

EN LO PRINCIPAL: Acompaña Documento; **OTROSI:** Solicitud que indica.

SEÑORA

**SECRETARIA REGIONAL MINISTERIAL DE SALUD
REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO**



Rodrigo Pardo Feres, en representación, de **KDM S.A.** de (en adelante KDM), Rut N° 96.754.450-K, ambos domiciliados en Alcalde Guzmán N°0180, comuna de Quilicura, en **Sumario Sanitario Expediente N° 4595/2018**, a la Señora Secretaria Regional Ministerial de Salud de la Región Metropolitana respetuosamente digo:

Que por este acto vengo en solicitar se tenga por presentado el documento denominado "*Análisis de Estabilidad de Taludes Con/Sin Codisposición de Lodos, Relleno Sanitario Lomas Los Colorados*" elaborado por la empresa consultora V&S Minería-Geotecnia.

El documento indicado viene a complementar nuestras presentaciones realizadas con fecha 17 de diciembre de 2018, 7 de enero, 1 y 19 de febrero todos de 2019.

POR TANTO; y conforme a lo antes indicado,

A LA SEÑORA SEREMI DE SALUD DE LA REGIÓN METROPOLITANA, SE SOLICITA: Tener por presentado el informe ya individualizado.

OTROSI: Teniendo en consideración que mi representada con fecha 19 de febrero recién pasado ingresó a esta SEREMI de salud informes que dan cuenta del termino de los trabajos de recuperación de la Piscina P3, sumado al informe que se adjunta a esta presentación, el cual concluye que el Relleno Sanitario Loma Los Colorados exhibe una buena condición de estabilidad para realizar co-disposición de lodos, se solicita el alzamiento de las medidas sanitarias dispuestas en la Resolución Exenta




N°8208 de fecha 26 de noviembre de 2018, mediante la cual esta Autoridad dispuso la prohibición de recepción de cualquier tipo de lodos y el uso exclusivo de la piscina P3 para el almacenamiento de la producción total de lixiviados producidos en el Relleno Sanitario Loma Los Colorados.

Rodrigo Pardo Feres

Gerente General



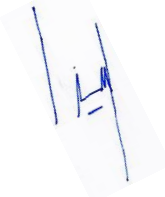
KDM S.A.

V&S Minería-Geotecnia	Análisis de Estabilidad de Taludes Con/Sin Codisposición de Lodos, Relleno Sanitario Lomas Los Colorados	
-------------------------------------	---	---

CODIGO DE PROYECTO	V&S-1046-2019
---------------------------	--------------------------

TITULO DEL DOCUMENTO	“ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES CON/SIN CODISPOSICION DE LODOS, RELLENO SANITARIO LOMA LOS COLORADOS”
-----------------------------	--





Desarrollado por	Firma	Cargo
José F. Rojas S.		Ingeniero de Proyectos V&S Minería - Geotecnia
Mario H. Vidal A.		Ing. Geotécnico Senior V&S Minería - Geotecnia
Validado por	Firma	Cargo
Mario Vidal A.		Gerente General V&S Minería - Geotecnia

Versión 1
21 DE FEBRERO 2019

CONTENIDO

1. INTRODUCCION.....	1
2. OBJETIVO DEL ANALISIS DE ESTABILIDAD.	1
3. PROGRAMA DE TRABAJO REALIZADO.....	3
3.1 RECOPIACION Y ANALISIS DE ANTECEDENTES.....	3
3.2 CARACTERIZACION GEOTECNICA RELLENO SANITARIO.....	3
3.3 ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.	4
3.4 ELABORACION DE INFORME GEOTECNICO FINAL.....	4
4. ANTECEDENTES GENERALES.....	5
4.1 UBICACION.....	5
4.2 CARACTERISTICAS DEL RELLENO SANITARIO.....	5
4.3 ASPECTOS GEOTECNICOS EN LA ESTABILIDAD DEL RELLENO.	6
5. CARACTERIZACION GEOTECNICA.....	8
6. ASPECTOS DE SISMICIDAD Y PELIGRO SISMICO.....	10
6.1 INTRODUCCION.	10
6.2 CONCEPTO DE PELIGRO SISMICO.	10
6.3 COEFICIENTE DE ACELERACION SISMICA.....	10
7. NIVEL FREATICO EN EL RELLENO.....	13
8. METODO DE ANALISIS DE ESTABILIDAD.....	15
8.1 INTRODUCCION.	15
8.2 METODO DE ANALISIS DE ESTABILIDAD.	15
8.3 PROCEDIMIENTO DE ANALISIS DE ESTABILIDAD.....	17
9. RECOMENDACIONES PARA MEJORAR ESTABILIDAD DEL RELLENO A CORTO PLAZO.	19
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	25
11. REFERENCIAS & BIBLIOGRAFIA.	28
12. ANEXO FIGURAS.....	31
13. ANEXO GRAFICOS DE RESULTADOS: SIN CO-DISPOSICION.	36
14. ANEXO GRAFICOS DE RESULTADOS: CON CO-DISPOSICION.	42

	<p align="center">Análisis de Estabilidad de Taludes Con/Sin Codisposición de Lodos, Relleno Sanitario Lomas Los Colorados</p>	
---	---	---

1. INTRODUCCION.

El presente documento corresponde al Informe Geotécnico final relativo al análisis de estabilidad de taludes del Relleno Sanitario Loma Los Colorados (RS LLC) con y sin co-disposición de lodos, de acuerdo con la estrategia de depositación que KDM Tratamiento S.A. ha planificado sólo para el año 2019, y las medidas propuestas por V&S en un Plan de Mejoras de la Estabilidad del Relleno Sanitario Loma Los Colorados que KDM opera desde Marzo del año 1996.

El Relleno Sanitario Loma Los Colorados (RSLLC) ha sido diseñado y construido para recibir los residuos sólidos urbanos de diversos municipios de la Región Metropolitana, y algunos de origen industrial asimilables a residuos urbanos, como los biosólidos, que son lodos derivados de plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS).

El Relleno Sanitario Loma Los Colorados está ubicado en la Comuna de Til Til, en la Provincia de Chacabuco, fuera del área urbana (Plan Regulador Intercomunal Vigente), a más de 2.100 metros al Este de la localidad rural de Montenegro, en el km. 63.5 de la Ruta 5 Norte.

2. OBJETIVO DEL ANALISIS DE ESTABILIDAD.



Tal como se ha indicado, el objetivo esencial de este análisis consiste en una evaluación de la estabilidad física de los taludes del RS Loma Los Colorados en la situación con co-disposición de lodos, comparándola con la situación sin co-disposición de lodos, de acuerdo con la estrategia de depositación que KDM Tratamiento S.A. ha planificado en forma temporal sólo para el año 2019.

Además, se consideró la estimación de las propiedades geotécnicas mediante una revisión de data internacional y chilena en la literatura técnica especializada, y la propia experiencia del RS LLC en diversos estudios de estabilidad previos, así como la emisión de recomendaciones de medidas a corto plazo, ejemplificándolas en la denominada Fase 4 (ver figura 1), la cual corresponderá a la primera etapa de llenado basada en las recomendaciones del presente informe.

En la Figura 1 se indica la Fase 4 de llenado con co-disposición de lodos, situada en el extremo Sur del Relleno Sanitario.



Figura 1: Zona de la Fase 4 para Nivelación a 890 msnm.

	<p align="center">Análisis de Estabilidad de Taludes Con/Sin Codisposición de Lodos, Relleno Sanitario Lomas Los Colorados</p>	
---	---	---

3. PROGRAMA DE TRABAJO REALIZADO.

El programa de trabajo realizado por V&S para el análisis de la estabilidad física de los taludes del Relleno Sanitario con el objetivo anteriormente indicado, comprendió lo siguiente.

- Recopilación y análisis de antecedentes técnicos y geotécnicos.
- Caracterización geotécnica del material del Relleno Sanitario sin y con co-disposición.
- Análisis de la estabilidad de taludes con un nivel freático en el Relleno.
- Recomendaciones de medidas para mejorar la estabilidad del Relleno.
- Elaboración del informe geotécnico final de resultados.

A continuación, se indican las actividades realizadas en las etapas antes indicadas.

3.1 RECOPIACION Y ANALISIS DE ANTECEDENTES.

Esta etapa consideró una visita técnica a las oficinas de KDM del Ingeniero Geotécnico Senior de V&S responsable del estudio, Sr. Mario Vidal A., con el siguiente objetivo.



- Revisión de la información técnica disponible respecto de las características del proceso de co-disposición de lodos, y el comportamiento-distribución del lixiviado dentro el Relleno Sanitario.

Además, V&S obtuvo información desde su Base de Datos Geotécnicos y desde diversas fuentes técnicas especializadas, toda la cual es identificada en el Capítulo 10 relativo a las Referencias y Bibliografía del presente informe.

3.2 CARACTERIZACION GEOTECNICA RELLENO SANITARIO.

En base a toda la información disponible se procedió a la caracterización geotécnica del material del Relleno y los perfiles de análisis de estabilidad, y esta comprendió lo siguiente.

- Revisión del probable peligro sísmico en el área del RS LLC (Montenegro).
- Revisión del comportamiento del Relleno sin y con co-disposición de lodos.
- Caracterización geotécnica de los materiales antes indicados (Relleno-Lodos).
- Selección de secciones típicas (perfiles) para el análisis de estabilidad de taludes.
- Caracterización más probable de la distribución de los lixiviados dentro del Relleno.
- Generación del modelo geotécnico de secciones de análisis de estabilidad de taludes.

	<p align="center">Análisis de Estabilidad de Taludes Con/Sin Codisposición de Lodos, Relleno Sanitario Lomas Los Colorados</p>	
---	---	---

3.3 ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.

En esta etapa se efectuó el análisis de estabilidad estática y sísmica de los taludes del Relleno en base a su geometría, parámetros geotécnicos, condición sísmica, y los perfiles para el análisis de estabilidad seleccionados para tal efecto, y la inclusión de un nivel freático en los taludes.

El análisis de la estabilidad sísmica de los taludes se realizó mediante la tradicional formulación pseudo-dinámica, la cual postula que el efecto dinámico de un evento sísmico puede asimilarse a una fuerza inercial estática que actúa en contra de la estabilidad del talud, la que se considera lo suficientemente adecuada para la situación bajo análisis.



Dada las características de los residuos que forman los rellenos sanitarios respecto a su probable modo de falla, para el análisis de estabilidad se utilizó el software geotécnico de última generación Slide basado en la técnica de equilibrio límite bidimensional determinístico con diversos métodos de cálculo de la estabilidad de taludes, tales como: A. W. Bishop, N. Janbu, E. Spencer y USACE (U.S. Army Corp of Engineers) entre otros métodos (Ref. 30).

3.4 ELABORACION DE INFORME GEOTECNICO FINAL.

En esta etapa final se elaboró el presente Informe Geotécnico con los resultados del análisis de estabilidad de taludes del Relleno Sanitario anteriormente indicado, que incluye: los antecedentes geotécnicos utilizados; la caracterización geotécnica del Relleno, el análisis de estabilidad y sus resultados, un resumen con las conclusiones y recomendaciones pertinentes para mejorar la estabilidad global de los taludes del Relleno en el tiempo.

Es preciso destacar que, si bien los residuos sólidos urbanos no son un material que presente las típicas características de un material geotécnico estándar, la evaluación de la estabilidad de sus taludes se realiza en el ámbito nacional e internacional en base a los principios, procedimientos, técnicas y herramientas que son propios del ámbito de la mecánica de suelos y la geotecnia, lo cual, no le resta en absoluto validez a sus resultados (ver Referencias y Bibliografía).

Como se ha mencionado, entre la vasta y exitosa experiencia de V&S relacionada con estudios de estabilidad de rellenos sanitarios urbanos, destacan: Loma Los Colorados, Los Ríos de Valdivia, El Retamo de Talca, El Guanaco de Teno, Laguna Verde de Los Angeles, y el Centro de Manejo Integral de Residuos Zona Norte de Antofagasta, entre otros de menor envergadura.

	<p align="center">Análisis de Estabilidad de Taludes Con/Sin Codisposición de Lodos, Relleno Sanitario Lomas Los Colorados</p>	
---	---	---

4. ANTECEDENTES GENERALES.

4.1 UBICACION.

El Relleno Sanitario Loma Los Colorados se encuentra situado en el kilómetro 63.5 de la Carretera Panamericana Norte, Provincia de Chacabuco, Comuna de Til Til, Región Metropolitana, y ha sido diseñado y construido para recibir residuos sólidos urbanos de diversos municipios de la Región Metropolitana, y algunos de origen industrial asimilables, como es el caso de los biosólidos (lodos provenientes de plantas de aguas servidas, PTAS) que maneja desde el año 2004.

4.2 CARACTERISTICAS DEL RELLENO SANITARIO.

Este Relleno Sanitario empezó a operar en Marzo de 1996 junto con la estación de transferencia situada en la Comuna de Quilicura, en el que se han dispuesto unos 38 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos y asimilables a una tasa media diaria de 6.500 toneladas.



El Relleno tiene una capacidad global de 100 millones de toneladas, en un área de 210 Há y una altura máxima de 140 m., y está fundado a 4 m. bajo el nivel del terreno en el área de inicio de los vertidos.

Su pendiente de diseño es de 3:1 (H:V) en su parte inferior, la que disminuye en altura hasta un mínimo de 5:1 (H:V) en la parte superior, lo que favorece su estabilidad y el control del drenaje superficial y el escurrimiento de aguas lluvia, y evita condiciones adversas de inclinación ante los asentamientos propios del Relleno en el tiempo.

KDM ha desarrollado un proyecto de generación de energía eléctrica en base al biogás generado en el Relleno con una fracción de metano de 45-50 %, extraído mediante pozos (ver Figura 4 del Anexo Figuras), lo cual favorece la estabilidad global de los taludes del Relleno, junto con las siguientes medidas.

- Guías topográficas para el control de operadores de maquinaria de relleno.
- Control mediante estación total de las cotas e inclinaciones de los taludes.
- Control de asentamientos para corrección de deformaciones.

Además, KDM tiene planificado en el corto plazo la normalización de la operación de la planta de tratamiento de lixiviados.

	<p align="center">Análisis de Estabilidad de Taludes Con/Sin Codisposición de Lodos, Relleno Sanitario Lomas Los Colorados</p>	
---	---	---

4.3 ASPECTOS GEOTECNICOS EN LA ESTABILIDAD DEL RELLENO.

Los rellenos sanitarios conformados por residuos sólidos compactados, de baja altura, con ángulo de talud global de baja pendiente y correctamente drenados, estadísticamente exhiben una buena estabilidad mecánica, incluso frente a eventos sísmicos muy severos, como el caso de los taludes del RS Loma Los Colorados (no afectados por el sismo del 27-02-2010 con las características de un terremoto ocurrido en la Zona Central de Chile, de magnitud $M_w=8,8$).

De acuerdo a la información disponible, la literatura técnica especializada, y nuestra experiencia, los factores identificados en la estabilidad de taludes de los rellenos sanitarios, son.

- Geometría del Talud.



Este factor tiene directa relación con la altura y ángulo del talud, junto con la resistencia al corte del material que lo conforma y la condición de carga en el talud, y tiene especial importancia en el diseño óptimo estable del talud global del Relleno (relación altura-ángulo de talud). A mayor altura del talud menor deberá ser su ángulo de talud, y viceversa. En este Relleno Sanitario el ángulo de talud de diseño disminuye en altura desde 3:1 (H:V) en la parte inferior hasta 5:1 (H:V) en su parte superior, por sobre los 120 m. de altura, lo que indudablemente favorece su estabilidad.

- Resistencia al Corte de los Materiales.

La resistencia al corte del material del Relleno tiene gran importancia en la generación de las superficies de deslizamientos en sus taludes, por lo cual, se debe identificar el modo de falla más probable en el Relleno para su diseño, y el que estaría asociado a una falla de tipo rotacional mediante una superficie de deslizamiento de geometría circular. El efecto geotécnico del proceso de co-disposición de lodos en el Relleno puede llevar a modificar su resistencia mecánica, y por ende, alterar su comportamiento a la estabilidad, aunque no en forma significativa.

- Condiciones de Carga.

El peso propio del Relleno, y cualquier carga externa sobre él, incide en la condición de esfuerzos dentro del depósito, y por ende, su estabilidad puede ser afectada por la acción de cargas muy extremas dispuestas directamente en sus taludes. El aumento de la altura del Relleno incrementa la carga vertical en el residuo existente, en los sellos y en su base.

	<p align="center">Análisis de Estabilidad de Taludes Con/Sin Codisposición de Lodos, Relleno Sanitario Lomas Los Colorados</p>	
---	---	---

- **Presiones Intersticiales.**

Una excesiva presión intersticial (presión de agua) en el Relleno puede tener efecto negativo en la estabilidad de sus taludes por la reducción de la resistencia al corte, o una deformación excesiva y colapso de los taludes por el empuje hidráulico del lixiviado. Una baja presión intersticial tiende a mejorar la condición de estabilidad global de un Relleno Sanitario, situación que KDM tiene muy presente en el caso del RS Loma Los Colorados, por lo cual, Plan de Mejoras de la Estabilidad del RSU LLC propuesto por V&S considera el monitoreo y control de este aspecto.



La estabilidad del Relleno Sanitario puede ser afectada por este Factor al no controlarse en forma adecuada algunos aspectos claves, tales como: la excesiva infiltración de agua lluvia, inadecuada recirculación de líquidos, y una baja conductividad hidráulica (permeabilidad) vertical que incide en un menor drenaje de lixiviados por la base del Relleno.

- **Asentamientos del Material.**

Asentamientos diferenciales de los residuos pueden desestabilizar el Relleno, o agregar factores desestabilizantes, dado que asentamientos muy localizados y puntos bajos (depresiones) facilitan la infiltración del agua lluvia que aumenta la presión intersticial y la altura del nivel freático dentro del Relleno. Los asentamientos asociados al terreno de fundación son muy poco probables debido a su buena competencia geotécnica y las bajas tensiones verticales inducidas sobre éste.

- **Aspectos Operacionales.**

La operación de un RS tiene una gran incidencia en la estabilidad de sus taludes, y en tal sentido, KDM ha mejorado notablemente la estabilidad del Relleno al tratar los residuos sólidos y los lodos separadamente, y además, disponer de un sistema de extracción de biogás posteriormente utilizado en generación eléctrica, que libera las presiones generadas dentro del Relleno (ver Figura 4 en el Anexo Figuras).

	<p align="center">Análisis de Estabilidad de Taludes Con/Sin Codisposición de Lodos, Relleno Sanitario Lomas Los Colorados</p>	
---	---	---

5. CARACTERIZACION GEOTECNICA.

La caracterización geotécnica de los rellenos sanitarios es una difícil tarea por su heterogeneidad y los procesos de tipo físicos, mecánicos y biológicos que afectan a los residuos urbanos durante su vida útil, lo cual incide en una alta variabilidad respecto de sus propiedades físico-mecánicas y, por ende, en su comportamiento. Por esta razón, es muy común en el ámbito de la geotecnia de los rellenos sanitarios chilena extrapolar la experiencia internacional respecto de sus propiedades geotécnica determinadas mediante ensayos de laboratorio e in situ, y reportada en la literatura técnica especializada. Este método ha sido utilizado para estimar las propiedades geotécnicas del Relleno para el análisis de estabilidad de taludes motivo de este informe.

Conforme a lo anteriormente indicado, V&S realizó un análisis de la literatura especializada respecto de las propiedades geotécnicas de los residuos sólidos en rellenos sanitarios urbanos con data internacional, chilena, y la propia del RSU LLC, basada en experiencias de laboratorio e in situ y análisis retrospectivos (Back Análisis) para definir “valores razonables” que permitieran evaluar en forma confiable la estabilidad geotécnica de los taludes del RS LLC con el sistema de co-disposición de lodos indicado durante el año 2019..

En la literatura revisada se distinguen los siguientes 5 tipos de fuentes de información: ensayos de densidad, corte directo en laboratorio, corte directo a gran escala, retro-análisis de ensayos de placa de carga in situ, y de taludes de rellenos sanitarios que han permanecido estables en el tiempo y ante la acción de eventos sísmicos muy severos (es el caso del RSLLC con el sismo del 27-02-2010 con características de terremoto). También se consideró la experiencia de Debra Reinhart (Ref. 13 a 15) en investigaciones sobre las propiedades resistentes de rellenos urbanos con co-disposición de lodos, en la que determinó parámetros de resistencia al corte de este tipo material en base a ensayos de penetración dinámica in situ (CPT).

Dada la natural dificultad de poder realizar ensayos de medición directa de propiedades en el relleno sanitario, del tipo de corte directo a gran escala, o un retro-análisis de fallas de taludes que permitan deducir de su geometría parámetros resistentes más reales de los residuos sólidos del Relleno, se han adoptado parámetros geotécnicos representativos expuestos en la revisión antes indicada, y en base a la experiencia ejecutada por la empresa Geotecnia Ambiental en el relleno sanitario Loma Los Colorados (Consolidado de Antecedentes Histórico Relleno Sanitario Loma Los Colorados, Informe 980-GM-1510-Rev A, Acápito 4.13, Geotecnia Ambiental, Agosto del 2017, Ref. 2) y la propia experiencia de V&S al respecto.

De esta manera, en base al proceso de síntesis de toda la información indicada, se han adoptado los siguientes parámetros para los residuos sólidos del Relleno Sanitario Loma Los Colorados, en el caso sin co-disposición y con co-disposición de lodos.

Tabla 1: Parámetros Geotécnicos Residuos Sólidos Sin Lodos.

Variable	Unidad	Valor	Fuente Considerada
Densidad del Relleno (γ)	Ton/m ³	1,2	RSU Internacionales RSU Chilenos G. Ambiental
Cohesión del Relleno (c)	Ton/m ²	4,0	
Angulo de Fricción del Relleno (ϕ)	Grados	18	
Coeficiente Sísmico (Amáx)	(-)	0,16	EDIC Ingenieros 2018

Tabla 2: Parámetros Geotécnicos Residuos Sólidos Con Lodos.

Variable	Unidad	Valor	Fuente Considerada
Densidad del Relleno (γ)	Ton/m ³	1,2	Geotecnia Ambiental
Cohesión del Relleno (c)	Ton/m ²	3,1	
Angulo de Fricción del Relleno (ϕ)	Grados	18	
Coeficiente Sísmico (Amáx)	(-)	0,16	EDIC Ingenieros 2018

Es preciso destacar que, si bien los residuos sólidos urbanos no son un material que presente las típicas características de un material geotécnico, la evaluación de la estabilidad de sus taludes se realiza normalmente en el ámbito nacional e internacional en base a los principios, técnicas, procedimientos y herramientas que son propios de la mecánica de suelos y la geotecnia, lo cual, no le resta en absoluto validez a sus resultados (ver Referencias y Bibliografía).

6. ASPECTOS DE SISMICIDAD Y PELIGRO SISMICO.

6.1 INTRODUCCION.

En el presente capítulo se incluye una revisión de la sismicidad y el peligro sísmico en el área del RS Loma Los Colorados para estimar la aceleración horizontal máxima del terreno e incorporarla en los análisis de la estabilidad sísmica de sus taludes con la tradicional, y aceptada formulación pseudo-dinámica del efecto de las sollicitaciones sísmicas en dicha estabilidad.

6.2 CONCEPTO DE PELIGRO SISMICO.

De acuerdo con la vasta experiencia que existe en relación al aspecto sísmico en la estabilidad de obras civiles y mineras en regiones que presentan alta actividad sísmica, como lo es nuestro país entre los 18° y 46° de latitud sur, su diseño debe considerar el peligro sísmico para incluir el efecto de los eventos sísmicos característicos en dicho diseño (diseño sismo-resistente).

Este concepto de peligro sísmico normalmente es expresado como la probabilidad (%) de que un determinado parámetro sísmico (intensidad o aceleración) sea excedido en un cierto período, por ejemplo, un 10% de probabilidad de que un cierto valor de la aceleración del terreno (0.20 g) sea excedido en un cierto período (± 50 años).

Para evaluar la estabilidad sísmica de taludes del Relleno Sanitario, en este estudio se adoptará la aceleración sísmica horizontal máxima como una medida de la intensidad del movimiento del terreno, aun cuando, sin ser un parámetro perfecto o único, entrega una estimación razonable del más probable peligro sísmico en diversas situaciones prácticas, como es el caso de los taludes del Relleno Sanitario bajo análisis. Esta aceleración sísmica puede ser obtenida a partir de una macro zonificación sísmica oficial, o propuesta, si el análisis de estabilidad sísmica se realiza mediante la ampliamente aceptada formulación pseudo-dinámica de la acción de las fuerzas sísmicas.

6.3 COEFICIENTE DE ACELERACION SISMICA.

Un sismo es un complejo fenómeno vibratorio que genera fuerzas inerciales de corta duración y variada naturaleza, por lo que la evaluación de sus reales efectos en la estabilidad de los taludes debería considerar un análisis realmente dinámico, pero la alta complejidad teórica y analítica de un análisis dinámico, y su alto costo económico, en muchos casos limita en extremo su aplicación a situaciones reales de taludes de relativa simplicidad, o bien no la justifica plenamente.

Para subsanar tal situación, en la práctica se adopta un método de análisis pseudo–dinámico que asume que el efecto dinámico de un sismo puede asimilarse a una fuerza inercial estática que actúa contra la estabilidad del talud, la que se asimila a una aceleración sísmica horizontal (α) que induce la fuerza (F_{ie}) en el centro de gravedad de la masa de talud analizada, es decir.

$$F_{ie} = \alpha W = AgW$$

- A = Coeficiente de aceleración sísmica.
- g = Aceleración de la gravedad (980 cm/s²).
- α = Aceleración sísmica horizontal como fracción de g.
- W = Peso total de la masa que puede deslizar en el talud.

La mayor dificultad para efectuar el análisis de la estabilidad sísmica de taludes con la formulación pseudo–estática de las fuerzas inerciales inducidas por un sismo, estriba en que no se dispone de una metodología para poder definir con certeza y relativa simplicidad el coeficiente de aceleración sísmica horizontal máxima a ser utilizado en dicha formulación.

Por esta razón, es muy común en geotecnia adoptar un coeficiente sísmico según la experiencia, o en base a reglas empíricas (0.10–0.15 en USA y 0.15–0.25 en Japón), o estimarlo de una macro zonificación sísmica como es la zonificación sísmica de la NCh 433 Of. 1996 modificada el 2009 para el “Diseño Sísmico de Edificios” (Ref. 16) y la NCh 2369 Of. 2003 para el “Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales” (Ref. 17), la macro zonificación del Dr. Sergio Barrientos (Ref. 18), o el Mapa del Riesgo Sísmico de Chile del USGS (U.S. Geological Survey), u otras.

Según las Normas Chilenas indicadas, el Relleno estaría ubicado en la Zona Sísmica 3 (Tiltill) con una aceleración efectiva máxima ($a_{m\acute{a}x}$) de 0.40g (ver Figura 1 del Anexo Figuras).

Según la conocida relación empírica de Gutenberg–Richter entre aceleración ($a_{m\acute{a}x}$) e intensidad sísmica (**I**), dada por $\text{Log } a_{m\acute{a}x} = I/3 - 0.5$, y el Modelo de Riesgo Sísmico del Dr. Sergio Barrientos (ver Figura 2 del Anexo Figuras), el peligro sísmico más probable para la zona del Relleno estaría dado por una intensidad máxima $I_{m\acute{a}x}=8.5$ y una aceleración horizontal máxima de 0.22g.

Según el mapa del riesgo sísmico para Chile del USGS (U.S. Geological Survey) de la Figura 3 del Anexo Figuras, la zona del Relleno tiene una aceleración máxima (PGA) de 4.0 m/s² con 10% de probabilidad de excedencia en 50 años, muy similar a la estimada por el sismólogo Edgar Kausel para Montenegro de 4.3 m/s² para sismos de Magnitud Richter 8.0.

Además, EDIC Ingenieros realizó el 2018 (Ref. 1) un estudio del riesgo sísmico para la zona del Relleno con data compilada por el USGS y el Centro Sismológico de la U. de Chile desde 1570 a la fecha, con epicentros entre los 27°/37° Sur y 70° /75° Oeste. Según este estudio, para la zona del Relleno se tiene una aceleración máxima del terreno (PGA) de 0,54g (con Ms=8.8).

De acuerdo a la regla empírica ampliamente aplicada en geotecnia respecto a que el coeficiente de aceleración sísmica horizontal máxima equivale sólo al 30% de la máxima aceleración sísmica (R. Saragoni, 1993, Ref. 25), para la zona del Relleno Sanitario Loma Los Colorados se tienen las siguientes máximas aceleraciones ($a_{máx}$) y coeficientes sísmicos ($A_{máx}$) en función de g.

Gutenberg–Richter	$a_{máx} = 0.22g$	$A_{máx} = 0.07g$
Norma Chilena NCh 433	$a_{máx} = 0.40g$	$A_{máx} = 0.12g$
U.S. Geological Survey	$a_{máx} = 0.41g$	$A_{máx} = 0.12g$
EDIC Ingenieros 2018	$a_{máx} = 0.54g$	$A_{máx} = 0.16g$

Para este estudio de estabilidad se adoptará el mayor coeficiente sísmico: $A_{máx} = 0.16g$.

A modo de referencia, en la siguiente Tabla se indican algunos Coeficientes Sísmicos sugeridos en el ámbito geotécnico nacional e internacional.

Tabla 3: Coeficientes Sísmicos Propuestos Internacionalmente.

Coeficiente Sísmico	Observaciones Respecto a la Aplicación del Coeficiente
0.10	Major Earthquake FOS>1.0 (Corps of Engineers Manual EM-111-2-1902, 1982)
0.15	Great Earthquake FOS> 1.0 (Corps of Engineers Manual EM-111-2-1902, 1982)
0.15 – 0.25	Japan Codes, FOS> 1.0
0.05 – 0.15	Division of Mines & Geology, California State, USA (1997)
0.10	Seed (1979) FOS> 1.15 (20% strength reduction), M=6.5
0.15	Seed (1980) FOS> 1.15 (20% strength reduction), M=8.6
0.30 ($a_{máx}/g$)	Para $a_{máx} \leq 6.6$ (m/s ²), R. Saragoni (1993)
0.22 ($a_{máx}/g$) ^{0.33}	Para $a_{máx} > 6.6$ (m/s ²), R. Saragoni (1993)
($a_{máx}/g$)	Para $a_{máx} \leq 2$ (m/s ²), Noda & Uwabe (1976)
0.33 ($a_{máx}/g$) ^{0.33}	Para $a_{máx} > 2$ (m/s ²), Noda & Uwabe (1976)
0.50 – 0.33	Marcuson & Franklin (1983), FOS> 1.0
0.50	Hynes & Franklin (1984), FOS>1.0 (20% strength reduction), U.S. Army Corps of Engineering USACE GL-84-13

7. NIVEL FREÁTICO EN EL RELLENO.

El análisis de información realizado por V&S en la literatura técnica especializada respecto a la real distribución y comportamiento del lixiviado dentro de los rellenos sanitarios, y la experiencia asociada al estudio de estabilidad de taludes del RSU Loma Los Colorados realizado el año 2008 (Ref. 7), en el cual se investigó el comportamiento y la distribución del lixiviado dentro del Relleno Sanitario con el Método de Resistividad, ha permitido establecer lo siguiente.



El monitoreo del nivel de percolados al interior del Relleno con mediciones en pozos perforados para extracción de biogás, delineando una superficie tridimensional indicadora del nivel del líquido dentro del Relleno mediante la interpolación de los niveles medidos en cada pozo, indica que los niveles descienden gradualmente acorde a la geometría del talud, interceptando el sello basal del Relleno mucho antes de alcanzar la base del talud (no aflora por la base del talud), por lo cual, la geometría del nivel freático adoptado en este análisis de estabilidad incorpora tal situación.

Pruebas geofísicas mediante 2 perfiles con el Método de Resistividad, que en la práctica consistió en estimar el flujo de corriente dentro del relleno con un arreglo lineal móvil de electrodos, permitió investigar el comportamiento de los lixiviados dentro del Relleno y estimar su estructura interna con la forma de una distribución muy heterogénea de zonas con diversos contenidos de humedad, tal como se muestra en los 2 perfiles de la Figuras 6 y 7 del Anexo Figuras.

Además, en una serie de pruebas de resistividad eléctrica en muestras del Relleno con contenido de humedad variable y conocida, se estableció que la zona de saturación en el Relleno estaría bajo la línea de 4 ohm/m, es decir, el nivel de saturación (nivel freático) en el Relleno estaría bajo este valor (ver Figura 6 en Anexo Figuras). El resultado de estas pruebas individuales se presenta en la siguiente Tabla resumen.

Tabla 4: Resistividad Según Contenido de Humedad.

Material de Relleno	Resistividad (ohm/m)	Humedad (%)
Residuos (Basura)	12.0	40
Lixiviados Superficiales	4.0	100
Lixiviados en Base del Relleno	2.5	100
Lodos Muestra 1	5.4	60
Lodos Muestra 2	9.0	75
Cobertura (Tierra Natural)	20.0	30

	<p align="center">Análisis de Estabilidad de Taludes Con/Sin Codisposición de Lodos, Relleno Sanitario Lomas Los Colorados</p>	
---	---	---



A modo de información complementaria para el presente análisis de estabilidad de taludes, en la Figura 7 del Anexo Figuras se presenta una vista tridimensional de los 2 perfiles de resistividad eléctrica realizados el año 2008 en el RSU Loma Los Colorados (Ref. 7), cuyas interpretaciones y conclusiones se mantienen invariables en la actualidad.

En ambos perfiles se observó que el nivel de los lixiviados (nivel freático) desciende al acercarse al talud e intercepta el sello basal antes de alcanzar el pie del talud, y que al interior del relleno los lixiviados exhiben una distribución no uniforme, como bolsonadas y acuíferos confinados, y por el probable efecto de la intermediación de las capas de cobertura (situación actualmente bajo control por KDM, y muy favorecida por el masivo proceso de extracción de biogás).

Esta distribución no uniforme de los lixiviados permite inferir que: la interpretación del nivel freático dentro de un relleno sanitario con sistema de co-disposición de lodos, como un nivel homogéneo y continuo desarrollado desde la base del relleno, se considera conservadora, a menos que pueda asegurarse su drenaje isótropo y permanente, lo cual es altamente probable.

El análisis de estabilidad de taludes del RSU Loma Los Colorados consideró la incorporación de un nivel freático (nivel de lixiviados) que no aflora a través de la base del talud, con la premisa que el talud tiene un adecuado drenaje vertical que lo depres. La condición de carga vertical máxima ejercida sobre el talud es de tipo gravitacional, debido sólo al peso propio del residuo.

El resultado del análisis de estabilidad de taludes del RSU Loma Los Colorados en la situación sin co-disposición y con co-disposición de lodos, de acuerdo con su estrategia de depositación, se presenta en forma gráfica en el Anexo Gráficos de Resultados al final de este informe.

	<p align="center">Análisis de Estabilidad de Taludes Con/Sin Codisposición de Lodos, Relleno Sanitario Lomas Los Colorados</p>	
---	---	---

8. METODO DE ANALISIS DE ESTABILIDAD.

8.1 INTRODUCCION.

La vasta experiencia que existe respecto al comportamiento a la falla de los taludes de depósitos masivos artificiales conformados por materiales granulares, establece una clara relación entre las características del material y su modo de falla, como también es el caso de taludes conformados por residuos sólidos urbanos, que exhiben un modo de falla muy similar los materiales tipo suelos caracterizado por el deslizamiento a través de una superficie de falla de tipo circular, o curvilínea, y una mecánica de fallamiento de tipo rotacional (Ref. 26 a 29).



Las superficies de falla originadas en un relleno pueden experimentar desplazamiento progresivo y generar un agrietamiento que permite el ingreso de agua superficial al relleno, lo que incrementa el desplazamiento y el agrietamiento afectando y disminuyendo la estabilidad. En otros casos, se pueden producir deslizamientos por excesivo aumento del peso del relleno, una alta saturación por una deficiente permeabilidad vertical y el drenaje de lixiviado y biogás, o el debilitamiento de la interfase entre materiales de baja adherencia (sello basal compuesto del relleno).

8.2 METODO DE ANALISIS DE ESTABILIDAD.

De acuerdo a lo anteriormente indicado, en el análisis de estabilidad de los taludes del RSU Loma Los Colorados se adoptó el modo de falla circular con un mecanismo de falla de tipo rotacional, con el software geotécnico de última generación Slide ampliamente usado en el ámbito geotécnico nacional e internacional para el análisis de la estabilidad de taludes conformados por materiales tipo suelos, y en el último tiempo, para el análisis de la estabilidad y diseño de taludes de rellenos sanitarios urbanos/municipales (Ref. 30).

El análisis de estabilidad realizado para los taludes sin y con co-disposición de lodos consistió en la búsqueda sistemática de las superficies de falla que exhiben el menor Factor de Seguridad para la combinación más crítica de superficies de falla, los parámetros resistentes, condición sísmica y geometría del talud, para evaluar el Factor de Seguridad (FS) dado por la razón entre la sumatoria de las fuerzas resistentes (ΣFr) y la sumatoria de las fuerzas que inducen el deslizamiento (ΣFd), es decir, $FS = \Sigma Fr / \Sigma Fd$. Si $FS = 1$ se está en una situación de equilibrio límite, si $FS < 1$ se está en una condición de falla, y si $FS > 1$ se está en una condición de estabilidad.

El análisis de sensibilidad efectuado obedece a que la combinación más crítica de factores en la estabilidad de los taludes de los rellenos sanitarios es la aquella que incluye un nivel freático y la acción sísmica (asociada a la aceleración horizontal máxima efectiva del terreno).

	Análisis de Estabilidad de Taludes Con/Sin Codisposición de Lodos, Relleno Sanitario Lomas Los Colorados	
---	---	---

Este análisis se realizó mediante la técnica de equilibrio límite bidimensional (mediante perfiles), y los supuestos adoptados en el análisis se resumen en lo siguiente (Ref. 26 a 29).

- El material que conforma el talud es homogéneo e isótropo, es decir, las propiedades mecánicas no varían con la dirección de la carga aplicada.
- La resistencia al corte del material σ_s , depende de la cohesión c , y del ángulo de fricción ϕ del material, y estos parámetros están relacionados mediante la siguiente expresión (criterio lineal de Mohr – Coulomb): $\sigma_s = c + \sigma_n \tan \phi$, y no varían en profundidad
- La superficie de falla en el talud es de tipo rotacional y de geometría circular.
- Se considera un talud “no drenado”, es decir, presenta un nivel freático estático.
- La acción sísmica en el talud se asocia a un coeficiente de aceleración horizontal sísmica máxima equivalente a $A_{máx} = 0.16$.

Es preciso indicar que la confiabilidad de todo análisis de estabilidad de taludes está dada por la certeza de todos sus datos de entrada (input), el método de análisis adoptado, la versatilidad de la herramienta de cálculo que es utilizada (software), y la capacidad del especialista geotécnico para poder realizar un adecuado y sistemático análisis de estabilidad.

8.3 PROCEDIMIENTO DE ANALISIS DE ESTABILIDAD.

El análisis de estabilidad de los taludes sin y con co-disposición de lodos se realizó mediante el trazado de 6 perfiles perpendiculares a los taludes comprometidos y considerados críticos para la estabilidad del Relleno Sanitario, tal como se indica en la Figura 2.

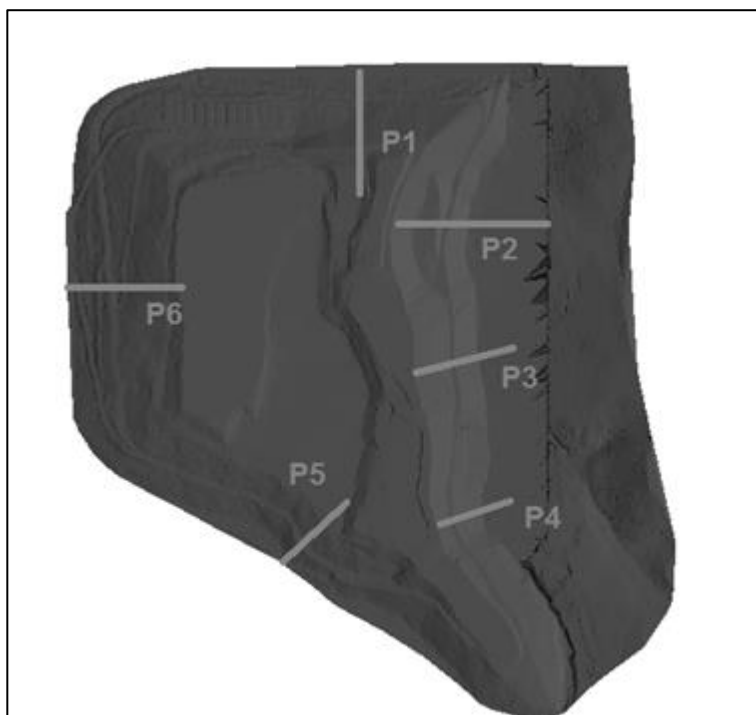


Figura 2: Perfiles para el Análisis de Estabilidad de Taludes.

El resultado del análisis de estabilidad se muestra en las siguientes Tablas.

Tabla 5: Factores de Seguridad Sin Co-Disposición de Lodos.

Perfil de Análisis	Factor de Seguridad Estático	Factor de Seguridad Sísmico
Perfil 1	2,2	1,2
Perfil 2	2,5	1,3
Perfil 3	2,2	1,2
Perfil 4	2,0	1,2
Perfil 5	3,2	1,6
Perfil 6	2,6	1,3

Según este resultado, se infiere que el RSU Loma Los Colorados en la situación sin co-disposición de lodos, presentaría una buena condición de estabilidad estática y sísmica.

Tabla 6: Factores de Seguridad Con Co-Disposición de Lodos.

Perfil de Análisis	Factor de Seguridad Estático	Factor de Seguridad Sísmico
Perfil 1	2,0	1,1
Perfil 2	2,3	1,2
Perfil 3	2,0	1,1
Perfil 4	1,8	1,1
Perfil 5	2,8	1,4
Perfil 6	2,3	1,2

El talud del sector Sur del Relleno, asociado a la Fase 4 de llenado con co-disposición de lodo exhibe un adecuado factor de seguridad ($FS= 1,8$) en condición estática (la más permanente durante la operación del Relleno) y un aceptable factor de seguridad ($FS=1,1$) en una condición sísmica asociada a la eventual ocurrencia de un sismo interplaca costero de magnitud 8,8, muy similar al ocurrido el 27-02-2010 en la zona central de Chile. Este último sismo no causó daño alguno al Relleno Sanitario Lomas Los Colorados, por lo cual, se espera una similar positiva respuesta del Relleno ante el sismo adoptado en los análisis.

Aunque el Relleno Sanitario exhibe buena situación de estabilidad en las condiciones analizadas, es recomendable, por seguridad, implementar un sistema para el control de la estabilidad de sus taludes (visual y/o instrumental), y verificar la posición del nivel freático dentro del Relleno, a fin de anticipar oportunamente situaciones de inestabilidad y poder adoptar las medidas pertinentes para mitigar las causas que las generan.

9. RECOMENDACIONES PARA MEJORAR ESTABILIDAD DEL RELLENO A CORTO PLAZO.

Con la finalidad de mejorar y garantizar la estabilidad geotécnica de todos los taludes del Relleno Sanitario loma Los Colorados en el tiempo, y en particular, la del Talud Sur asociado a la Fase 4 de llenado de residuos con co-disposición de lodos, se recomienda la implementación de las siguientes medidas:

- **Nivelación Plataforma Superior Fase 4, a Cota 890 msnm.**

De acuerdo con lo establecido en el Plan de Llenado vigente de KDM, se recomienda nivelar el área de la plataforma superior asociada a la Fase 4 del Relleno indicada en la Figura 3, hasta la Cota 890 msnm, con sistema de co-disposición de lodos. Para ello, se debe nivelar la depresión ubicada en el sector Sur, que a la fecha, ha sido utilizada sólo hasta la cota 870 msnm aproximadamente. En la siguiente Figura, se aprecia la zona de la Fase 4 que se recomienda nivelar con co-disposición de lodos (sólo el año 2019).



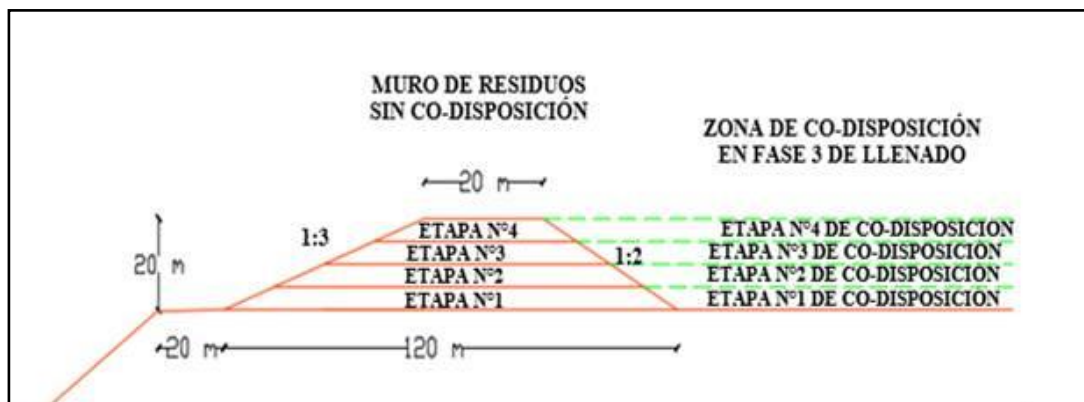
**Figura 3: Zona de Fase 4 de Nivelación a 890 msnm.
(Fuente: KDM, 2019).**

- **Muros de Soporte del Relleno con Co-Disposición.**

Para el llenado de la Fase 4 indicada, se propone la construcción de un muro de residuos sólidos normales, que sirva de apoyo para las tareas de generación y avance del frente de trabajo de las actividades de co-disposición. De esta forma, el volumen de residuos sólidos mezclados con lodos permanecerá estratificado y confinado, evitando efectos negativos en el cuerpo de los residuos por sobre el cual se emplaza.

El esquema constructivo propuesto para el muro se detalla a continuación.

Figura 3: Esquema Constructivo – Muro de Soporte.



En donde:

Altura de Muro	:	20 (m)
Ancho de Coronamiento	:	20 (m)
Ancho de la Base	:	120 (m)
Talud Exterior	:	1:3 (V:H)
Talud Interior	:	1:2 (V:H)
Separación de Talud	:	20 (m)

Por otra parte, la estrategia de construcción propuesta es la siguiente:

- De acuerdo con la información disponible, este muro deberá ser construido en forma secuencial –en 4 etapas– de acuerdo al período previsto para el confinamiento de los residuos con co-disposición de lodos de la Fase 4.

b.- El primer ciclo constructivo considerará la conformación de la primera etapa de nucleación del muro (Etapa N°1), en base al esquema constructivo propuesto en la Figura 2. Una vez que esta sección del muro se encuentre ya construida, se podrá iniciar la Etapa N°1 del proceso de co-disposición de lodos ⁽¹⁾.

c.- En la medida que las actividades de co-disposición continúen, y los volúmenes al interior del muro sean coincidentes con el volumen correspondiente a la Etapa N°1 de co-disposición, deberá iniciarse la segunda etapa de crecimiento del muro, de acuerdo a lo ya indicado en esta sección (ver Figura 2).

d.- Este muro crecerá entonces, en forma sucesiva, y en la medida de que se agoten los volúmenes de las etapas N°2, N°3 y N°4 de co-disposición de lodos.

- **Implementación de Pozos de Drenaje Vertical.**

Con el objeto de mantener un nivel freático controlado al interior del cuerpo de residuos, se recomienda la implementación de pozos verticales que permitan una extracción de tipo continua y sostenida de los líquidos lixiviados. El efecto de mantener un bajo nivel freático permitirá garantizar la “condición drenada” ⁽²⁾ del cuerpo de residuos y por extensión, una óptima condición de estabilidad geotécnica de acuerdo con los diferentes escenarios y niveles freáticos evaluados. Respecto de su ubicación, se propone una red de 4 pozos ⁽³⁾, y situados de acuerdo con lo indicado en la Figura 4.

Operacionalmente, la red de pozos deberá considerar:

i.- Ser construida de manera tal, que la implementación del pozo evite el flujo de los líquidos lixiviados fugitivos al exterior y el ingreso de fluidos (por ejemplo, escorrentías), al interior del cuerpo de residuos.

ii.- Implementación de los pozos en dos etapas. La primera se realizará en el vértice norte de la Zona 4 (Pozos 1 y 2). En la segunda etapa, serán implementados los Pozos 3 y 4, de acuerdo al crecimiento de las capas de residuos con co-disposición N°1 a N°4 mostradas en la Figura 2.

¹ Etapas de co-disposición, serán rellenadas con residuos y un 3% en peso de lodos como máximo.

² De acuerdo a los análisis de estabilidad geotécnicos efectuados, la implementación de pozos permitirá que el cuerpo de residuos se mantenga con su menor nivel de lixiviados, es decir, a unos 21 (m) medidos desde la base del relleno. De esta forma, siempre un cuerpo de residuos “con drenaje” mantendrá un menor nivel de lixiviados, y por extensión, un mejor comportamiento geotécnico.

³ Cantidad de 4 pozos, corresponde a la definición geométrica de los límites de confinamiento establecidos en la Figura 5. El número efectivo de pozos a implementar, deberá considerar el análisis flujométrico de extracción, para mantener los 21 (m) máximos de nivel de lixiviados.

iii.- Todos los pozos deberán estar contruidos y aptos para operación, antes de iniciar las etapas de co-disposición respectivas.

iv.- Constructivamente, los pozos se efectuarán perforando diámetros de 1 (m), encamisados en tubería de HDPE de 80 (cm). Esta configuración, permitirá monitorear mediante pozómetro la posición del nivel freático.

v.- Se debe seleccionar el tipo de bomba de extracción, que sea compatible metalúrgicamente con las características del lixiviado, y que los caudales de impulsión permitan mantener el mínimo nivel freático en cada zona de implementación.

vi.- Constructivamente, los pozos de extracción deberán ser de material granular (1" a 4"), que garantice el ingreso de lixiviados hacia los puntos de impulsión, y que evite su posterior colmatación y correspondiente pérdida de eficiencia.

vii.- Se estima que la profundidad de cada pozo será entre 30 (m) a 40 (m), lo que deberá ser corroborada por KDM con la profundidad del relleno (relación plataforma versus fondo), el nivel freático existente y el máximo nivel freático.

Figura 4: Representación Esquemática de Pozos de Drenaje Vertical.

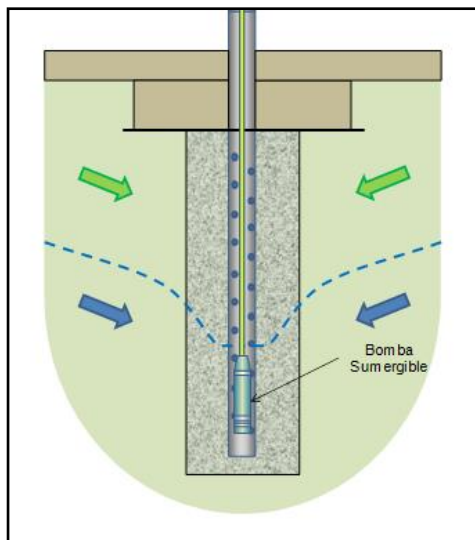
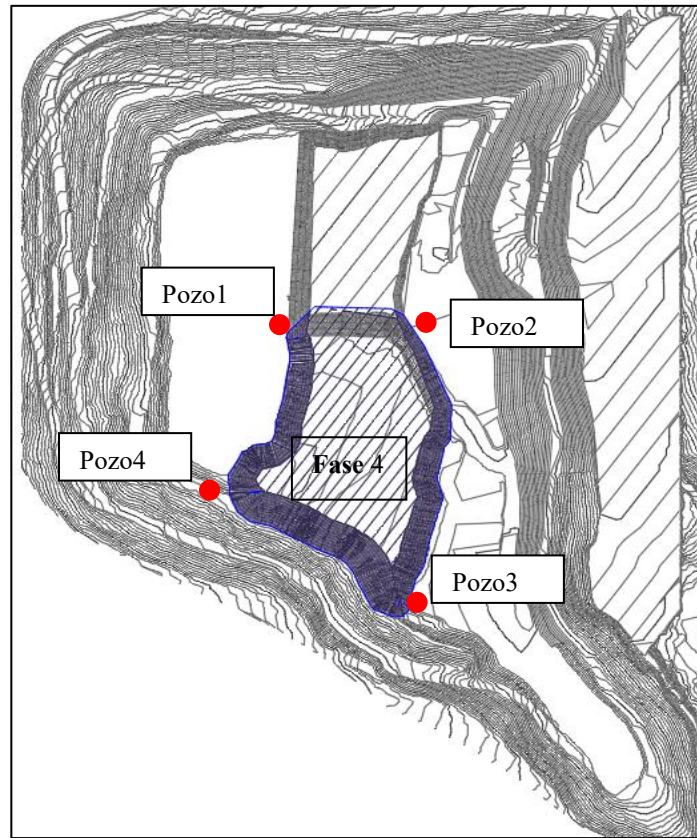


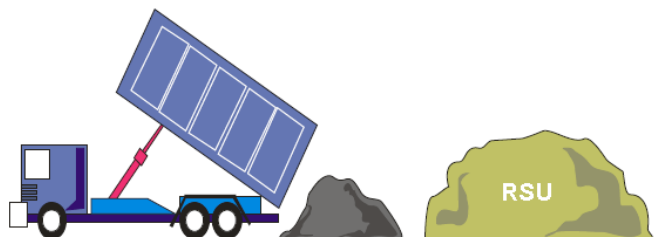
Figura 5: Propuesta de Ubicación - Red de Pozos de Drenaje Vertical.



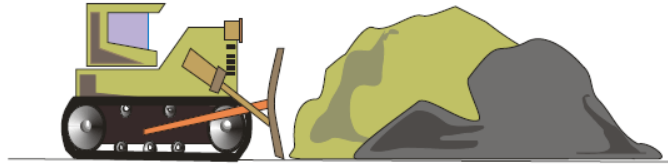
- **Procedimiento Correcto para Co-disposición.**

Con el objeto de garantizar que la co-disposición sea efectuada de forma correcta, y con ello evitar problemas a consecuencia de la concentración puntual de lodos, se sugiere realizar una mezcla homogénea de lodos con residuos normales, de forma previa a las actividades de confinamiento final en los frentes de trabajo.

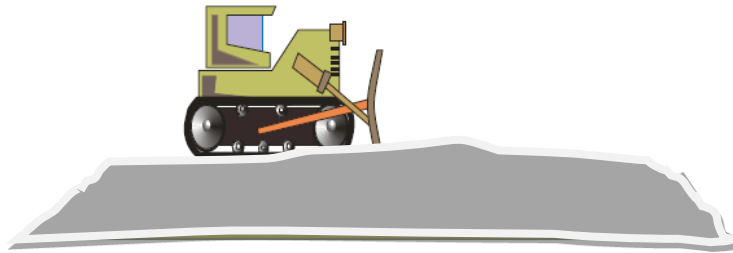
Como se ha mencionado, la proporción de mezcla deberá ser en una relación de un 3% en peso (lodos versus residuos sólidos). En el siguiente esquema, se indica la operación para una correcta co-disposición.



a) Descarga de lodos en el frente de trabajo.



b) Empuje de la carga de residuos sobre los lodos.



c) Mezclado homogéneo, y esparcido en el frente de trabajo.

- **Medición de Asentamientos.**

En relación al muro de residuos que confinará la zona de co-disposición (ver Figura N°2), se recomienda implementar un sistema de medición y control de desplazamientos que permita monitorear en forma constante el desplazamiento de la masa de residuos compactada que conformará dicho muro.

Dada las condiciones de operación de esta zona, es posible que se produzca la pérdida o destrucción de los puntos de medición, razón por lo cual, deberá considerarse una serie de puntos de control (monolitos de hormigón, placas de targeting, etc.), con los cuales se medirá semanalmente el asentamiento y el movimiento horizontal de cada elemento de control (con apoyo de equipo geodésico).

Respecto de su ubicación, se recomienda implementar al menos 6 puntos de medición en el muro de confinamiento de la Fase 4, equidistantes.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Como resultado del análisis de estabilidad de taludes del RSU Loma los Colorados, en la situación sin y con co-disposición de lodos, se presentan las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

- a. El análisis de estabilidad de los taludes del RSU Loma Los Colorados se desarrolló sobre la base a 6 perfiles de análisis trazados en forma perpendicular a los taludes en aquellos sectores estimados como más críticos desde el punto de vista de su estabilidad.
- b. El análisis de estabilidad consistió en la búsqueda sistemática de las superficies de falla de tipo circular que exhiben el menor Factor de Seguridad para la más crítica combinación de superficies de deslizamiento, parámetros resistentes, condición sísmica, geometría del talud y posición del nivel freático.
- c. Las propiedades geotécnicas adoptadas para el análisis de estabilidad fueron obtenidas de diversos estudios de estabilidad previos realizados para este Relleno Sanitario, la data de propiedades de rellenos sanitarios internacionales y latinoamericanos informada en la literatura técnica especializada, y la propia experiencia. Los parámetros adoptados para la situación del Relleno Sanitario se indican en las siguientes Tablas.

Parámetros Geotécnicos Residuos Sólidos Sin Lodos.

Variable	Unidad	Valor	Fuente Considerada
Densidad del Relleno (γ)	Ton/m ³	1,2	RSU Internacionales RSU Chilenos G. Ambiental
Cohesión del Relleno (c)	Ton/m ²	4,0	
Angulo de Fricción del Relleno (ϕ)	Grados	18	
Coefficiente Sísmico (Amáx)	(-)	0,16	EDIC Ingenieros 2018

Parámetros Geotécnicos Residuos Sólidos Con Lodos.

Variable	Unidad	Valor	Fuente Considerada
Densidad del Relleno (γ)	Ton/m ³	1,2	Geotecnia Ambiental
Cohesión del Relleno (c)	Ton/m ²	3,1	
Angulo de Fricción del Relleno (ϕ)	Grados	18	
Coefficiente Sísmico (Amáx)	(-)	0,16	EDIC Ingenieros 2018

- d. El resultado del análisis de estabilidad de los taludes del Relleno Sanitario se indica en las siguientes Tablas y en el Anexo 13: Gráficos de Resultados.

Factores de Seguridad Sin Co-Disposición de Lodos.

Perfil de Análisis	Factor de Seguridad Estático	Factor de Seguridad Sísmico
Perfil 1	2,2	1,2
Perfil 2	2,5	1,3
Perfil 3	2,2	1,2
Perfil 4	2,0	1,2
Perfil 5	3,2	1,6
Perfil 6	2,6	1,3


Según este resultado, se infiere que el RSU Loma Los Colorados sin co-disposición de lodos exhibe una buena condición de estabilidad.

Factores de Seguridad Con Co-Disposición de Lodos.

Perfil de Análisis	Factor de Seguridad Estático	Factor de Seguridad Sísmico
Perfil 1	2,0	1,1
Perfil 2	2,3	1,2
Perfil 3	2,0	1,1
Perfil 4	1,8	1,1
Perfil 5	2,8	1,4
Perfil 6	2,3	1,2

Según este resultado, se infiere que el RS Loma Los Colorados con co-disposición de lodos exhibe una buena condición de estabilidad



El talud del sector Sur del Relleno, asociado a la Fase 4 de llenado con co-disposición de lodos exhibe un adecuado factor de seguridad ($FS = 1,6$) en condición estática (la más permanente durante la operación del Relleno) y un aceptable factor de seguridad ($FS = 1,1$) en una condición sísmica asociada a la eventual ocurrencia de un sismo interplaca costero de magnitud 8,8, muy similar al ocurrido el 27-02-2010 en la zona central de Chile. Este último sismo no causó daño alguno al Relleno Sanitario Lomas Los Colorados, por lo cual, se espera una similar positiva respuesta geotécnica del Relleno ante el sismo adoptado en los análisis motivo de este informe.

<p>V&S Minería-Geotecnia</p>	<p>Análisis de Estabilidad de Taludes Con/Sin Codisposición de Lodos, Relleno Sanitario Lomas Los Colorados</p>	
---	--	---

- e. Aunque el Relleno Sanitario exhibe una buena situación de estabilidad en las condiciones analizadas, es recomendable, por seguridad, implementar un sistema para el control de la estabilidad de sus taludes (visual y/o instrumental), y verificar la posición del nivel freático dentro del Relleno, a fin de anticipar oportunamente situaciones de inestabilidades y poder adoptar las medidas pertinentes para mitigar las causas que las generan.

11. **REFERENCIAS & BIBLIOGRAFIA.**

1. Relleno Sanitario Lomas los Colorados, Informe de Riesgo Sísmico. EDIC Ingenieros, Informe 680-18-IB-00-IN-GT-001, febrero 2018.
2. Consolidado de Antecedentes Históricos del Relleno Sanitario Loma Los Colorados. Informe 980-GM-1510-Rev A, Geotecnia Ambiental, Agosto 2017.
3. Estudio Geotécnico de Estabilidad del RS Loma Los Colorados de KDM. SIGA Minería & Geotecnia S.A., Proyecto 06-4524-01, Agosto 2014.
4. Estabilidad del Talud Este con Disposición de Lodos RS Loma Los Colorados de KDM. SIGA Minería & Geotecnia S.A., Proyecto 06-4212-01, Diciembre 2013.
5. Estudio Geotécnico de Estabilidad del RS Loma Los Colorados de KDM. SIGA Minería & Geotecnia S.A., Proyecto 06-3895-01, Julio 2013.
6. Estudio de Estabilidad de: RS El Retamo de Talca (RESAM S.A.), RS El Guanaco de Teno (RESAM S.A.) y RS Laguna Verde de Los Angeles (DEMARCO S.A.). SIGA Minería & Geotecnia S.A., Proyecto 06-2634-01, Agosto 2010.
7. Estudio de Estabilidad del Relleno Sanitario Loma Los Colorados de KDM. Aretech Geonova Chile – SIGA Minería & Geotecnia S.A., Septiembre 2008.
8. RCA “Cancha de Secado y Mono-Relleno de Lodos en Loma Los Colorados”. Resolución Exenta N° 263/2008, Abril 2008.
9. Análisis de Estabilidad Fase 2abc6, Relleno Sanitario Loma Los Colorados, Plan de Llenado 2007, KDM S.A., Agosto 2007.
10. Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y de Seguridad Básicas en los Rellenos Sanitarios. DS N° 189 Ministerio de Salud, 2005
11. Reglamento para el Manejo de Lodos Generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas, Decreto N° 4/09 Conama, 2009.
12. Solid Waste Disposal Facility Criteria – Technical Manual. U. S. Environmental Protection Agency (EPA), Revised April 1998.

	Análisis de Estabilidad de Taludes Con/Sin Codisposición de Lodos, Relleno Sanitario Lomas Los Colorados	
---	---	---

13. Design and Operational Issues Related to the Co-Disposal of Sludges and Biosolids in Class I Landfill – Phase II.
Debra R. Reinhart, Report N° 0332002-05, August 2008, U. of Florida.
14. Design and Operational Issues Related to the Co-Disposal of Sludges and Biosolids in Class I Landfill – Phase III.
Debra R. Reinhart, Report N° 0432023, March 2007, U. of Florida.
15. Design and Operational Issues Related to the Co-Disposal of Sludges and Biosolids in Class I Landfill.
Debra R. Reinhart, Report N° 0132010-03, July 2003, U. of Florida.
16. Diseño Sísmico de Edificios – Earthquake Resistant Design of Building.
Norma Chilena Oficial NCh 433–Of. 96 Modificada 2009, INN, Chile, 2009.
17. Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales.
Norma Chilena Oficial, NCh 2569–Of. 2003, INN Chile, 2003.
18. Regionalización Sísmica de Chile, Tesis de Magister en Ciencias.
Depto. de Geofísica, Fac. de Ciencias Físicas y Matemáticas.
Barrientos, S. & Kausel, E., Universidad de Chile, 1980.
19. Proyecto Mapa de Riesgo Sísmico de Chile.
Asociación de Aseguradores de Chile AG, FME Engineering.
F. Medina, S.C. Harmsen, S.E. Barrientos, San Francisco Ca., 2015.
20. Hacia Una Nueva Regionalización y Cálculo del Peligro Sísmico en Chile.
Martin, A., Memoria de Título Ing. Civil, Fac. de Ciencias Físicas y Matemáticas, 1990.
21. Quantitative Seismology, Theory and Methods, Vol I & Vol II
Aki, K. & Richards, P. W., H. Freeman and Co., 1980.
22. Selection of Seismic Coefficients for Use in Pseudo-Static Slope Stability Analyses.
Pyke, Robert, Engineerig Portal Ltd., 2001
23. Seismic Coefficients for Pseudostatic Slope Analysis.
C. Melo & S. Sharma, XIII World Conference on Eartquake Eng., August 2004
24. Fórmulas de Atenuación Considerando el Terremoto de Chile de 1985.
Schaad, C. y Saragoni, R., V J. Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, 1989.

25. Análisis del Riesgo Sísmico para la Reconstrucción del Puerto de Valparaíso.
Saragoni, R., VI Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Sísmica, 1993.
26. Ground Engineer`s Reference Book, Stability of Soil Slope.
Bell, F. G., Butterworths, 1987.
27. Rock Slope Engineering. Circular Failure, Chapter 9.
Hoek, E. & Bray, J. W., IMM, Third Revised Edition, 1981.
28. Slope Analysis, Developments in Geotechnical Engineering, Vol. 22.
Chowdhury, R. N, Elsevier Scientific Publishing Co, 1978.
29. Waste Embankments: Pit Slope Manual, Chapter 9.
Canada Centre for Mineral & Energy Technology, CANMET, 1977.
30. Slide 5.0: 2-D Limit Equilibrium Slope Analysis for Soil and Rock Slopes.
User`s Guide, Rocscience Inc., 1989–2003

12. ANEXO FIGURAS.

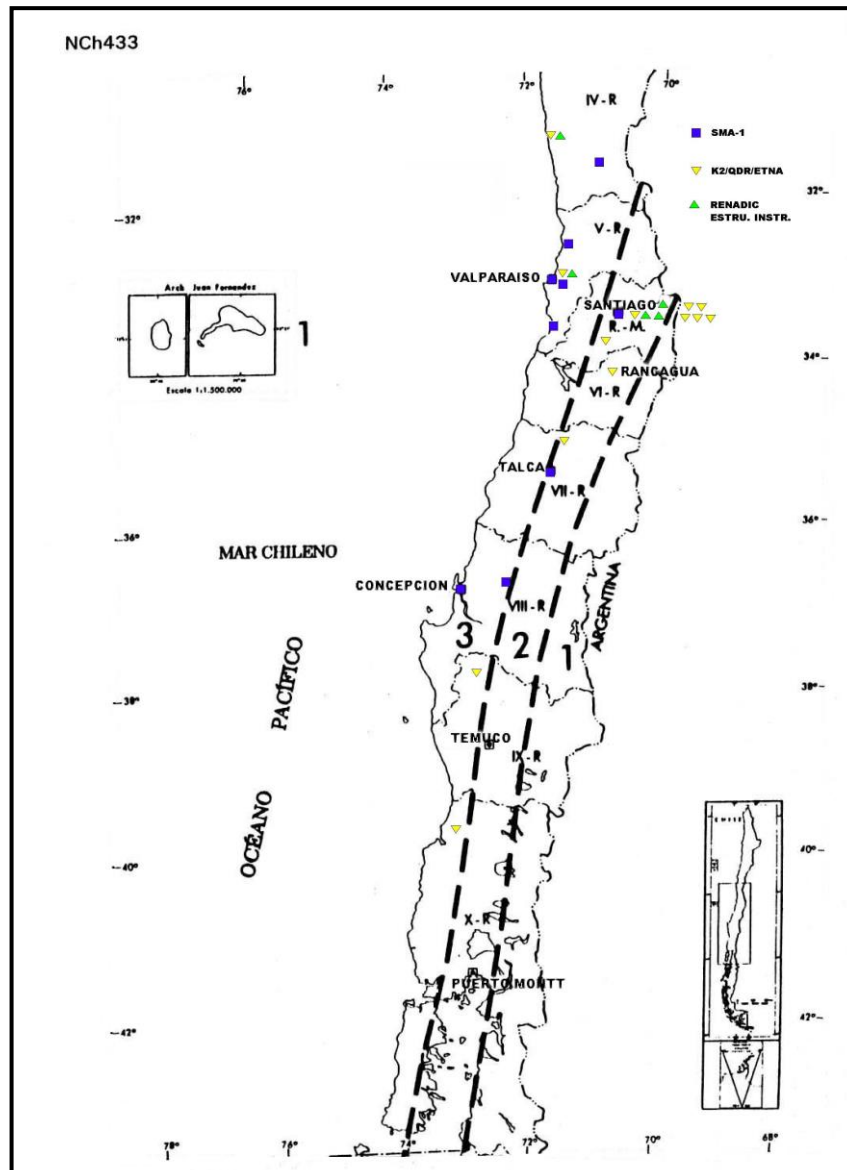


Figura 1: Zonas Sísmicas de la Zona Central de Chile, Norma Chilena 433-Of. 96 Mod. 2009.
(Aceleración Máxima del Terreno con 10% Probabilidad de Excedencia en 50 Años)

El Relleno Sanitario Loma Los Colorados se ubicaría en la Zona Sísmica 3 (Tilttil)
con una Aceleración Efectiva del Terreno Equivalente a 0.40g

Zona 1	Aceleración efectiva máxima = 0.20 g.
Zona 2	Aceleración efectiva máxima = 0.30g.
Zona 3	Aceleración efectiva máxima = 0.40 g.

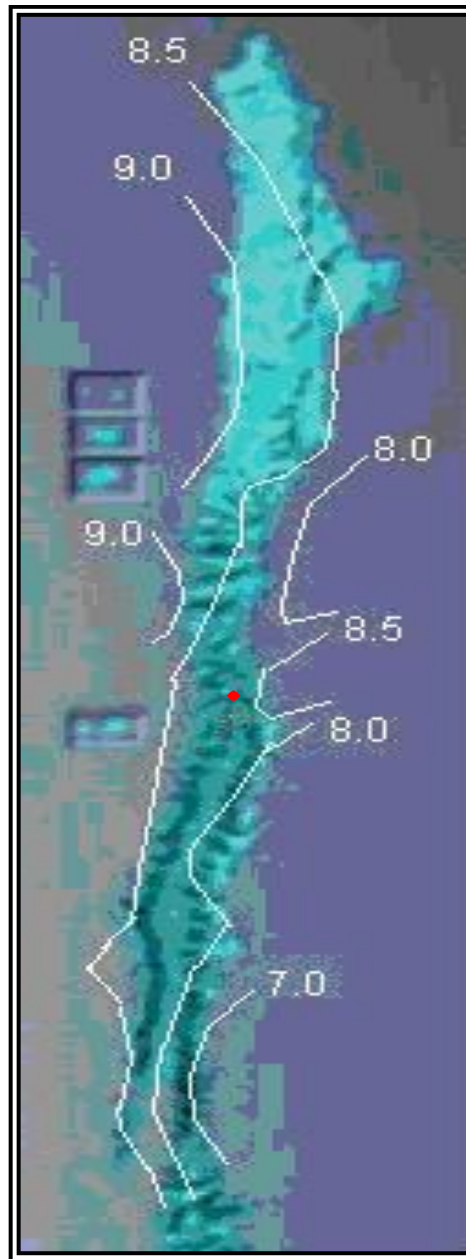


Figura 2: Modelo de Riesgo Sísmico para Chile según Intensidad Sísmica MM.
(Aceleración Máxima del Terreno con 10% Probabilidad de Excedencia en 50 Años)
(Dr. Sergio Barrientos, 1980)

El Relleno Sanitario Loma Los Colorados se ubicará en la Zona Sísmica asociada a una Intensidad de Mercalli Máxima del Terreno de $I=8.5$

Chile

Seismic Hazard Map

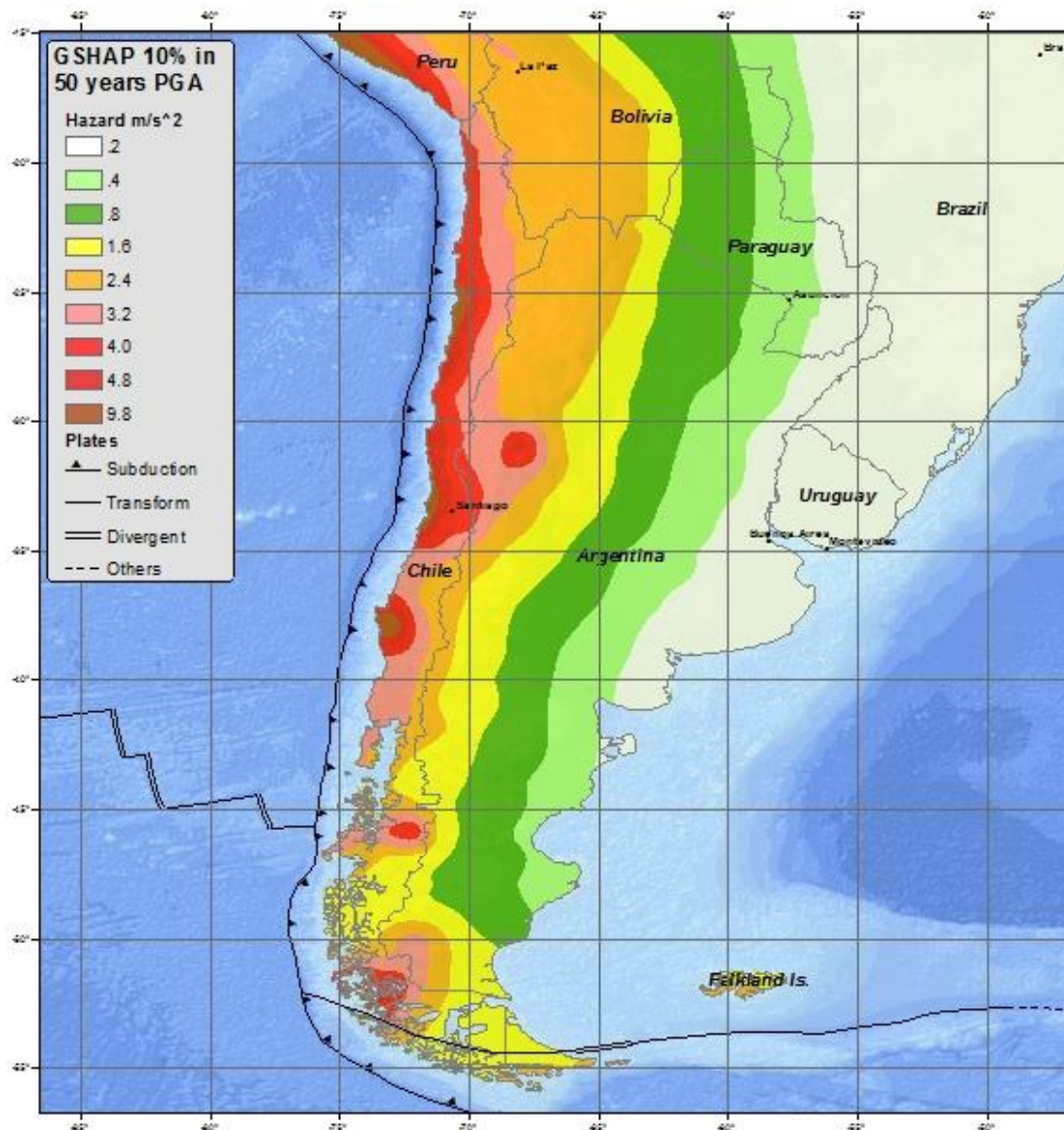


Figura 3: Mapa de Riesgo Sísmico para Chile según el USGS (U.S. Geological Survey).
(Aceleración máxima en m/s^2 con 10% de probabilidad de excedencia en 50 años)

El Relleno Sanitario Loma Los Colorados se ubicaría en una Zona Sísmica asociada con una Aceleración Máxima de $4.0 m/s^2$ (PGA= 0.41g)



Figura 4 Vista General del Sistema de Extracción de Biogás en el Relleno Sanitario Loma Los Colorados.



Figura 5: Vista General Hacia el Norte del Talud con Configuración Típica del Talud Este del Relleno Sanitario Loma Los Colorados.

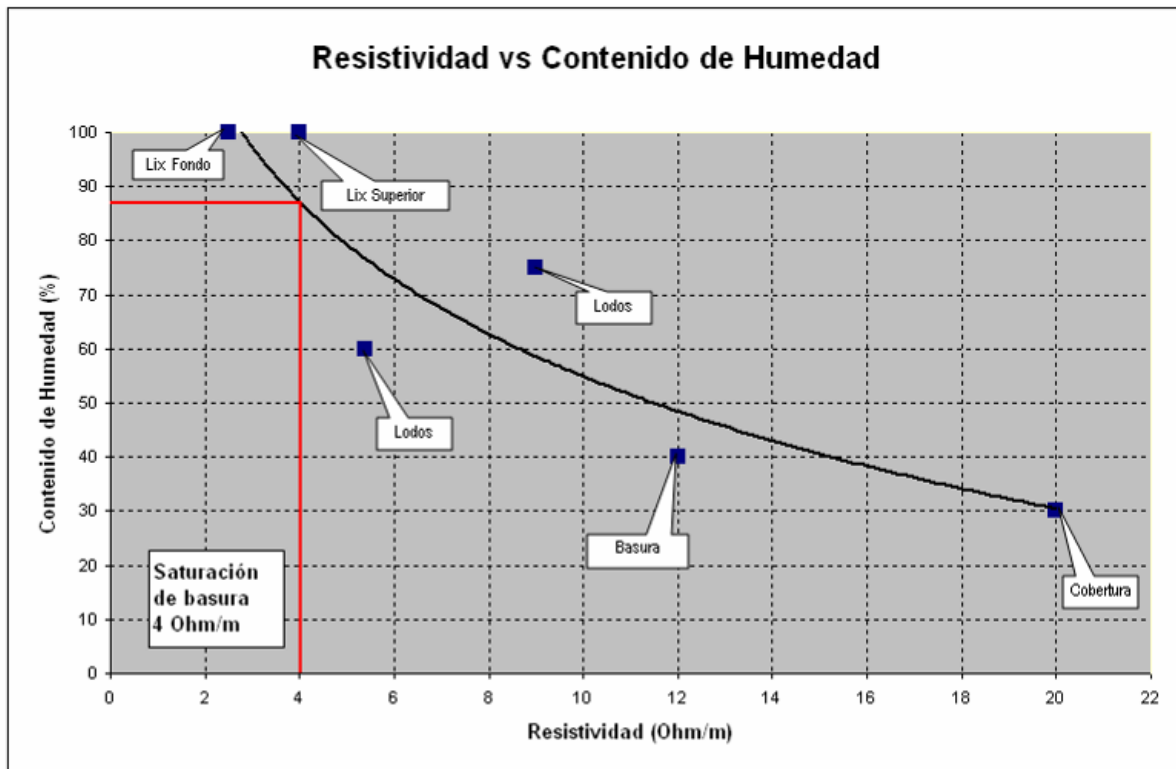


Figura 6: Curva de Resistividad Ajustada con Parámetros Obtenidos en Terreno en Estudio de Estabilidad Relleno Sanitario Loma Los Colorados Año 2008 (Ref. 8).

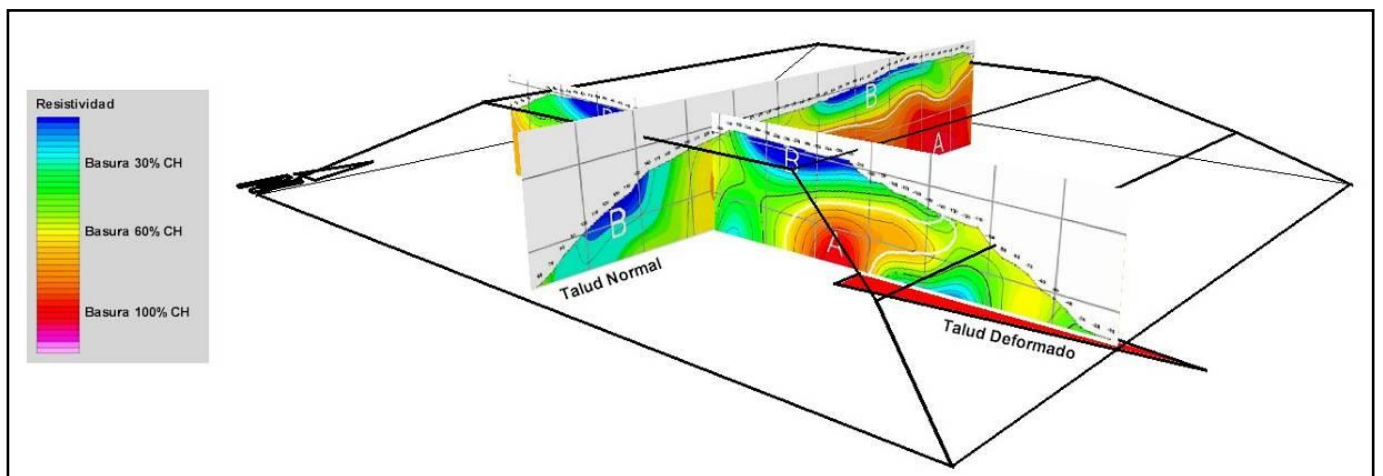
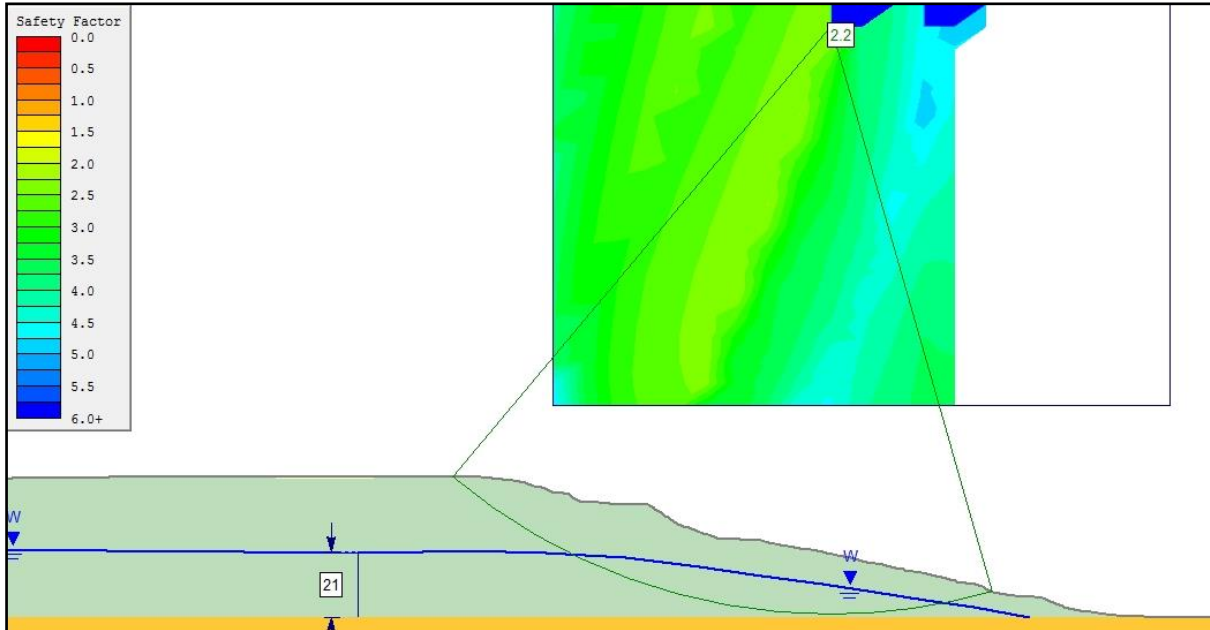


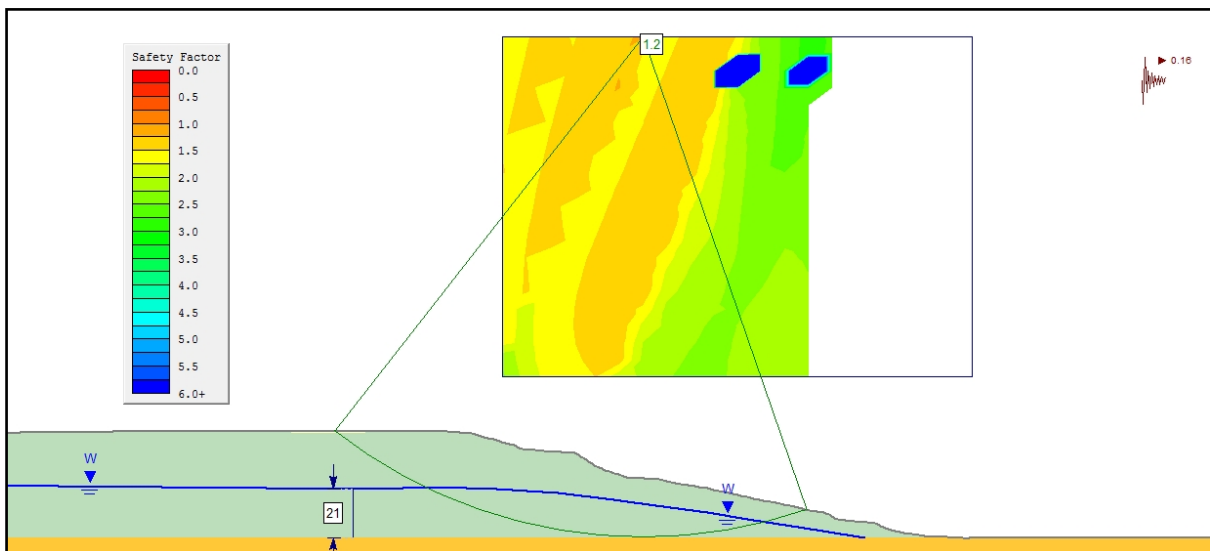
Figura7: Perfiles de Resistividad Eléctrica Trazados en el Relleno Sanitario Loma Los Colorados en el Estudio de Estabilidad Año 2008 (Ref. 8).

13. ANEXO GRAFICOS DE RESULTADOS: SIN CO-DISPOSICION.

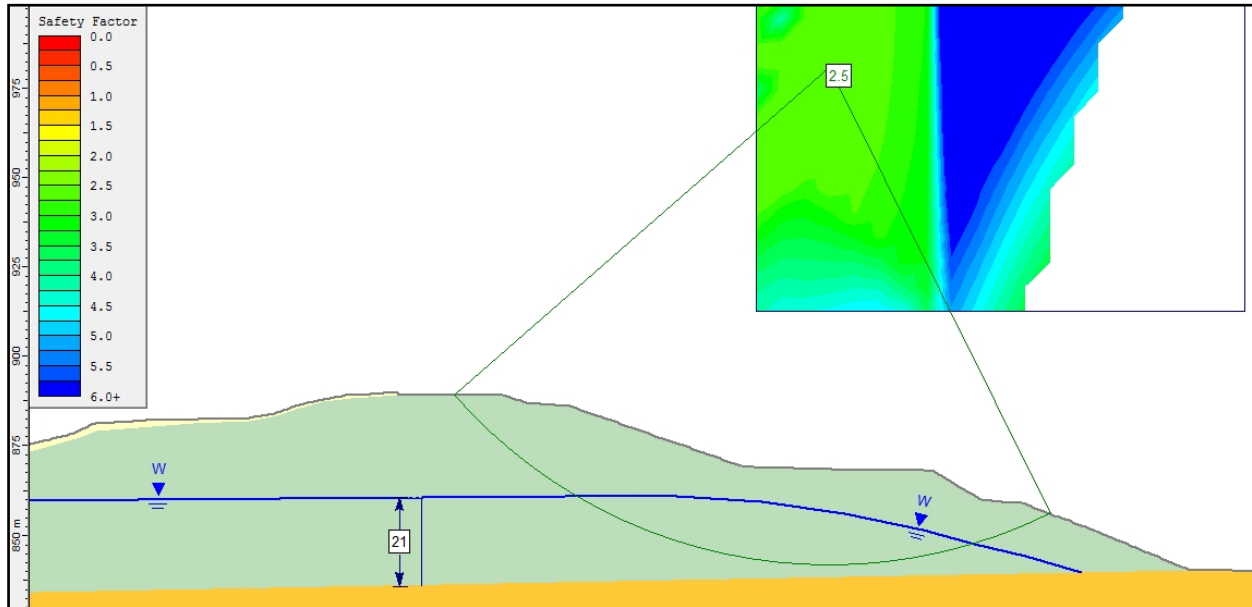
Perfil 1 Análisis Estático FS= 2,2



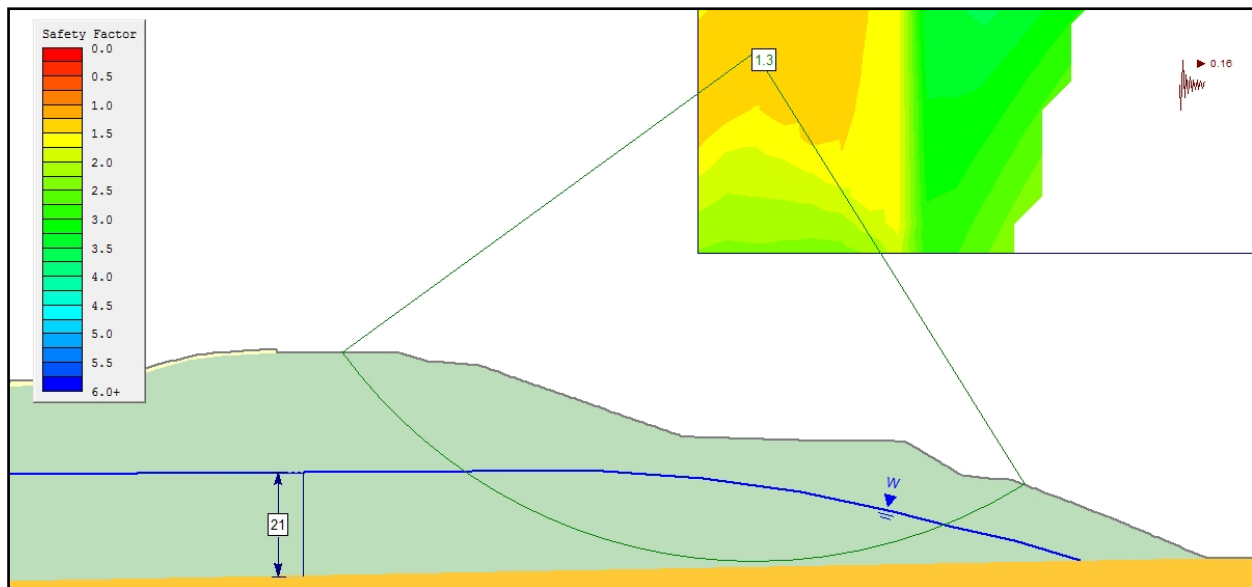
Perfil 1 Análisis Pseudo-Dinámico FS=1,2



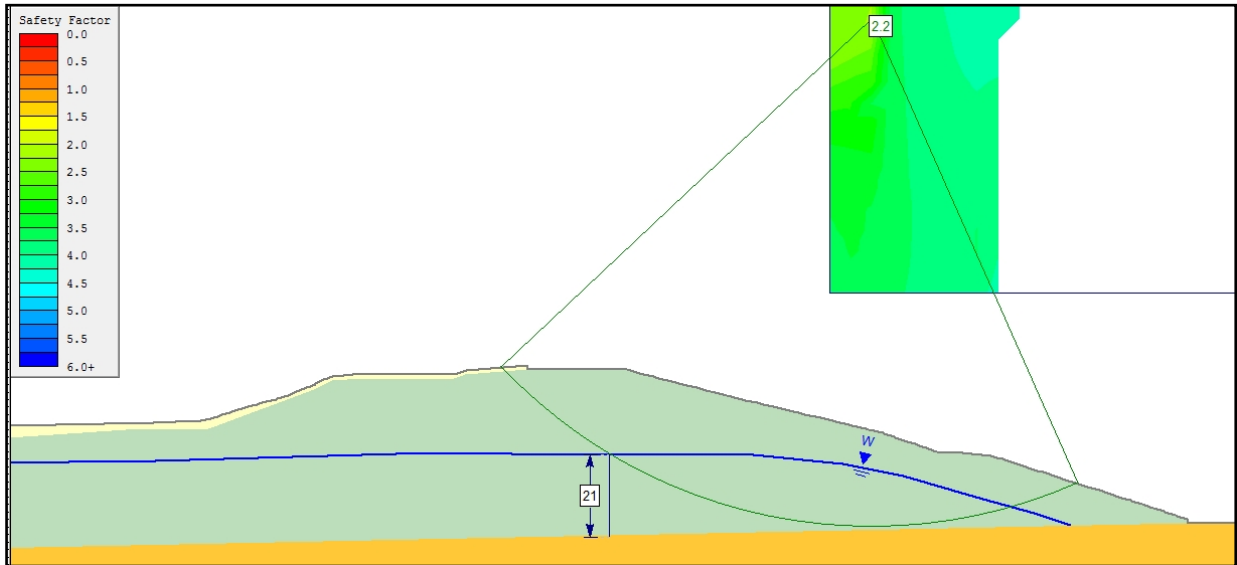
Perfil 2 Análisis Estático FS= 2,5



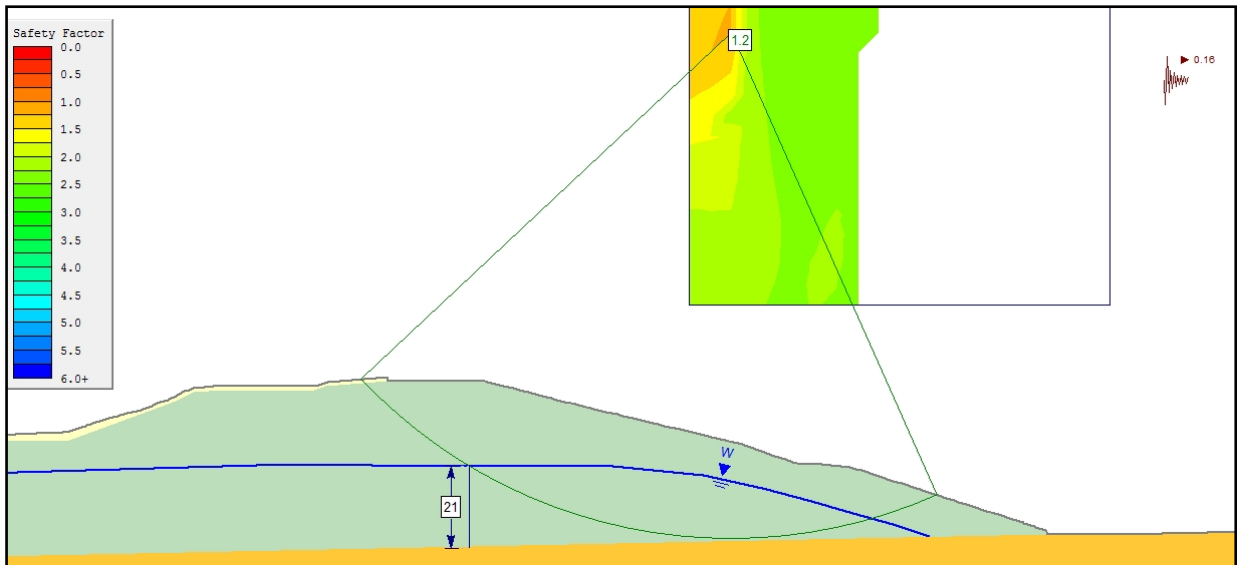
Perfil 2 Análisis Pseudo-Dinámico FS=1,3



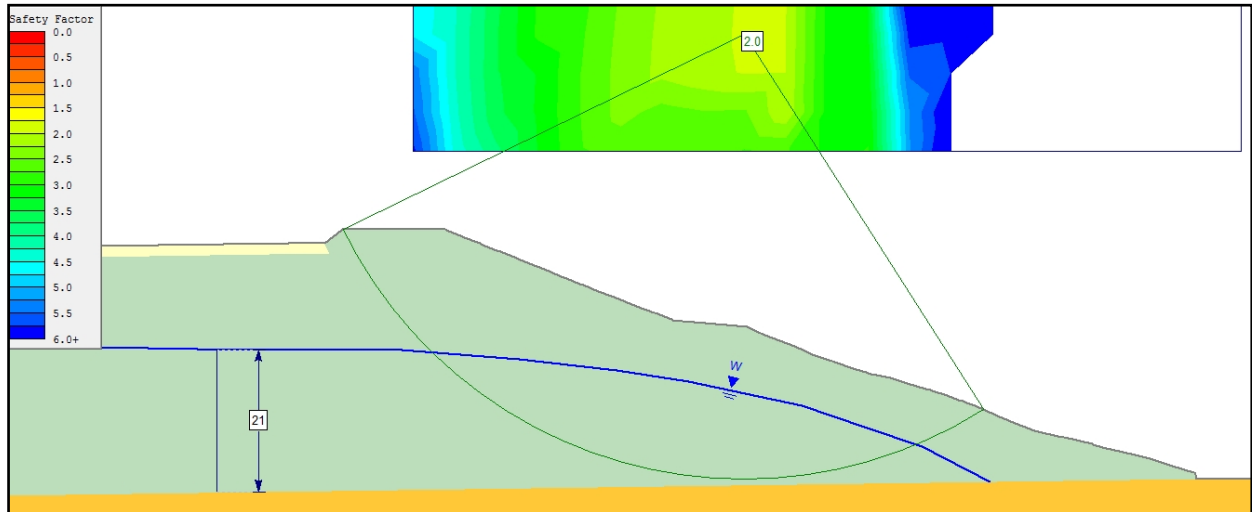
Perfil 3 Análisis Estático FS= 2,2



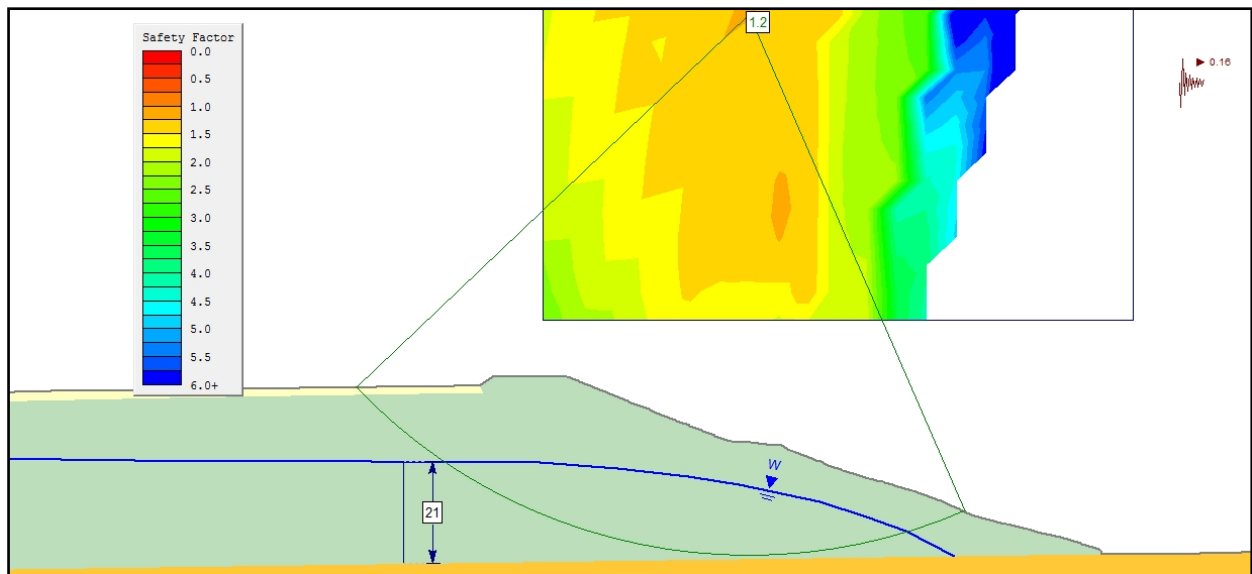
Perfil 3 Análisis Pseudo-Dinámico FS=1,2



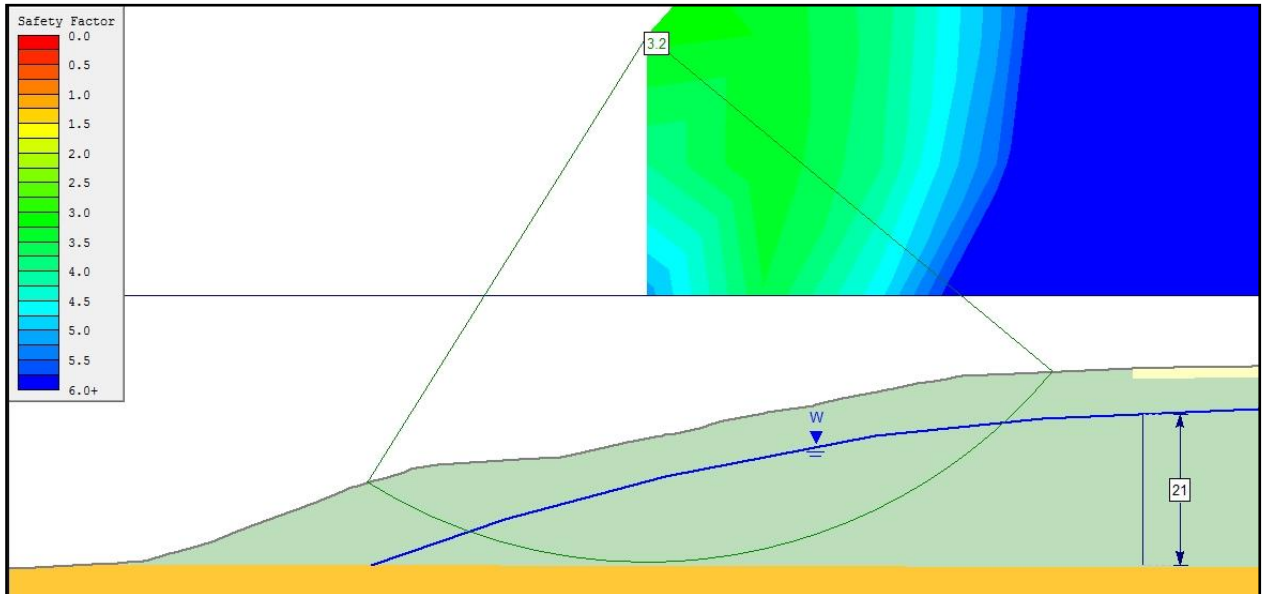
Perfil 4 Análisis Estático FS= 2,0



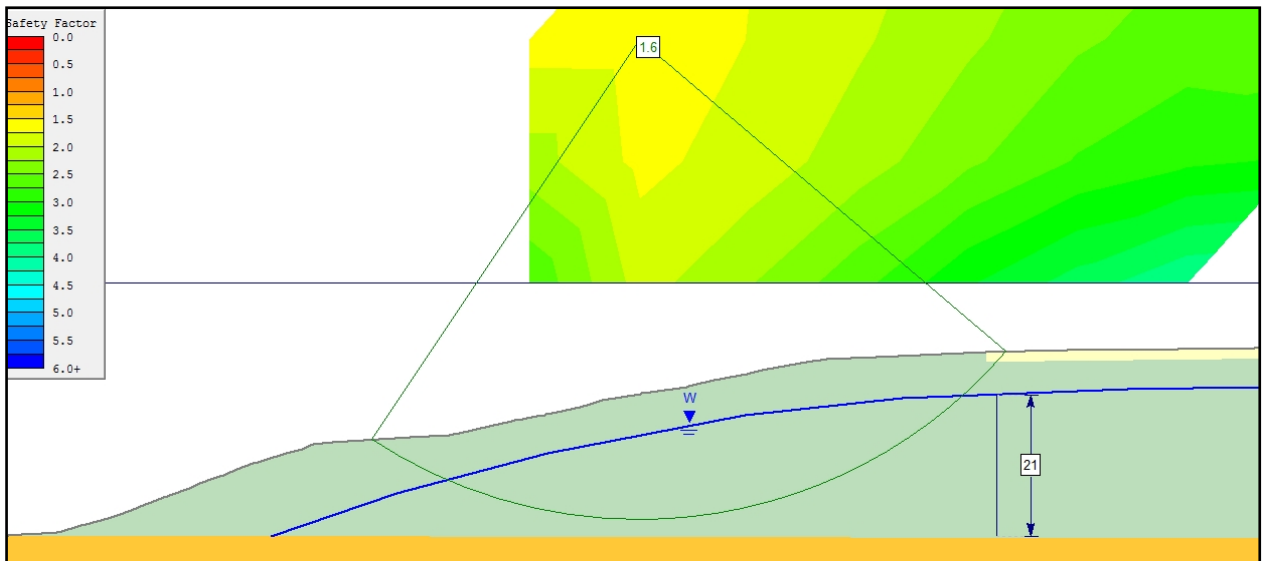
Perfil 4 Análisis Pseudo-Dinámico FS=1,2



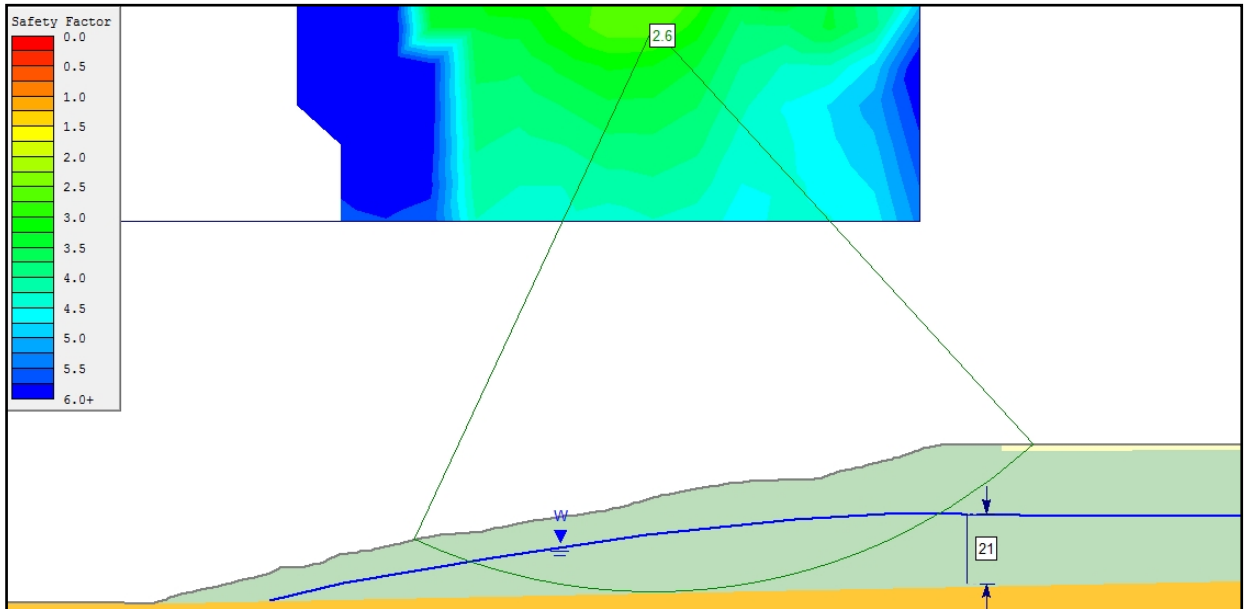
Perfil 5 Análisis Estático FS= 3,2



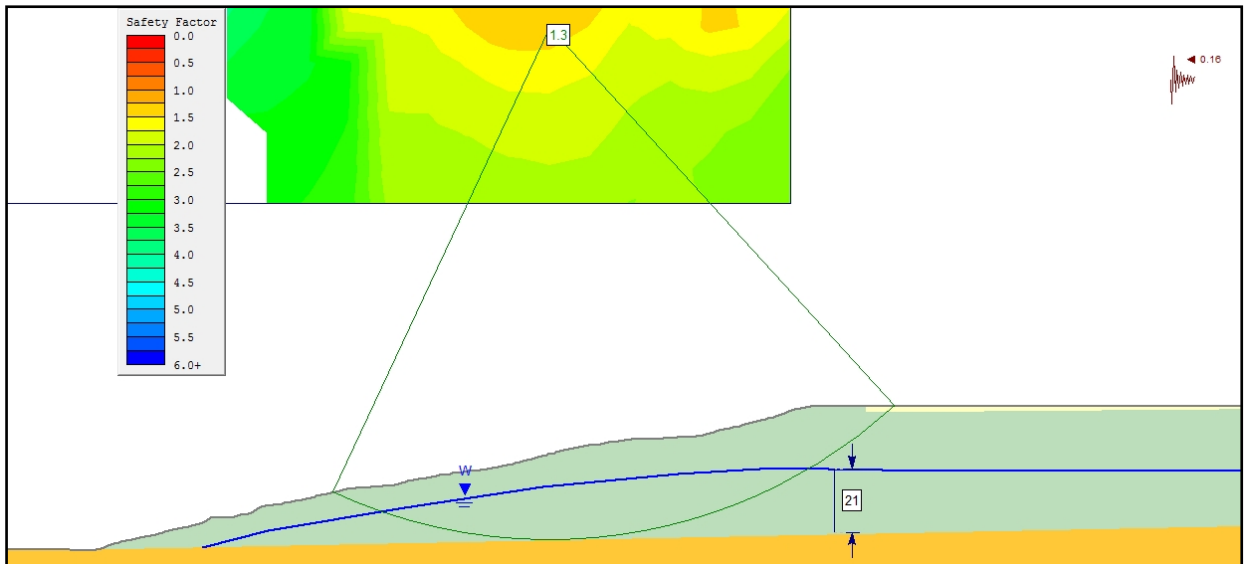
Perfil 5 Análisis Pseudo-Dinámico FS=1,6



Perfil 6 Análisis Estático FS= 2,6

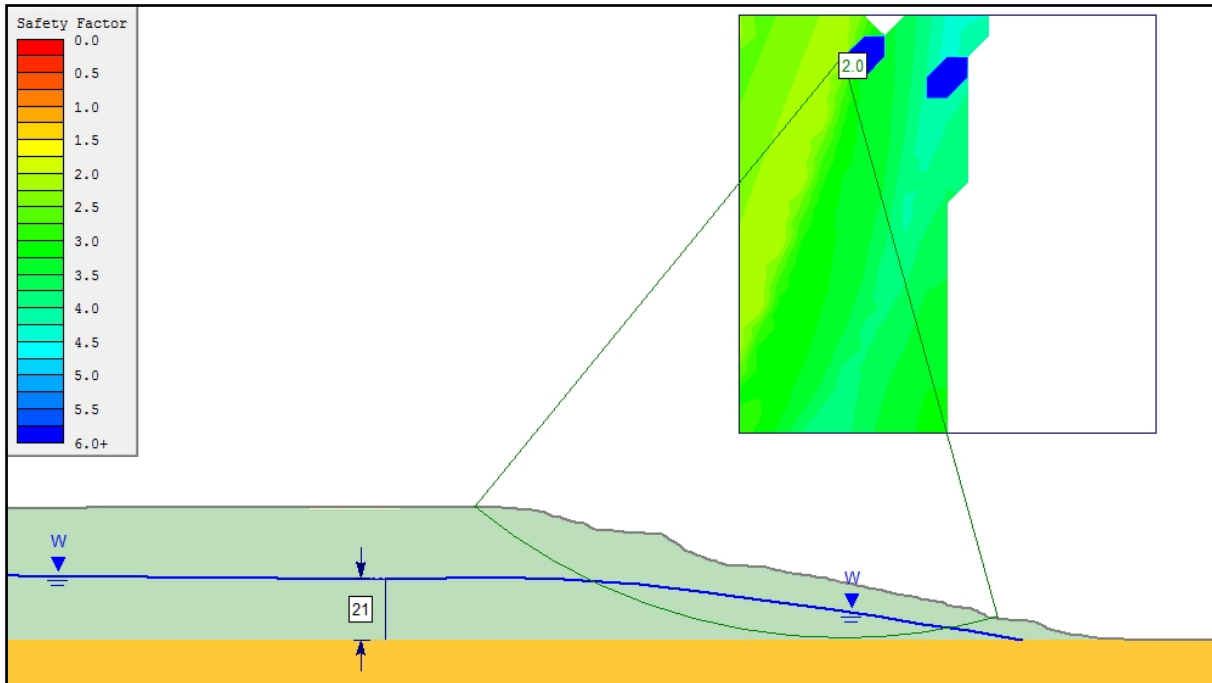


Perfil 6 Análisis Pseudo-Dinámico FS=1,3

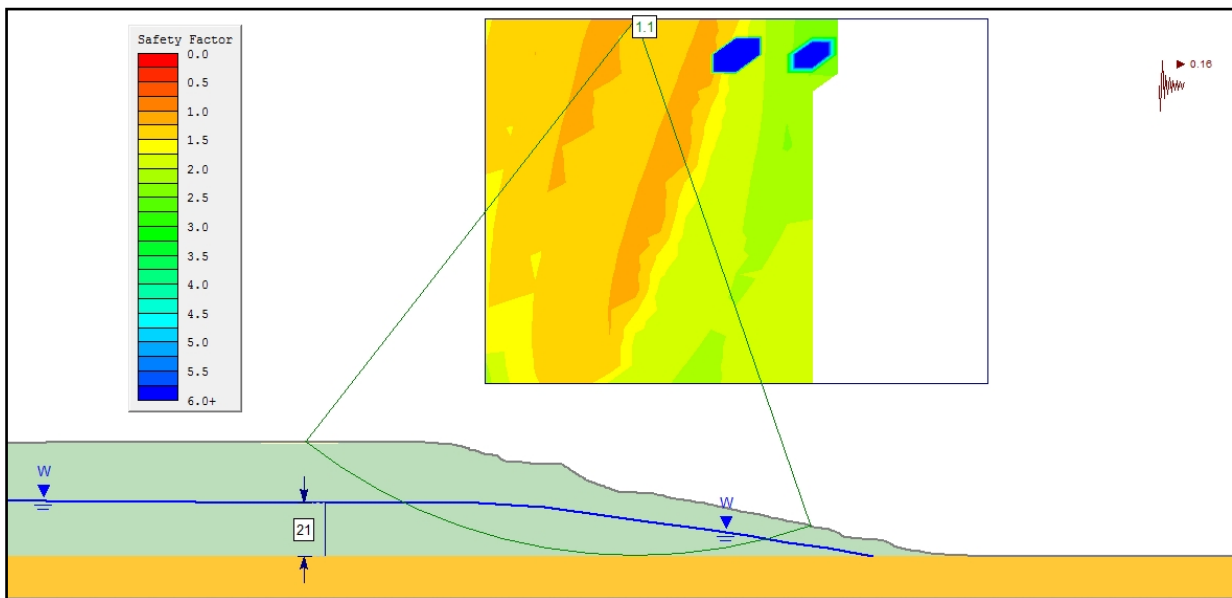


14. ANEXO GRAFICOS DE RESULTADOS: CON CO-DISPOSICION.

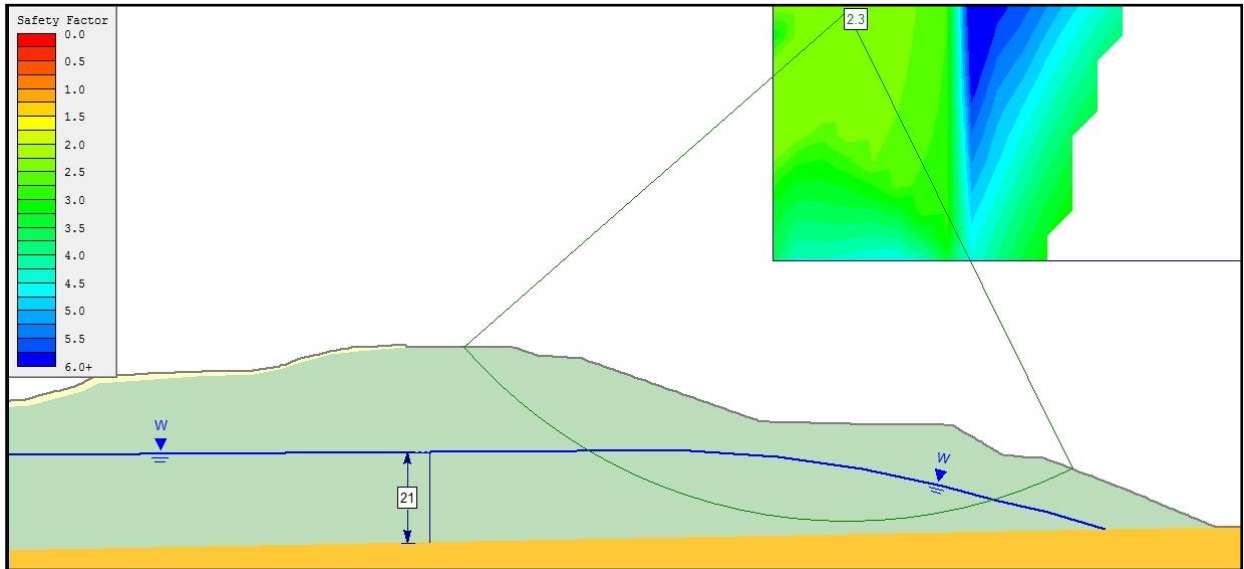
Perfil 1 Análisis Estático FS= 2,0



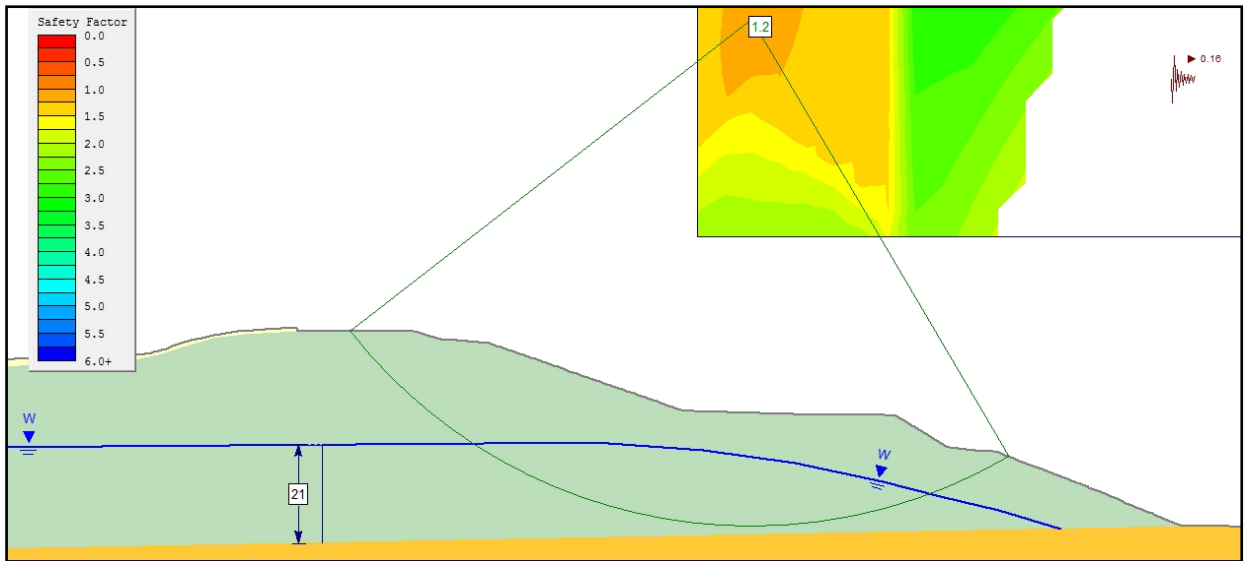
Perfil 1 Análisis Pseudo-Dinámico FS=1,1



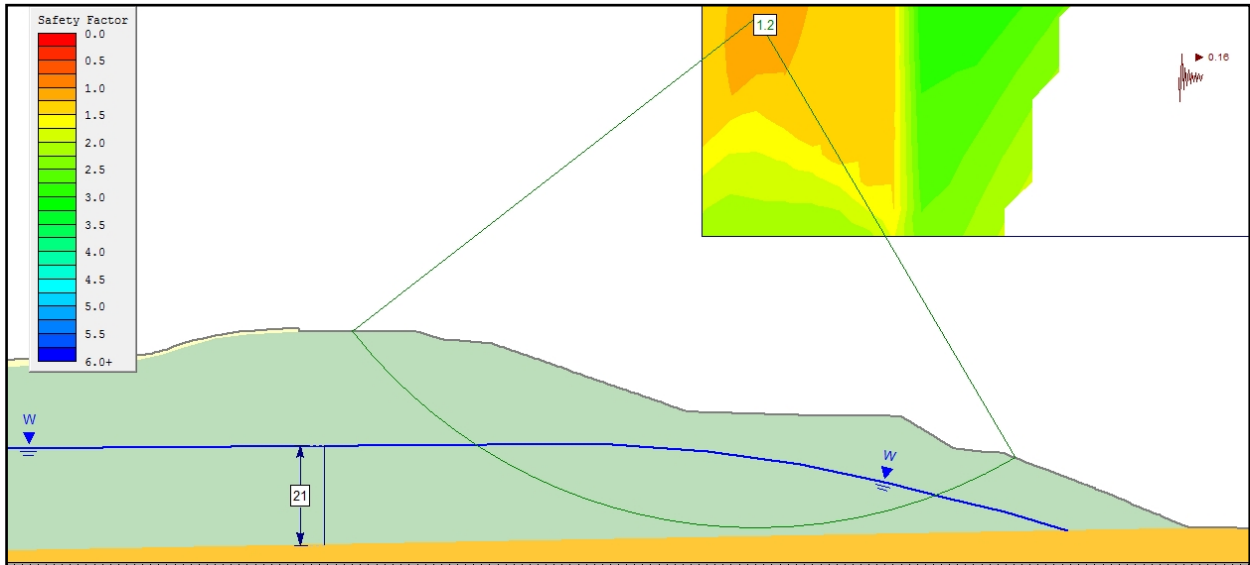
Perfil 2 Análisis Estático FS= 2,3



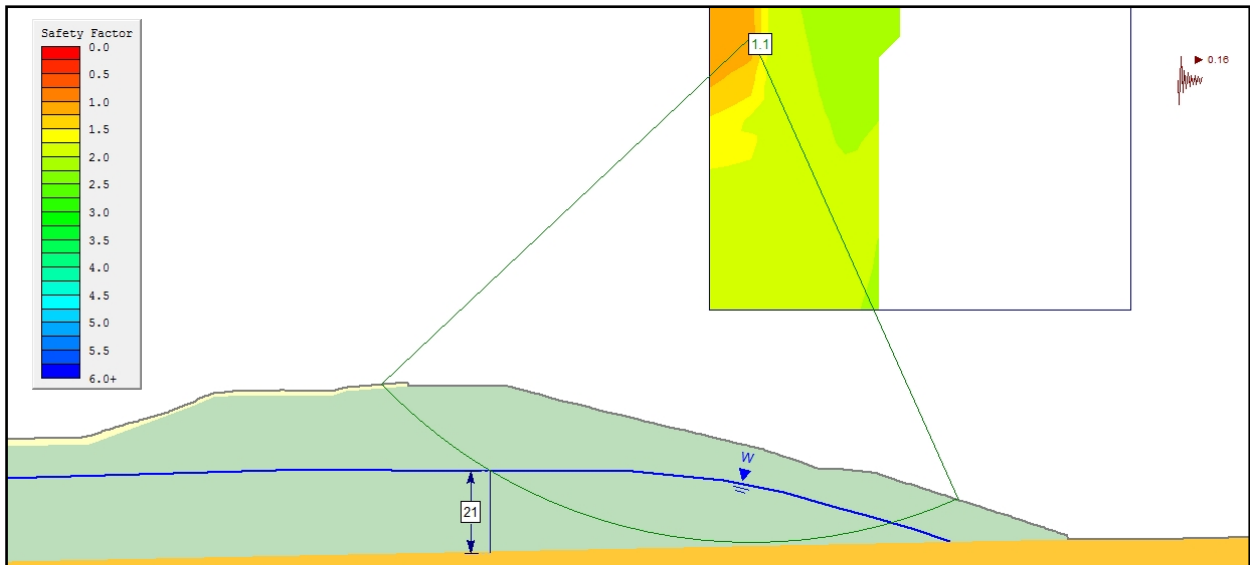
Perfil 2 Análisis Pseudo-Dinámico FS=1,2



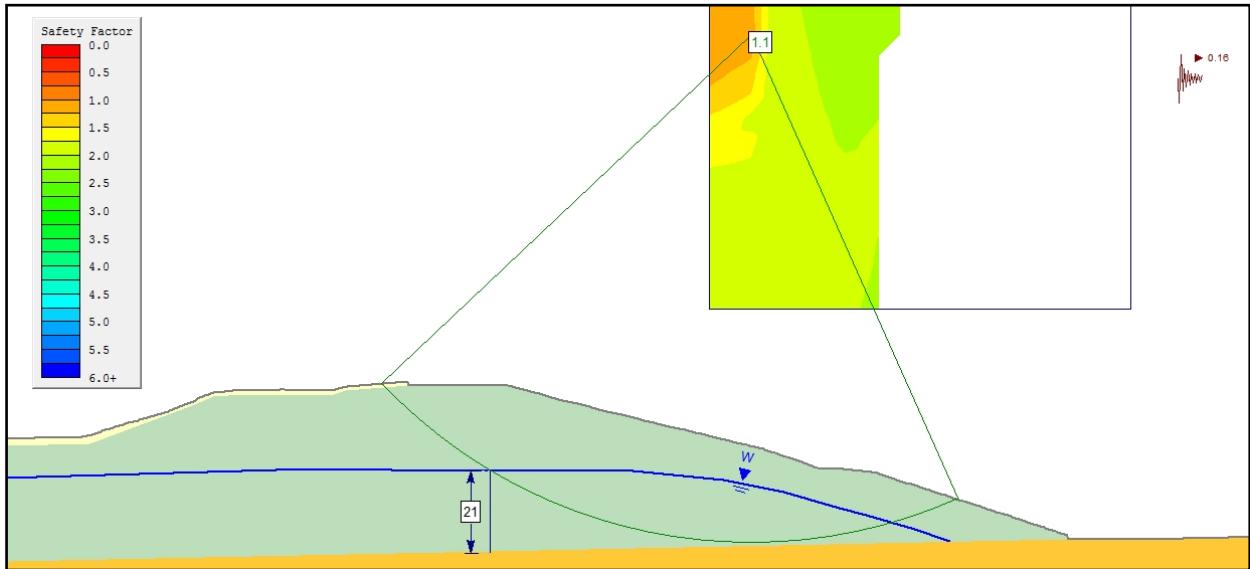
Perfil 3 Análisis Estático FS= 2,0



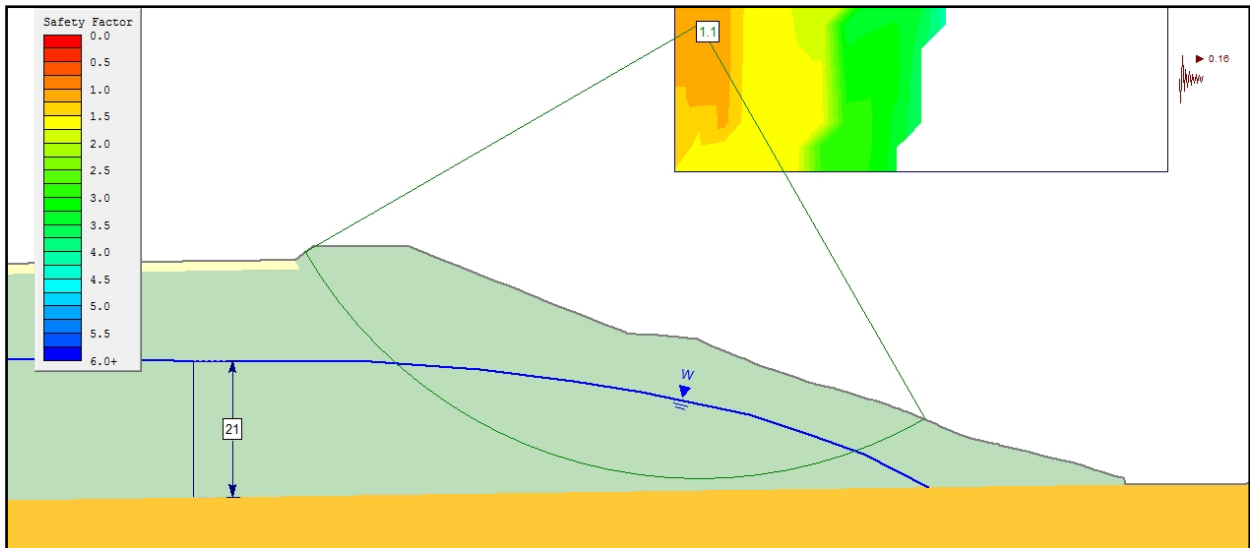
Perfil 3 Análisis Pseudo-Dinámico FS= 1,1



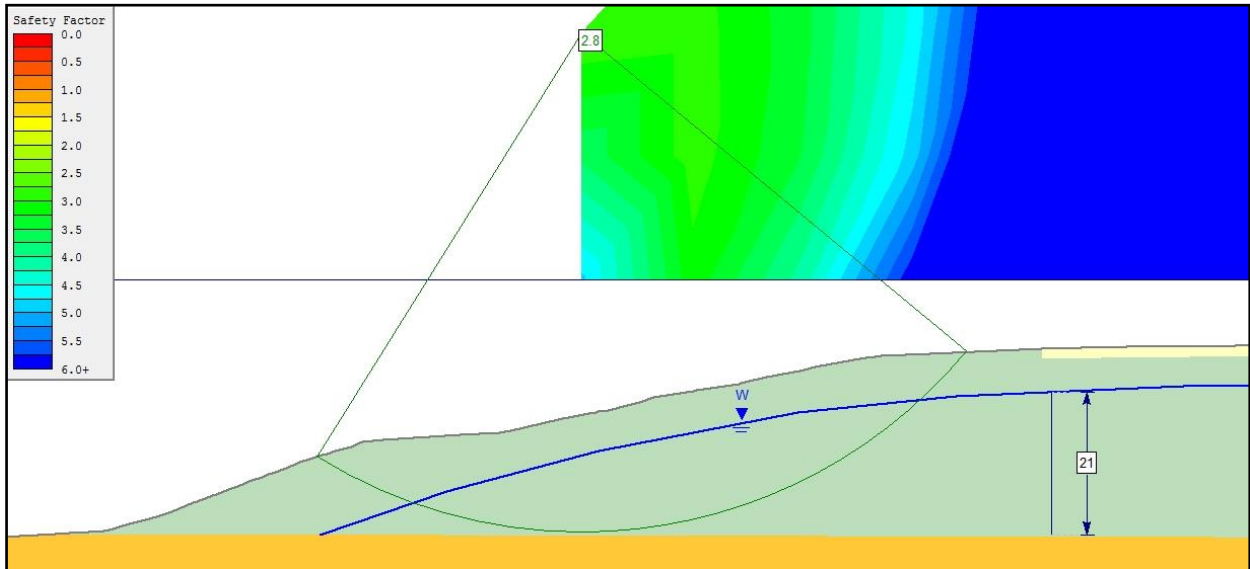
Perfil 4 Análisis Estático FS= 1,8



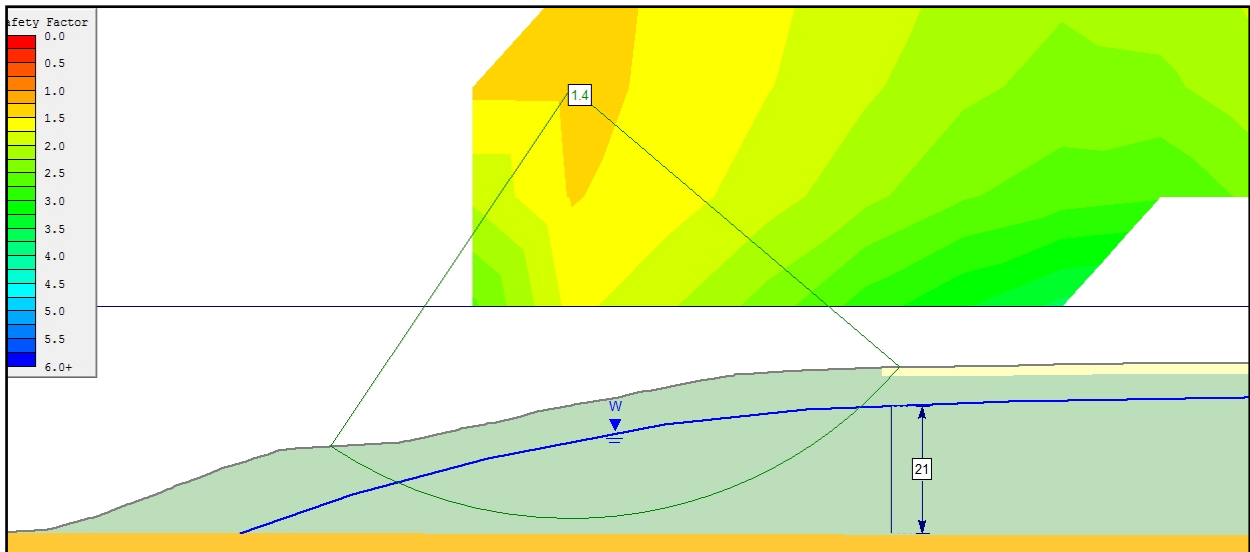
Perfil 4 Análisis Pseudo-Dinámico FS= 1,1



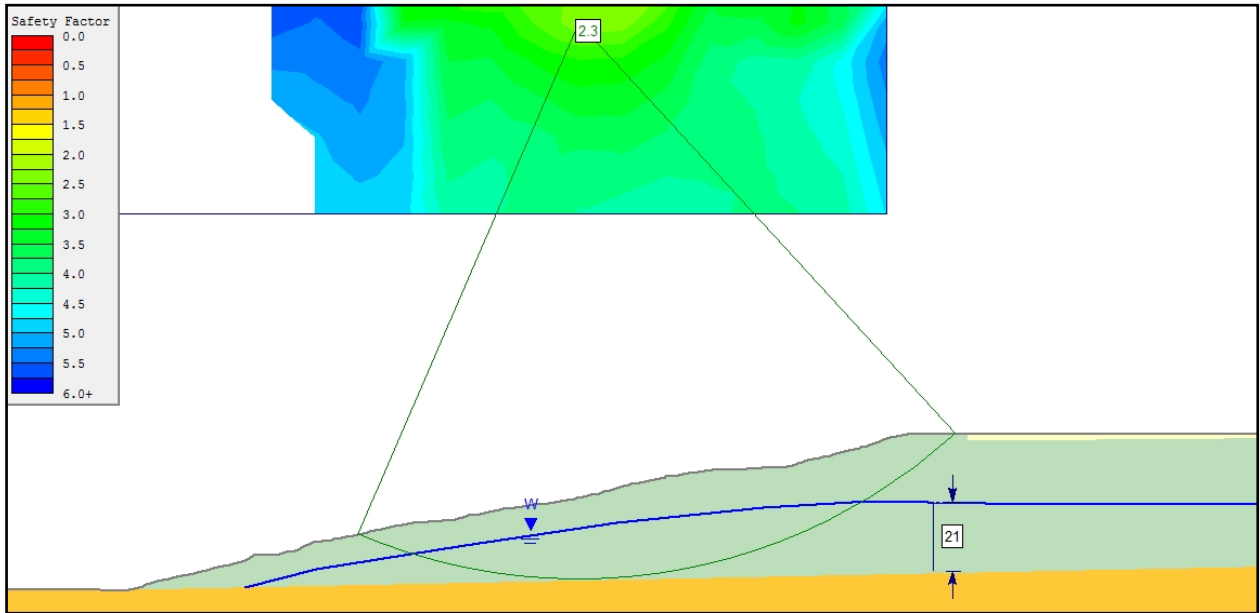
Perfil 5 Análisis Estático FS= 2,8



Perfil 5 Análisis Pseudo-Dinámico FS= 1,4



Perfil 6 Análisis Estático FS= 2,3



Perfil 6 Análisis Pseudo-Dinámico FS= 1,2

