]=	4,97
Variación Volumen drenado etapa consolidación	[cm³]=	15,10
Densidad Seca de Confección	[g/cm³]=	1,85
Humedad de Confección	[%]=	6,05
Contrapresión	[kg/cm²]=	2,00
Presión de Cámara	[kg/cm²]=	8,00
Velocidad Deformación Unitaria	[% / min]=	0,13



Deformación Unitaria [%]	Variación P. de Poros [kg/cm²]	p' [kg/cm²]	q [kg/cm²]
0,00	0,00	6,00	0,00
0,13	0,60	6,32	0,92
0,26	1,19	6,06	1,25
0,39	1,74	5,75	1,49
0,52	2,20	5,46	1,66
0,65	2,56	5,20	1,76
0,78	2,88	4,96	1,84
0,91	3,12	4,77	1,89
1,04	3,31	4,60	1,91
1,17	3,49	4,44	1,93
1,30	3,63	4,31	1,94
1,56	3,87	4,08	1,95
1,82	4,05	3,90	1,95
2,08	4,20	3,74	1,94
2,34	4,28	3,65	1,93
2,60	4,37	3,54	1,91
3,12	4,50	3,38	1,88
3,64	4,58	3,27	1,85
4,16	4,64	3,18	1,82
4,68	4,70	3,10	1,80
5,20	4,75	3,02	1,77
6,51	4,81	2,90	1,71
7,81	4,83	2,85	1,68
9,11	4,87	2,79	1,66
10,41	4,86	2,78	1,64
11,71	4,87	2,74	1,61
13,01	4,86	2,74	1,60
15,61	4,88	2,65	1,53
18,22	4,88	2,60	1,48
20,82	4,88	2,55	1,43

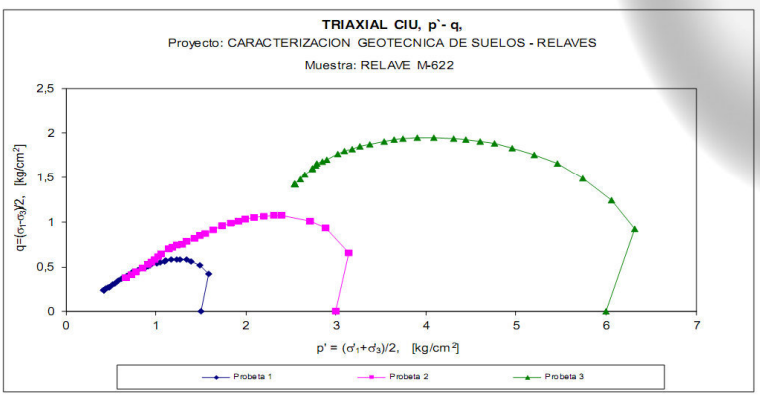
Observaciones:

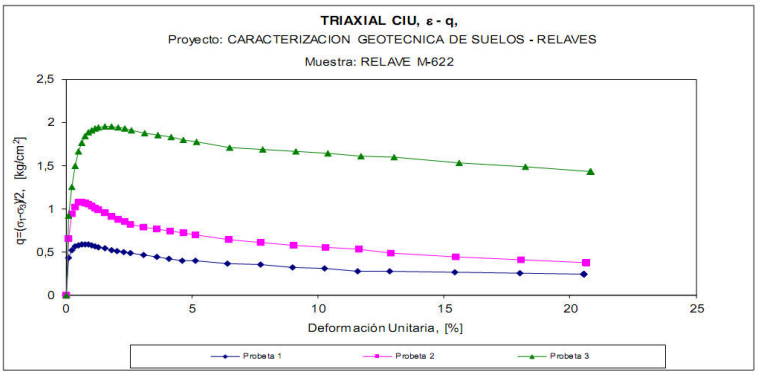
$q = (\sigma'_1-\sigma'_3)/2$
$p' = (\sigma'_1+\sigma'_3)/2$

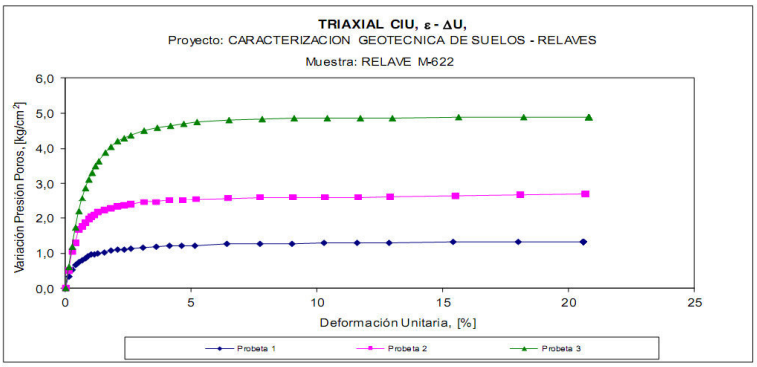
Ensaye efectuado en probeta REMOLDEADA y ensayada bajo condición saturada

Nota:
La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Ensayos Geomecánicos de IDIEM.
Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.
Plaza Ercilla Nº883 / Arturo Prat Nº1171, Santiago.

idiem Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales







Nota:
La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Ensayos Geomecánicos de IDIEM.
Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.
Plaza Ercilla N°883 / Arturo Prat N°1171, Santiago.

Informe N° 1.190.881-A CARACTERIZACION GEOTECNICA DE SUELOS - RELAVES

idiem Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales

INFORME ENSAYO TRIAXIAL CIU (Según ASTM D4767-04)

Proyecto	CARACTERIZACION GEOTECNICA DE SUELOS - RELAVES
Inf.Ensaye	Nº 1.190.881-A
Orden de Trabajo	28-0000046-17-00
Fecha de Inicio	16/02/2017
Fecha de Término	16/02/2017
Muestra	COMUN (SUELO 1 C3:C4 M-623; SUELO 2 C6:C7 M-624)
Probeta	N° 1

Altura Inicial de Confección	[cm]=	19,94
Diámetro Inicial de Confección	[cm]=	10,23
Variación Volumen drenado etapa consolidación	[cm³]=	42,30
Densidad Seca de Confección	[g/cm³]=	1,86
Humedad de Confección	[%]=	7,69
Contrapresión	[kg/cm²]=	4,00
Presión de Cámara	[kg/cm²]=	6,00
Velocidad Deformación Unitaria	[% / min]=	0,13



Observaciones:

$q = (\sigma'_1-\sigma'_3)/2$
$p' = (\sigma'_1+\sigma'_3)/2$

Ensaye efectuado en probeta REMOLDEADA yensayada bajo condición saturada

Deformación Unitaria [%]	Variación P. de Poros [kg/cm²]	p' [kg/cm²]	q [kg/cm²]
0,00	0,00	2,00	0,00
0,06	0,34	1,95	0,29
0,13	0,49	1,89	0,38
0,19	0,65	1,81	0,46
0,26	0,77	1,75	0,52
0,32	0,88	1,68	0,56
0,39	0,95	1,64	0,59
0,45	1,01	1,60	0,61
0,51	1,06	1,57	0,63
0,58	1,10	1,54	0,64
0,64	1,13	1,53	0,66
0,77	1,15	1,52	0,67
0,90	1,23	1,46	0,69
1,03	1,27	1,43	0,70
1,16	1,29	1,42	0,71
1,28	1,32	1,41	0,73
1,54	1,35	1,40	0,75
1,80	1,37	1,38	0,75
2,06	1,39	1,37	0,76
2,31	1,41	1,35	0,76
2,57	1,42	1,34	0,76
3,21	1,45	1,28	0,73
3,85	1,48	1,23	0,71
4,50	1,50	1,19	0,69
5,14	1,52	1,15	0,67
5,78	1,54	1,11	0,65
6,42	1,55	1,09	0,64
7,71	1,58	0,99	0,57
8,99	1,61	0,93	0,54
10,28	1,63	0,87	0,50
11,56	1,64	0,83	0,47
12,85	1,66	0,79	0,45
14,13	1,68	0,72	0,40
15,42	1,70	0,68	0,38
16,70	1,72	0,65	0,37
17,99	1,73	0,62	0,35
19,27	1,75	0,59	0,34
20,56	1,76	0,58	0,34

Nota:
La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Ensayos Geomecánicos de IDIEM.
Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.
Plaza Ercilla Nº883 / Arturo Prat Nº1171, Santiago.

idiem Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales

INFORME ENSAYO TRIAXIAL CIU (Según ASTM D4767-04)

Proyecto	CARACTERIZACION GEOTECNICA DE SUELOS - RELAVES
Inf.Ensaye	Nº 1.190.881-A
Orden de Trabajo	28-0000046-17-00
Fecha de Inicio	15/02/2017
Fecha de Término	15/02/2017
Muestra	COMUN (SUELO 1 C3:C4 M-623; SUELO 2 C6:C7 M-624)
Probeta	N° 2

Altura Inicial de Confección	[cm]=	19,94
Diámetro Inicial de Confección	[cm]=	10,23
Variación Volumen drenado etapa consolidación	[cm³]=	48,50
Densidad Seca de Confección	[g/cm³]=	1,86
Humedad de Confección	[%]=	7,69
Contrapresión	[kg/cm²]=	3,00
Presión de Cámara	[kg/cm²]=	7,00
Velocidad Deformación Unitaria	[% / min]=	0,13



Deformación Unitaria [%]	Variación P. de Poros [kg/cm²]	p' [kg/cm²]	q [kg/cm²]
0,00	0,00	4,00	0,00
0,06	0,49	3,97	0,46
0,13	0,75	3,86	0,61
0,19	1,00	3,77	0,77
0,26	1,30	3,65	0,95
0,32	1,53	3,55	1,08
0,39	1,70	3,47	1,17
0,45	1,86	3,39	1,25
0,51	2,03	3,27	1,30
0,58	2,12	3,22	1,34
0,64	2,23	3,15	1,38
0,77	2,37	3,05	1,42
0,90	2,47	2,98	1,45
1,03	2,57	2,90	1,47
1,16	2,64	2,83	1,47
1,29	2,69	2,79	1,48
1,54	2,79	2,67	1,46
1,80	2,86	2,53	1,39
2,06	2,93	2,40	1,33
2,32	2,96	2,32	1,28
2,57	3,00	2,23	1,23
3,22	3,10	2,07	1,17
3,86	3,16	1,95	1,11
4,50	3,22	1,84	1,06
5,15	3,27	1,70	0,97
5,79	3,33	1,57	0,90
6,43	3,35	1,50	0,85
7,72	3,41	1,38	0,79
9,01	3,47	1,20	0,67
10,29	3,50	1,11	0,61
11,58	3,55	1,01	0,56
12,87	3,58	0,95	0,53
14,15	3,60	0,90	0,50
15,44	3,63	0,83	0,46
16,72	3,65	0,79	0,44
18,01	3,67	0,75	0,42
19,30	3,70	0,71	0,41
20,58	3,71	0,68	0,39

Observaciones:

$q = (\sigma'_1-\sigma'_3)/2$
$p' = (\sigma'_1+\sigma'_3)/2$

Ensaye efectuado en probeta REMOLDEADA yensayada bajo condición saturada

Nota:
La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Ensayos Geomecánicos de IDIEM.
Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.
Plaza Ercilla Nº883 / Arturo Prat Nº1171, Santiago.

idiem Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales

INFORME ENSAYO TRIAXIAL CIU (Según ASTM D4767-04)

Proyecto	CARACTERIZACION GEOTECNICA DE SUELOS - RELAVES
Inf.Ensaye	Nº 1.190.881-A
Orden de Trabajo	28-0000046-17-00
Fecha de Inicio	16/02/2017
Fecha de Término	16/02/2017
Muestra	COMUN (SUELO 1 C3:C4 M-623; SUELO 2 C6:C7 M-624)
Probeta	N° 3

Altura Inicial de Confección	[cm]=	19,94
Diámetro Inicial de Confección	[cm]=	10,23
Variación Volumen drenado etapa consolidación	[cm³]=	67,20
Densidad Seca de Confección	[g/cm³]=	1,86
Humedad de Confección	[%]=	7,69
Contrapresión	[kg/cm²]=	2,00
Presión de Cámara	[kg/cm²]=	8,00
Velocidad Deformación Unitaria	[% / min]=	0,13



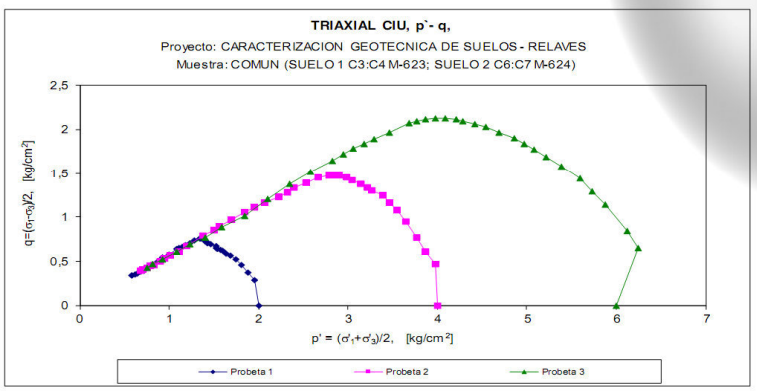
Deformación Unitaria [%]	Variación P. de Poros [kg/cm²]	p' [kg/cm²]	q [kg/cm²]
0,00	0,00	6,00	0,00
0,06	0,41	6,25	0,66
0,13	0,73	6,12	0,85
0,19	1,27	5,88	1,15
0,26	1,57	5,73	1,30
0,32	1,85	5,60	1,45
0,39	2,20	5,39	1,59
0,45	2,47	5,22	1,69
0,52	2,69	5,08	1,77
0,58	2,87	4,97	1,84
0,65	3,04	4,86	1,90
0,77	3,27	4,69	1,96
0,90	3,49	4,54	2,03
1,03	3,65	4,41	2,06
1,16	3,81	4,29	2,10
1,29	3,90	4,21	2,11
1,55	4,04	4,09	2,13
1,81	4,15	3,98	2,13
2,07	4,25	3,87	2,12
2,32	4,33	3,77	2,10
2,58	4,39	3,68	2,07
3,23	4,51	3,46	1,97
3,87	4,60	3,29	1,89
4,52	4,66	3,18	1,84
5,17	4,72	3,06	1,78
5,81	4,77	2,95	1,72
6,46	4,82	2,83	1,65
7,75	4,93	2,58	1,51
9,04	5,03	2,35	1,38
10,33	5,10	2,11	1,21
11,62	5,18	1,84	1,02
12,91	5,29	1,59	0,88
14,21	5,37	1,40	0,77
15,50	5,46	1,23	0,69
16,79	5,52	1,09	0,61
18,08	5,59	0,93	0,52
19,37	5,65	0,82	0,47
20,66	5,68	0,75	0,43

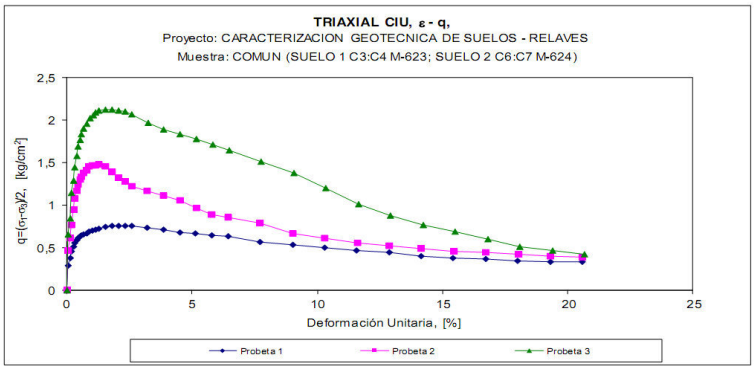
Observaciones:

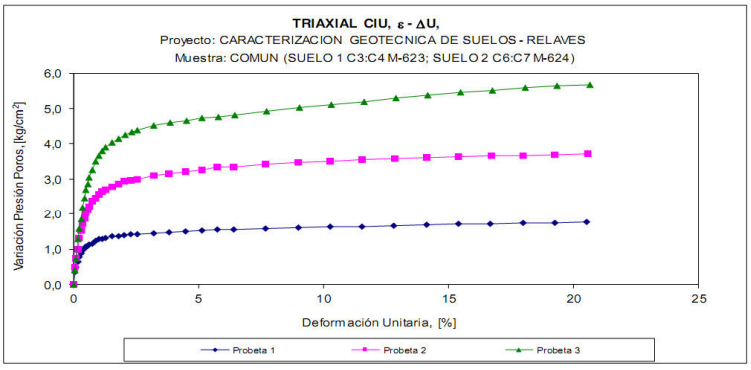
$q = (\sigma'_1-\sigma'_3)/2$
$p' = (\sigma'_1+\sigma'_3)/2$

Ensaye efectuado en probeta REMOLDEADA yensayada bajo condición saturada

Nota:
La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Ensayos Geomecánicos de IDIEM.
Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.
Plaza Ercilla N°883 / Arturo Prat N°1171, Santiago.
Informe N° 1.190.881-A CARACTERIZACION GEOTECNICA DE SUELOS - RELAVES







Nota:
La reproducción parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de la Sección Ensayos Geomecánicos de IDIEM.
Los resultados son aplicables sólo a las muestras ensayadas.
Plaza Ercilla N°883 / Arturo Prat N°1171, Santiago.

Informe N° 1.190.881-A CARACTERIZACION GEOTECNICA DE SUELOS - RELAVES

ANEXO B: ANÁLISIS ENSAYO TRIAXIAL

De los ensayos de laboratorio (ver ANEXO A) se desprenden dos gráficos con curvas q vs p, los cuales se analizan gráficamente para obtener los valores de la cohesión y del ángulo de fricción interna.

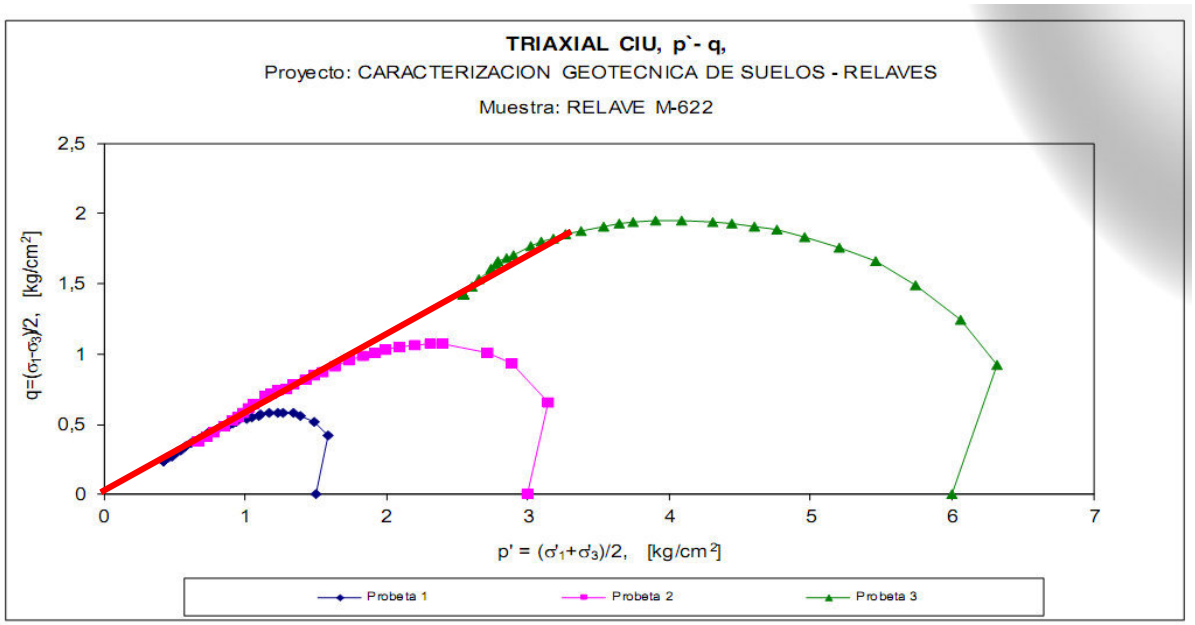
Se dibuja una recta tangente a las curvas, uniendo las tensiones residuales (más desfavorable), tal como se aprecia en las figuras siguientes y se observa el punto donde corta la ordenada (cohesión) y la pendiente de la recta trazada. Así mediante cambio de variables:

$$\sin \emptyset = \tan a$$

Donde:
$\emptyset$: ángulo de fricción interna.
a: ángulo de recta trazada.

Entonces:

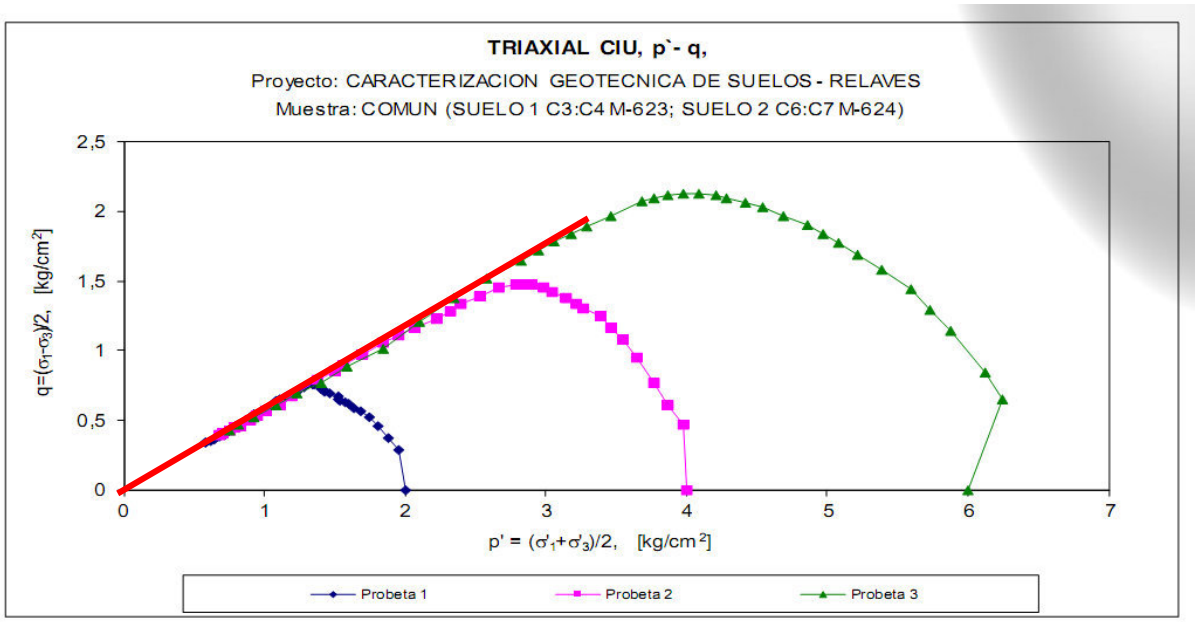
Para muestras de relave M-622:



Se tiene:

Parámetro	Valor
Cohesión [tof/cm²]	**0**
Ángulo de fricción interna [º]	**30**

Para muestras de suelo:



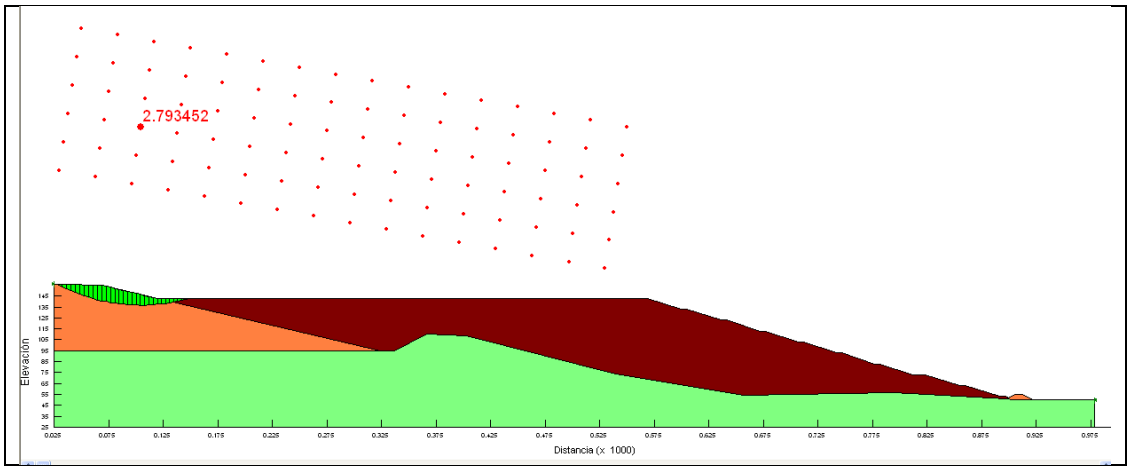
Se tiene:

Parámetro	Valor
Cohesión [tof/cm^2]	0
Ángulo de fricción interna [º]	36

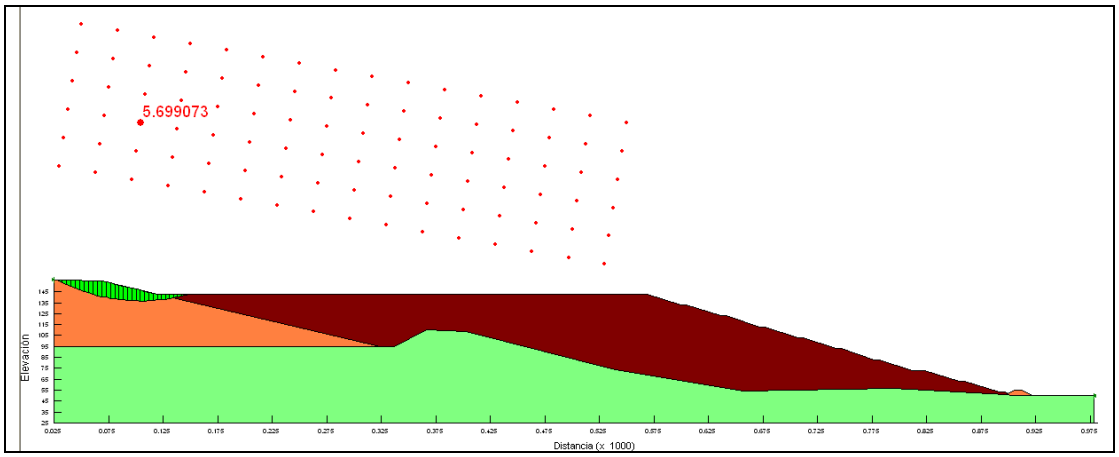
ANEXO C: SUPERFICIES DE FALLA PROBABLES PARA EL CIERRE

Corte A. Sector Muro. Dirección de falla de izquierda a derecha

Análisis seudo-estático

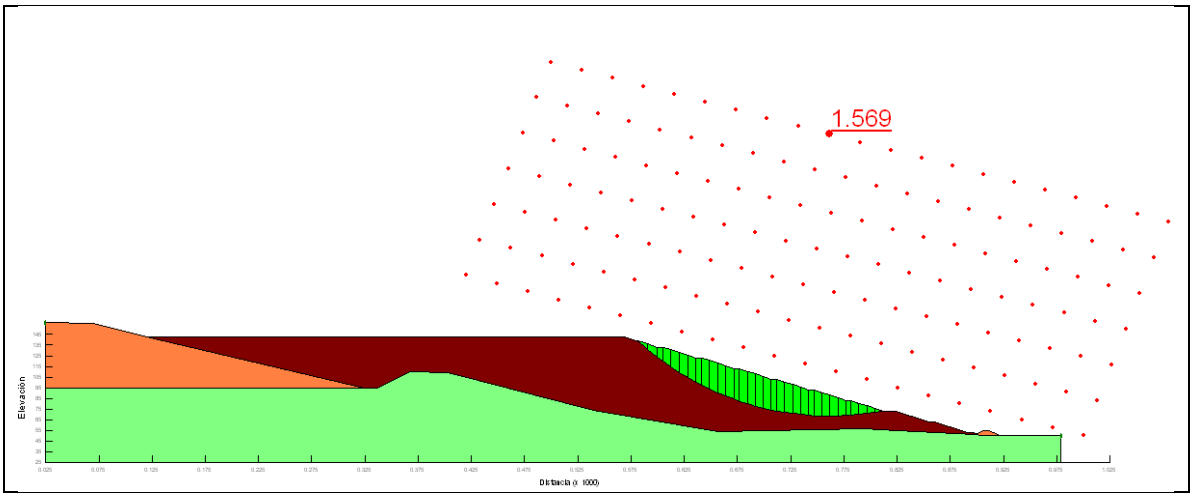


Análisis estático

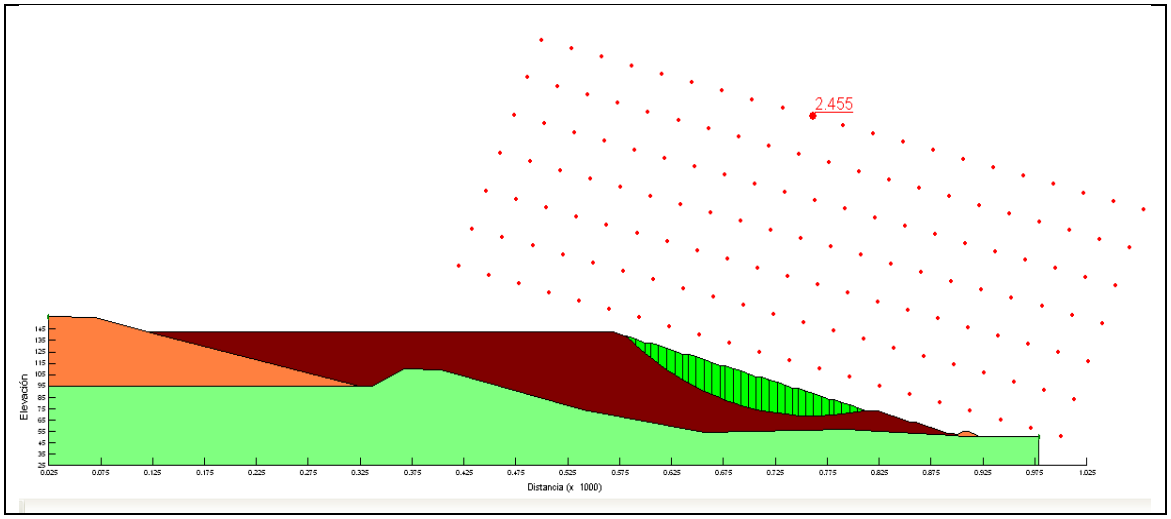


Corte A. Sector Acopio. Dirección de falla de izquierda a derecha

Análisis seudo-estático

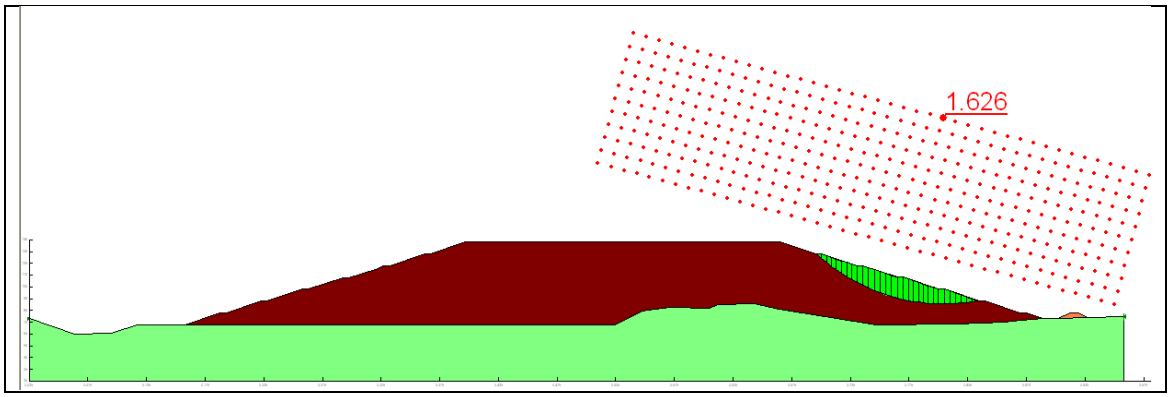


Análisis estático

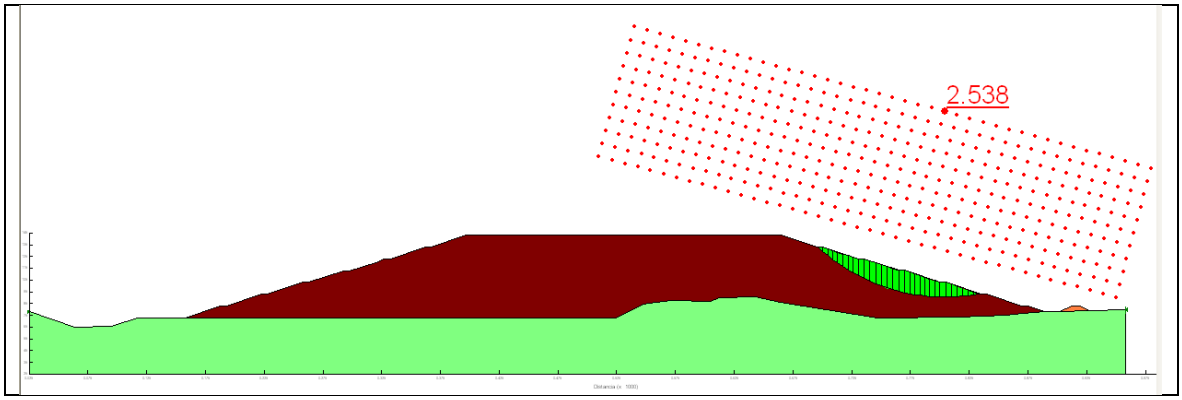


Corte B. Sector Acopio. Dirección de falla de izquierda a derecha

Análisis seudo-estático

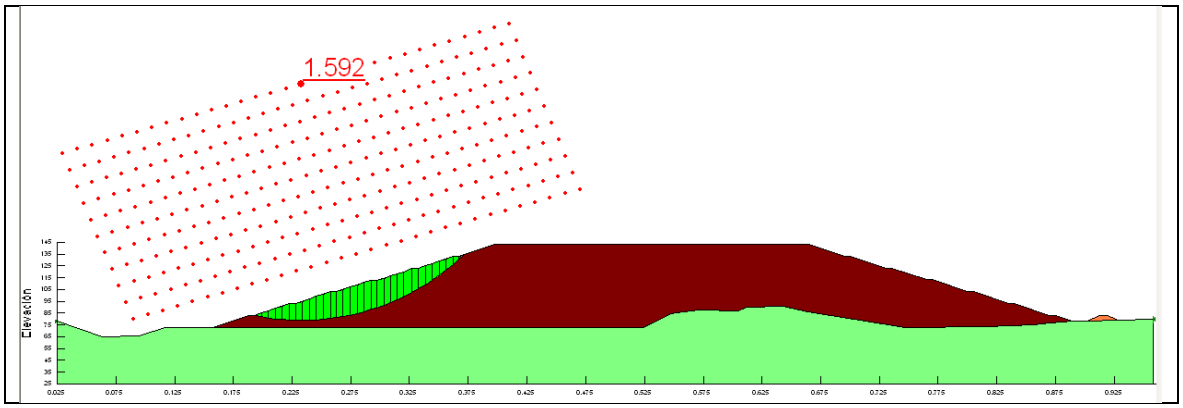


Análisis estático

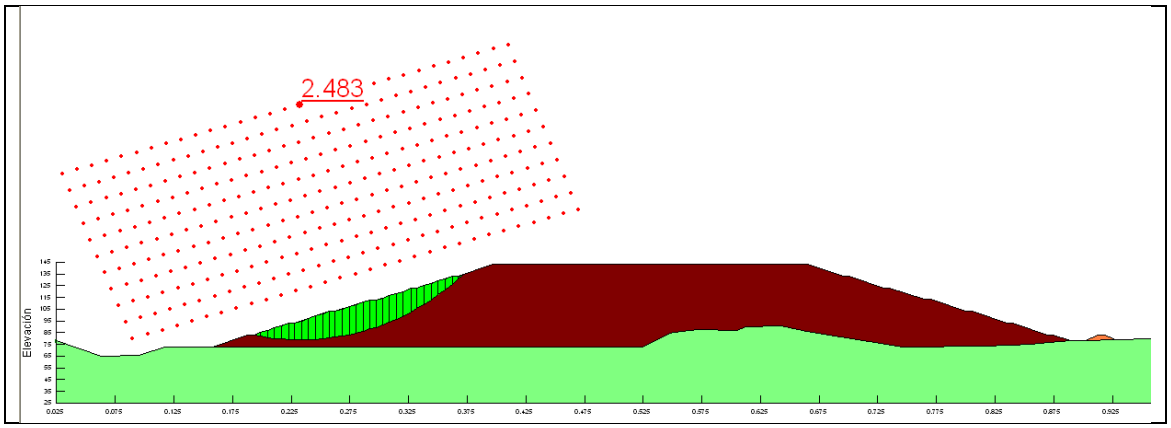


Corte B. Sector Acopio. Dirección de falla de izquierda a derecha

Análisis seudo-estático



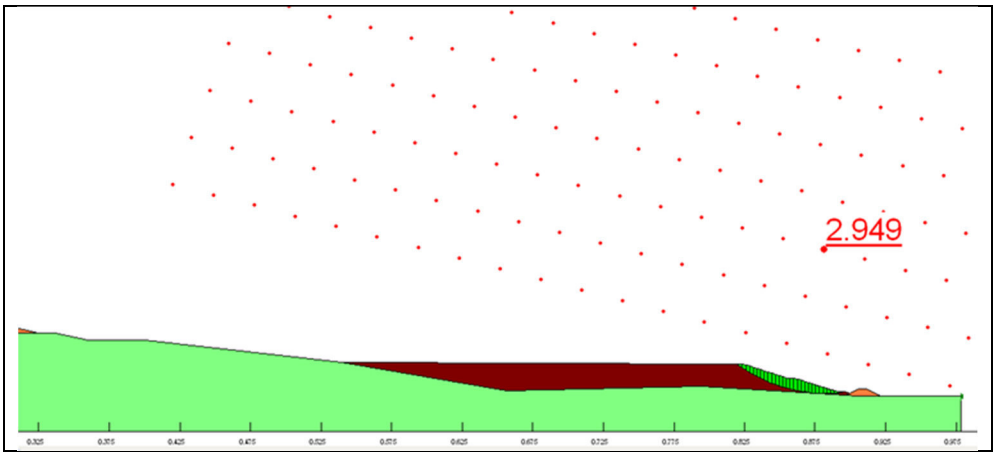
Análisis estático



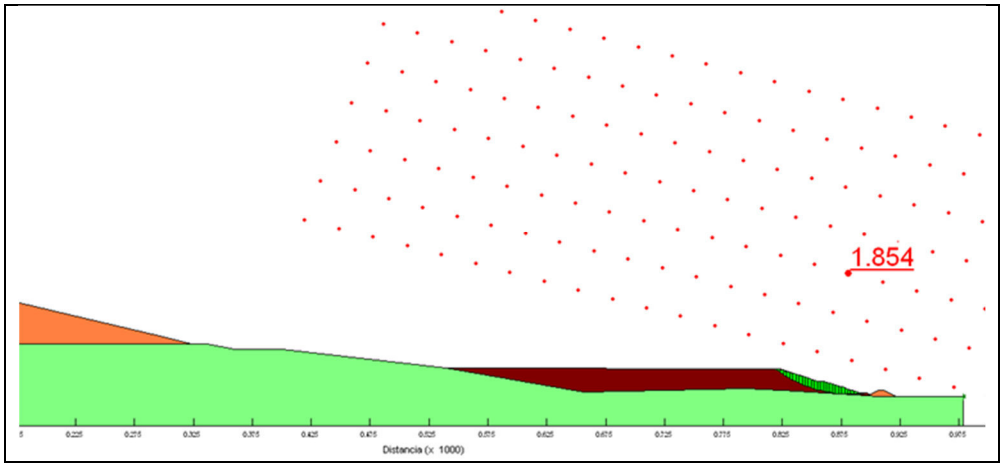
ANEXO D: SUPERFICIES DE FALLA PROBABLES PARA OPERACIÓN

Terraza Nº2: 4 años de operación

Análisis estático

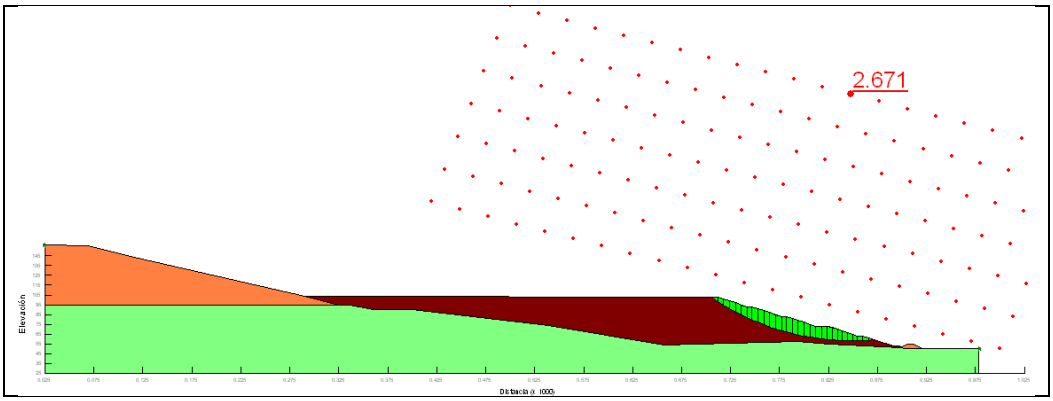


Análisis seudo-estático

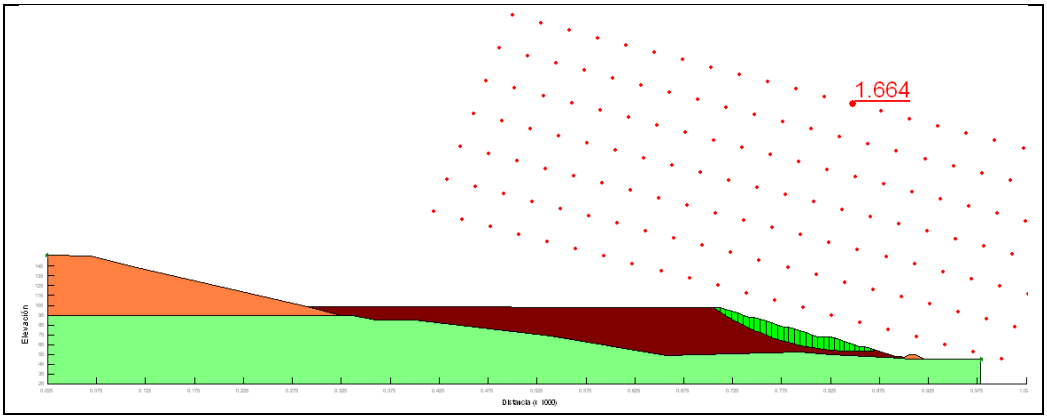


Terraza Nº5: 11 años de operación

Análisis estático

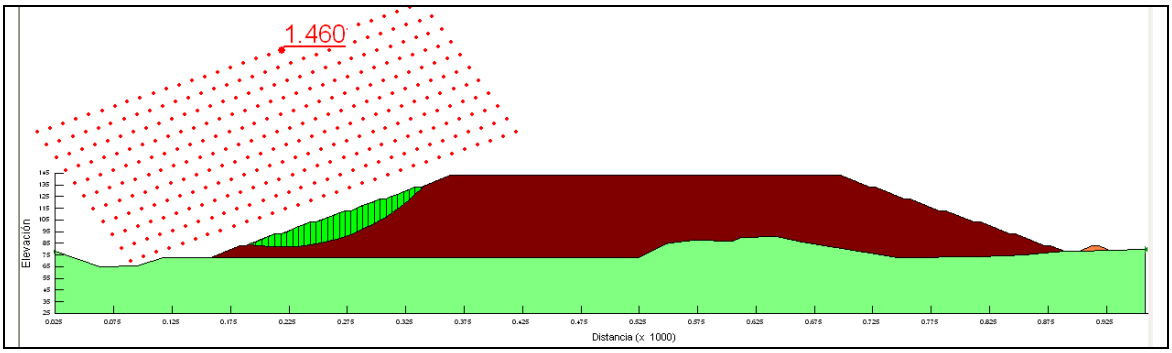


Análisis seudo-estático

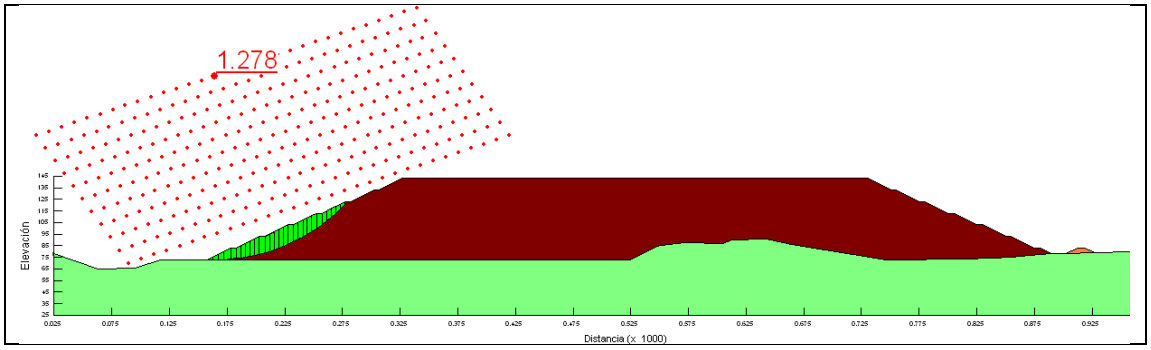


ANEXO E: ANÁLISIS SEUDO-ESTÁTICO PARA DISTINTOS TALUDES

Análisis seudo-estático talud H:V = 2,5:1



Análisis seudo-estático talud H:V = 2:1

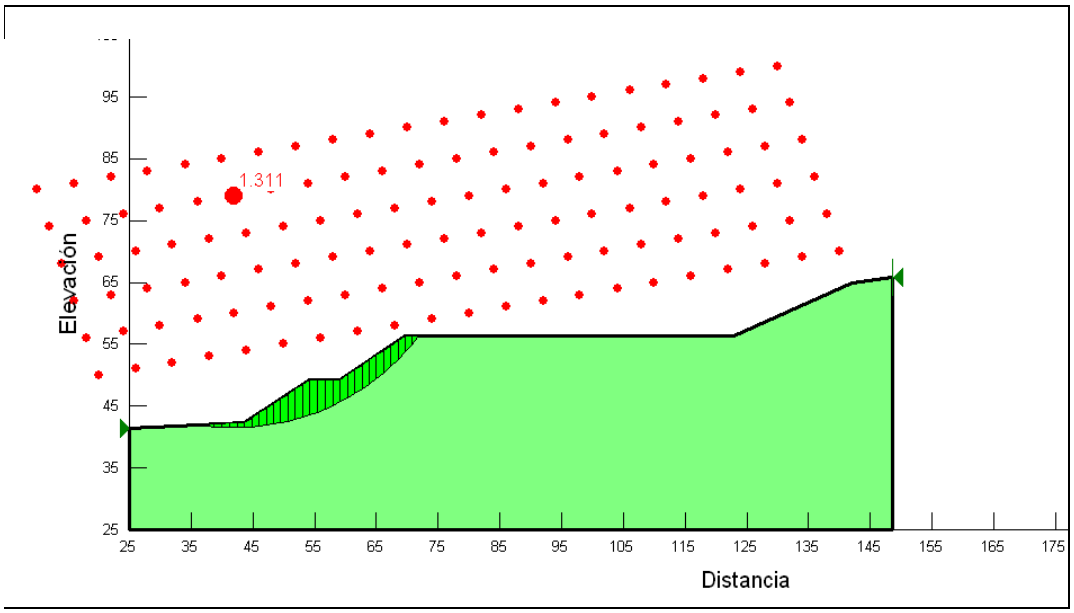


ANEXO F: ANÁLISIS DE DEFORMACIÓN

DATOS DE ENTRADA			
Altura	h	80	m
Profundidad Cuña Deslizamiento	y	80	m
Aceleración de Fluencia	k_y	5,10	g
Velocidad Máxima de Ondas de Corte	Vs_{max}	250	m/s
Magnitud Sismo	M	8,25	
Aceleración Máxima	a_{max}	0,52	g
Espectro de Seudo-aceleraciones	Sa	Suelo Tipo III	
Curvas de Rigidez y de Amortiguamiento		Arenas. Seed & Idriss (1970)	
Deformación de Corte Promedio	γ_M	0,237	%
CALCULOS			
Velocidad de Ondas de Corte	Vs	112	m/s
Amortiguamiento Promedio	D_M	19	%
Frecuencia de 1er Modo de Oscilación	ω_1	3,4	rad/s
Frecuencia de 2º Modo de Oscilación	ω_2	7,7	rad/s
Frecuencia de 3er Modo de Oscilación	ω_3	12,1	rad/s
Período de 1er Modo de Oscilación	T_1	1,87	s
Período de 2º Modo de Oscilación	T_2	0,81	s
Período de 3er Modo de Oscilación	T_3	0,52	s
Espectro Seudo-Aceleración 1er Modo de Oscilación	Sa_1	0,19	g
Espectro Seudo-Aceleración 2º Modo de Oscilación	Sa_2	0,75	g
Espectro Seudo-Aceleración 3er Modo de Oscilación	Sa_3	0,85	g
Aceleración Máxima 1er Modo de Oscilación	$\ddot{u}_{1\,max}$	0,31	g
Aceleración Máxima 2º Modo de Oscilación	$\ddot{u}_{2\,max}$	0,79	g
Aceleración Máxima 3er Modo de Oscilación	$\ddot{u}_{3\,max}$	0,73	g
Aceleración Máxima Promedio en Coronamiento	$\ddot{u}_{max}$	1,12	g
Deformación de Corte Promedio Equivalente	$\gamma_{M\,eq}$	**0,237**	%
k_{max} (Línea promedio)		0,40	g
k_{max} (Línea máxima)		0,54	g
ky / k_{max} (Línea promedio)		12,71	
ky / k_{max} (Línea máxima)		9,43	
RESULTADOS			
Deformación Sísmica Promedio	Ux_M	0,64	cm
Deformación Sísmica Máxima	Ux_{max}	0,86	cm

ANEXO G: ANÁLISIS BOTADERO DE MATERIAL EXCAVACIONES

Análisis seudo-estático



Análisis estático

