

# CONDICIÓN DE ESTABILIDAD BOTADEROS DE MATERIALES ESTÉRILES - FAENAS MINERAS DIOMEDES CRUZ



Franklin Gallardo Araya  
Ingeniero Civil de Minas (Geomecánico)

## TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	2
2	BOTADERO DE ESTERILES MINA MIRADOR ETAPA II.....	2
3	BOTADERO DE ESTERILES MINA MARISOL ETAPA II .....	3
4	BOTADERO DE ESTERILES MINA ROSARIO.....	4
5	BOTADERO DE ESTERILES 779.....	5
6	BOTADERO DE ESTERILES MINA EMILIA ETAPA II.....	5
7	BOTADERO MINA JUANA 1/5 Y MINA EMILIA 1/20 (2008) .....	6
8	SIMULACIÓN DE ESTABILIDAD .....	7
9	COMENTARIOS Y CONCLUSIONES .....	13
10	ANEXOS .....	14

## 1 INTRODUCCIÓN

El presente informe tiene por finalidad dar a conocer la condición actual de estabilidad de los botaderos de material estéril y cancha de acopio de minerales que se identifican a continuación:

Mirador Etapa II  
Marisol Etapa II  
Rosario  
779  
Emilia Etapa II  
Cancha de Mineral.

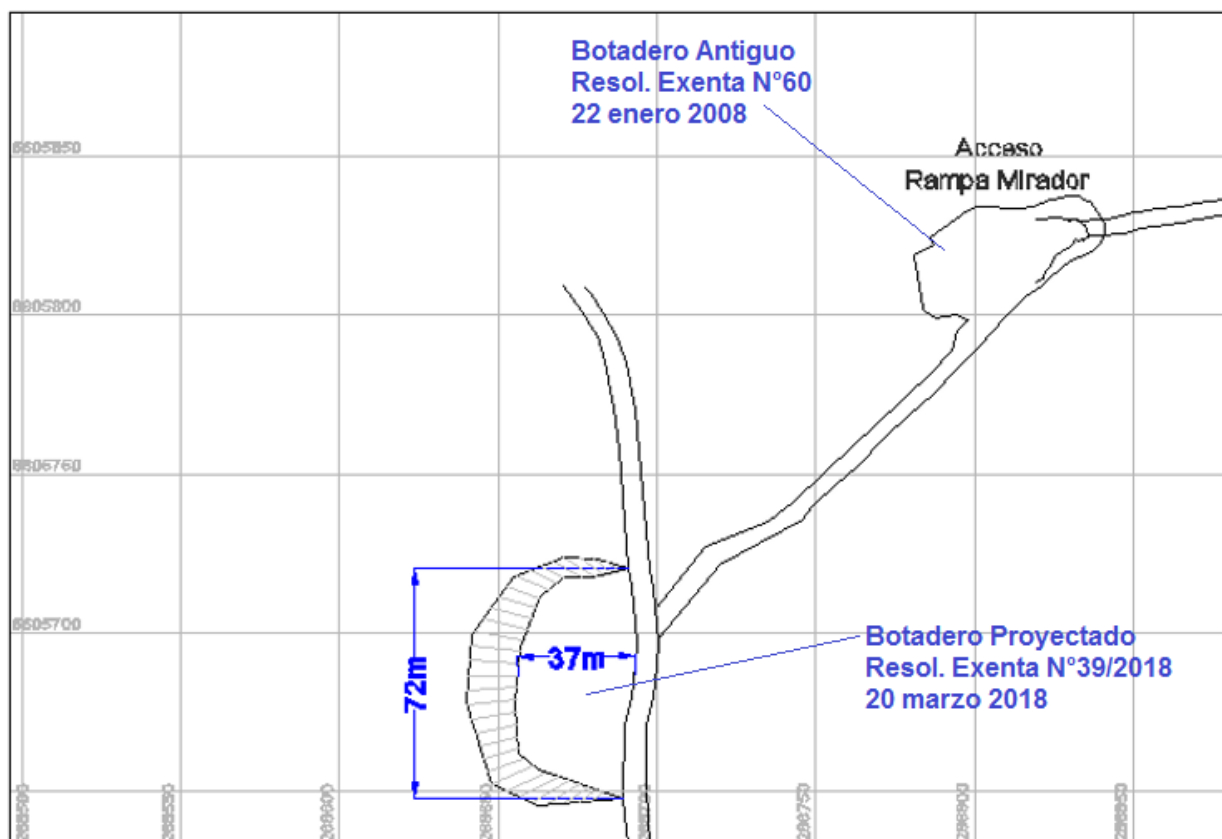
## 2 BOTADERO DE ESTERILES MINA MIRADOR ETAPA II

La aprobación de botadero actual está enmarcado dentro del Proyecto de Explotación “Mina Mirador Etapa II” aprobado por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) de acuerdo a Resolución Exenta N°39/2018 del 20 de marzo de 2018.

En las cercanías de portal Mina Mirador se dispone un botadero antiguo el cual se construyó de acuerdo a Resolución Exenta N°60 de 22 de enero del 2008.

El botadero proyectado está emplazado en las coordenadas UTM (PSAD-56) Norte: 6.605.686, Este: 288.670, Cota 412 m.s.n.m. y reúne las características que se detallan a continuación:

- Largo (metros) : 72 m
- Ancho (metros) : 37 m
- Altura max.(metros) : 15 m
- Angulo Reposo ( grados) : 34 °
- Densidad Insitu : 2,7 ton/m3
- Densidad mat. esponjado “Dap” : 1,61-1.81 ton/m3
- Esponjamiento “Esp” : 33-40 %



**Imagen 1** Ubicación Botadero Mina Mirador.

### 3 BOTADERO DE ESTERILES MINA MARISOL ETAPA II

La aprobación de botadero actual está enmarcado dentro del Proyecto de Explotación “Mina Marisol Etapa II” aprobado por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) de acuerdo a Resolución Exenta N°506/2017.

El botadero está emplazado en las coordenadas UTM (PSAD-56) Norte: 6.605.603, Este: 288.626, Cota 404 m.s.n.m., se dispone 70 m al norte de botadero actual, y reúne las características que se detallan a continuación:

- Altura max.(metros) : 12 m
- Angulo Reposo ( grados) : 31°
- Densidad Insitu : 2,7 ton/m3
- Densidad mat. esponjado “Dap” :1,61-1.81 ton/m3
- Esponjamiento “Esp” : 33-40 %
- Capacidad Proyectada : 40.000 toneladas

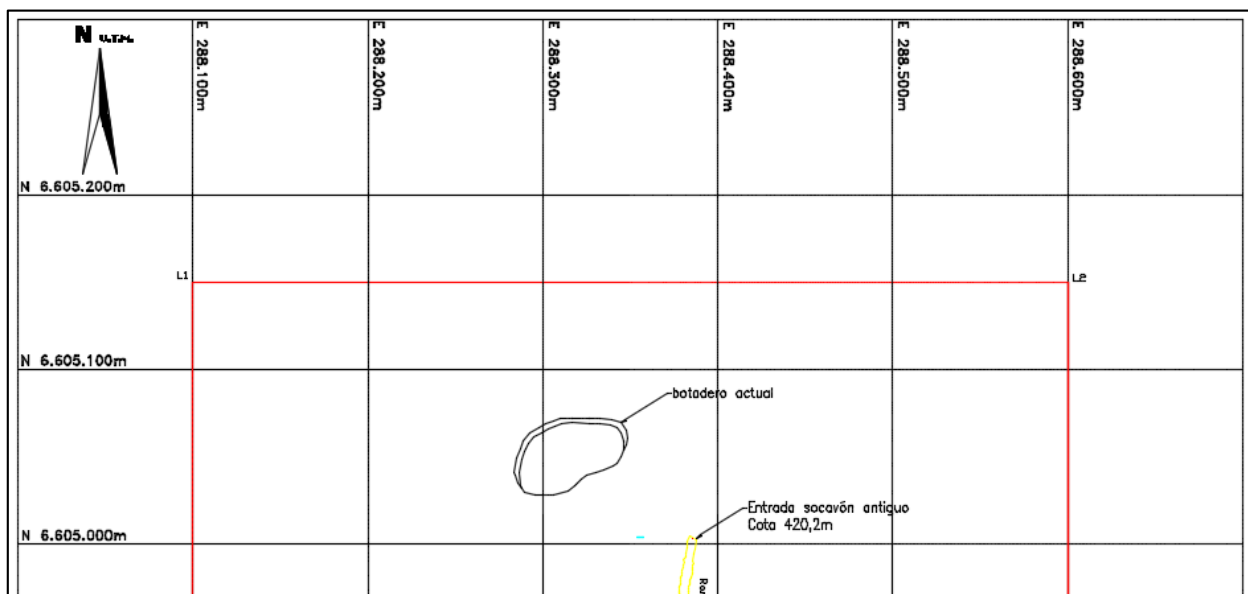
- Superficie de Plataforma : 1.413 mts<sup>2</sup>
- Forma : Semicircular

#### 4 BOTADERO DE ESTERILES MINA ROSARIO

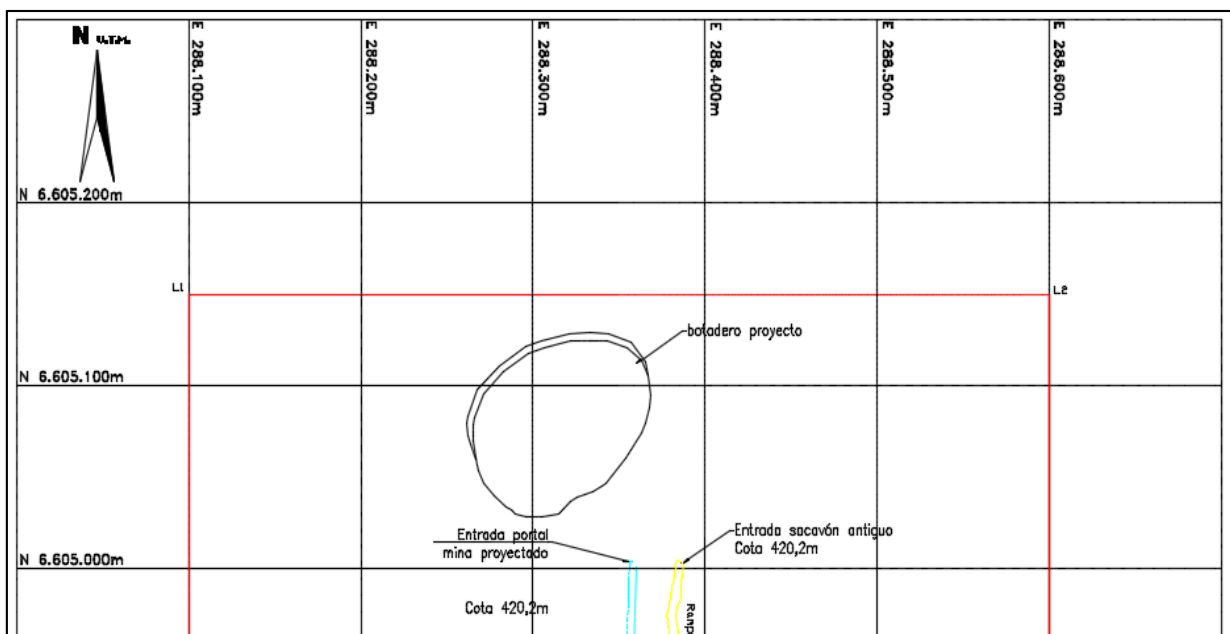
La aprobación de botadero actual está enmarcado dentro del Proyecto de Explotación “Mina Rosario” aprobado por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) de acuerdo a Resolución Exenta N°1179/2015.

El botadero está emplazado en las coordenadas UTM (PSAD-56) Norte: 6.605.052, Este: 288.314, Cota 425 m.s.n.m., se dispone a unos 80 m del portal mina, y reúne las características que se detallan a continuación:

- Altura máx.(metros) : 14 m
- Angulo Reposo ( grados) : 35 °
- Densidad Insitu : 2,7 ton/m3
- Densidad mat. esponjado “Dap” :1,61 - 1,81 ton/m3
- Esponjamiento “Esp” : 33-40 %
- Capacidad Proyectada : 142.066 toneladas (52.617 m<sup>3</sup>)
- Superficie de Plataforma : 7.436 m<sup>2</sup>
- Forma : Semicircular



**Imagen 2** Situación inicial.



**Imagen 3** Situación final proyectada.

## 5 BOTADERO DE ESTERILES 779

El botadero 779 detallado en “Proyecto Botadero de Estériles Minas Juana – Emilia – Mirador” fue aprobado por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) de acuerdo a Resolución Exenta N°779/2012 con fecha 30 de agosto de 2012.

Este botadero en la actualidad no está en uso por haber completado la capacidad de depositación autorizada. En la actualidad su plataforma superior es utilizada como un sector de bodegaje menor.

El botadero está emplazado en las coordenadas UTM (PSAD-56) Norte: 6.604.800, Este: 288.400, Cota 480 m.s.n.m.

## 6 BOTADERO DE ESTERILES MINA EMILIA ETAPA II

La aprobación de botadero actual está enmarcado dentro del Proyecto de Explotación “Mina Emilia Etapa II” aprobado por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) de acuerdo a Resolución Exenta N°0411/2016, del 21 de marzo de 2016.

El botadero está emplazado en las coordenadas UTM (PSAD-56) Norte: 6.604.846, Este: 288.564, Cota 458 m.s.n.m., se dispone a unos 470 m al norte del portal mina, y reúne las características que se detallan a continuación:

- Altura máx.(metros) : 12 m
- Angulo Reposo ( grados) : 31°
- Densidad Insitu : 2,7 ton/m3
- Densidad mat. esponjado “Dap” :1,61-1,81 ton/m3
- Esponjamiento “Esp” : 33-40 %
- Capacidad Proyectada : 75.700 toneladas
- Superficie de Plataforma : 1.413 m<sup>2</sup>
- Forma : Semicircular

## 7 BOTADERO MINA JUANA 1/5 Y MINA EMILIA 1/20 (Cancha acopio de minerales)

El botadero descrito a continuación corresponde al botadero de estériles asociados a los Proyectos de Explotación “Mina Emilia 1/20” y “Mina Juana 1/5” aprobados por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) de acuerdo a las siguientes resoluciones:

- Resolución Exenta N°102/2008, del 01 de febrero de 2008.  
“Proyecto de Explotación Mina Emilia 1/20”

- Resolución Exenta N°82/2008, del 28 de enero de 2008.  
“Proyecto de Explotación Mina Juana 1/5”

**Este botadero corresponde a la actual cancha de acopio de minerales de las faenas mineras Juana y Emilia**, depositándose en la plataforma superior de éste, el mineral que se extrae de interior mina para ser acondicionado previo a su transporte a poderes compradores.

El punto central de dicho botadero posee las coordenadas UTM (PSAD-56) Norte: 6.604.580, Este: 288.232, Cota 481 m.s.n.m.

Este acopio de materiales estériles mantiene condiciones de estabilidad en el tiempo, el evento sísmico registrado con fecha 27 de febrero de 2010, sismo con efecto “tsunami destructor y mayor (TD)” según clasificación del Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile, no afectó la estabilidad de dicho acopio.

Resumen de las características de plataforma cancha de acopio:

- Largo (metros) : 230 m
- Ancho superior (metros) : 41 m
- Altura (metros) : 23 m (desde cota 457 a 480)
- Angulo Reposo (grados) : 35°
- Densidad Insitu : 2,7 ton/m<sup>3</sup>
- Densidad mat. esponjado “Dap” : 1,61-1,81 ton/m<sup>3</sup>
- Esponjamiento “Esp” : 33-40 %
- Superficie de Plataforma Superior : 11.800 m<sup>2</sup> aprox.

## 8 SIMULACIÓN DE ESTABILIDAD

Para los botaderos mencionados en las páginas anteriores se realiza una simulación de estabilidad utilizando los siguientes valores para las propiedades geotécnicas de los materiales a depositar y fundación, valores comunes disponibles en la literatura técnica. Los valores descritos a continuación son aquellos señalados dentro de los proyectos de explotación (ya aprobados según resoluciones descritas) respectivos para cada faena minera.

Materiales estériles:

Peso unitario : 17,6418 kN/m<sup>3</sup>

Ángulo fricción Interna : 31 - 35°

Materiales fundación:

Peso unitario : 19,1217 kN/m<sup>3</sup>

Ángulo fricción Interna : 38°

Criterios de aceptabilidad:

Los criterios de aceptabilidad, corresponde a los valores de factores de seguridad exigidos por SERNAGEOMIN al analizar proyectos que involucren análisis de estabilidad de botaderos de materiales estériles de iguales características. Éstos se basan en los habitualmente en botaderos de este tipo de acopio y corresponden a los siguientes criterios:

- Condición Estática:



Factores de seguridad (FS) mayores o iguales a 1,3.  
Probabilidad de falla (PF) menores o iguales a 10%.

➤ Condición de Análisis Operacional:

Factores de seguridad (FS) mayor o iguales a 1,2.  
Probabilidad de falla (PF) menores o iguales a 25%.

➤ Condición de Análisis de Abandono:

Factores de seguridad (FS) mayores o iguales a 1,2  
Probabilidad de falla (PF) menores o iguales a 50%.

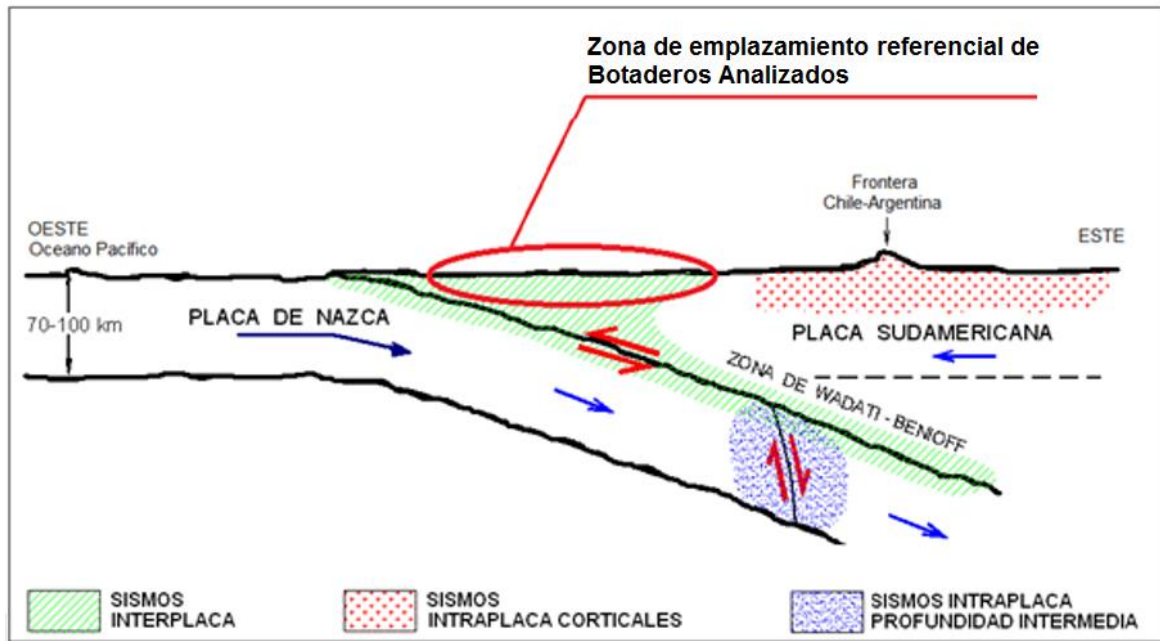
### Sismicidad y Riesgo Sísmico

La principal causa de la sismicidad a largo de Chile es la subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana. La subducción de la Placa de Nazca se realiza según un plano inclinado hacia el Este, denominado Plano o Zona de Benioff, en donde el movimiento relativo de ambas placas produce tensiones y deformaciones a lo largo del plano de Benioff que, cuando son liberadas, originan la casi totalidad de los sismos de la región (sismos interplaca o sismos Zona de Benioff).

Además, debido a los esfuerzos a que están sometidas las placas producto de su interacción, también existen sismos al interior de ellas (sismos intraplaca). Estos sismos tienen lugar en la parte superior de la Placa Sudamericana y en el interior de la placa oceánica que subduce (Placa de Nazca). Los sismos que ocurren en la parte superior de la Placa Sudamericana, debido a que la profundidad de sus hipocentros no sobrepasan los 30 km, se denominan sismos corticales, a diferencia de los sismos que ocurren al interior de la placa que subduce (Placa de Nazca), que tienen epicentros de profundidad variable, dependiendo de su distancia a la fosa marina. Este último tipo de sismos se denominan sismos intraplaca de profundidades intermedias, pudiendo ser tensionales o compresionales.

Considerando los párrafos anteriores y la imagen n°4 anterior, el área de emplazamiento de los botaderos analizados podría estar afectada por sismos Interplaca Subductivos (Zona de Benioff).

Los sismos interplaca subductivos están condicionados principalmente por la interacción entre la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana. Se caracterizan por una gran magnitud, determinada principalmente por la gran velocidad de convergencia relativa entre las placas y el fuerte grado de acoplamiento mecánico existente entre ellas.



**Imagen 4** Esquema Subducción Placa de Nazca.

En Chile se distinguen tres zonas sísmicas, cada zona sísmica está asociada a una determinada aceleración efectiva. Los botaderos de materiales estériles analizados están emplazado en la zona sísmica n° 3, zona que de acuerdo a la zonificación establecida en la Norma Chilena (NCh 433. Of. 96) establece una aceleración máxima efectiva ( $A_o$ ) de 0,40g.

De acuerdo a la zona sísmica asociada a los botaderos analizados se establecen 2 tipos de eventos sísmicos:

- **Sismo de servicio u operación (SDO):**  
Correspondiente a un sismo de intensidad moderada, pero con una alta probabilidad de ocurrencia durante la vida útil del proyecto. El SDO queda definido por un evento sísmico con un periodo de retorno de 75 años, y cuya intensidad tiene una probabilidad de excedencia del 50%, con una aceleración máxima horizontal de 0,4g.
- **Terremoto máximo probable (TMP):**  
Para la condición Sismo Máximo Creíble se consideró un evento sísmico con características similares al sismo del 27 de Febrero de 2010, con un coeficiente sísmico horizontal muy conservador igual 0,2g.

Conforme con esto, para evaluar la estabilidad de los botaderos en condición dinámica (SDO) se utilizaran los coeficientes sísmicos horizontales, en donde a partir de las recomendaciones de Bard et al. (2005) para este tipo de estructuras, las cuales proponen para estimar la expresión obtenida por Saragoni (1993), para sismos de aceleración máxima inferior a 0.67g ( $k_h = 0.3 * a_{max} / g$ ).

Sismo de Operación (SDO):

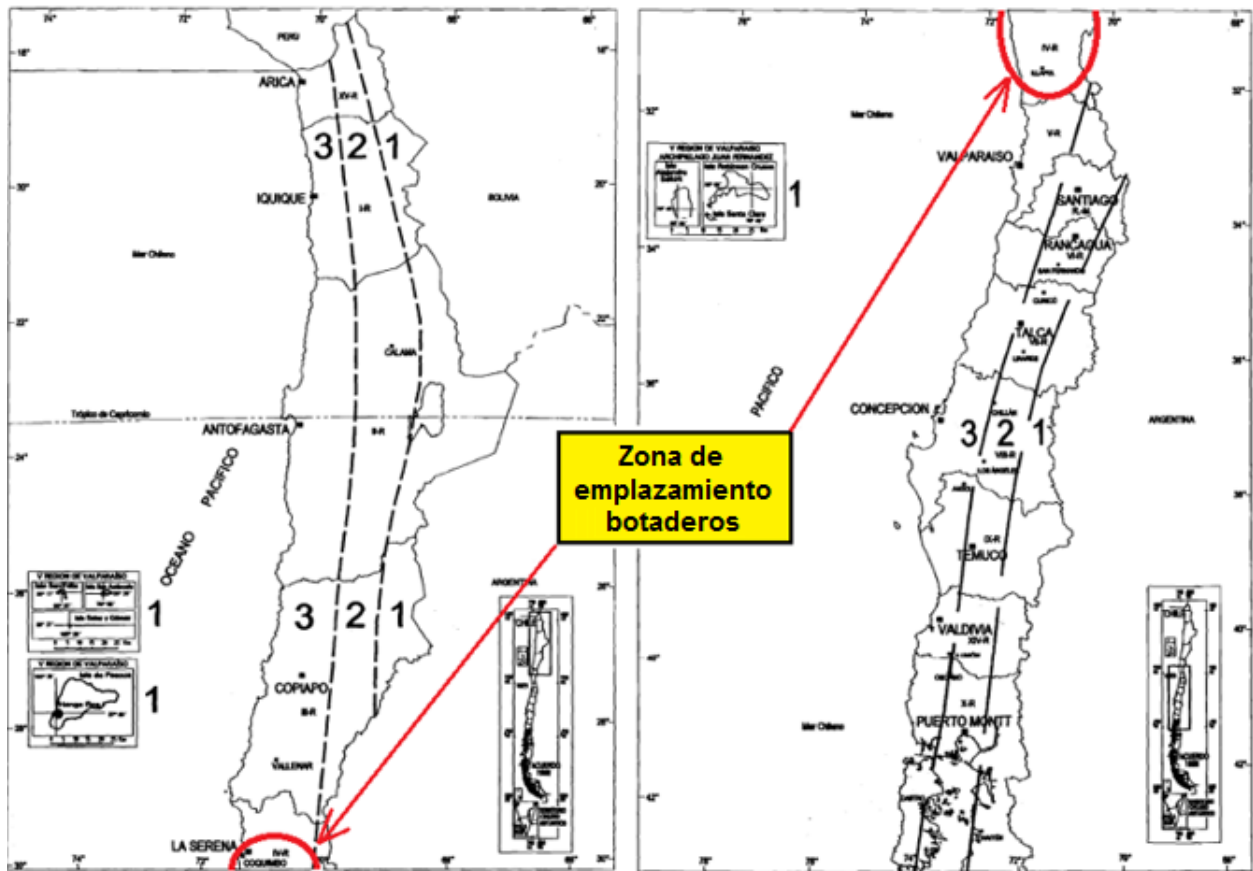
$k_h = 0,1107 \text{ g}$

Considera expresión de Saragoni (1993).

Terremoto Máximo Probable (TMP):

$k_h = 0,20 \text{ g}$

Respecto a sismo máximo probable y al sismo del 27 de febrero de 2010.



**Imagen 5** Zonificación sísmica del área de emplazamiento del botadero.

Para evaluar la estabilidad del botadero se utilizó el método convencional de equilibrio límite, analizando potenciales superficies de falla y determinando el Factor de Seguridad mínimo (FS) para dichas superficies, el cual se define como el cociente entre la resistencia al corte disponible y la resistencia al corte movilizada. Para el análisis de estabilidad se utilizó el software SLIDE 5.0 de Rocscience, el cual permite, a través del método de equilibrio límite de Bishop Simplificado (entre otros), obtener el factor de seguridad mínimo para potenciales superficies de falla.

El procedimiento de análisis utilizado para evaluar la estabilidad de los botaderos actuales considerando evaluar la probabilidad de falla, es mediante el método propuesto por Duncan (2000). Para esto se supuso que la incerteza en las propiedades de resistencia pueden representarse mediante coeficientes de variación del  $\pm 10\%$  y del  $\pm 40\%$  para el ángulo de fricción y la cohesión, respectivamente. No se consideró la presencia de niveles freáticos al interior del cuerpo del botadero.

El análisis de estabilidad considera secciones más representativas de la línea de máxima pendiente (condición más desfavorable).

#### Método de análisis:

Los análisis de estabilidad se realizaron mediante la aplicación de métodos de equilibrio límite bidimensionales. Estos métodos permiten asociar factores de seguridad a potenciales superficies de deslizamiento con una geometría definida. El factor de seguridad depende de la geometría de la potencial superficie de deslizamiento, de las propiedades de resistencia al corte de los materiales involucrados y de las condiciones particulares que presenta la situación analizada.

Actualmente el análisis de estabilidad de taludes en este tipo de estructuras es realizado empleando métodos de equilibrio límite (MEL), procedimientos geotécnicos clásicos aceptados tanto por la práctica nacional como internacional.

Los análisis bidimensionales permiten determinar factores de seguridad asociados a un gran número de potenciales superficies de deslizamiento. Este programa presenta, entre otras, las siguientes virtudes:

- Evaluar geometrías con varios tipos de suelos con distintas propiedades geotécnicas,
- Adoptar distintos modelos de resistencia al corte de los suelos,
- Analizar distintos tipos de potenciales superficies de deslizamiento (planas, circulares y definidas por el usuario),
- Verificar los resultados con distintos métodos de equilibrio límite.

Para evaluar la estabilidad del depósito durante la ocurrencia de un evento sísmico, se realizó un análisis pseudo-estático. Este análisis consiste en imponer fuerzas horizontales al potencial volumen de deslizamiento, que representan las fuerzas sísmicas inerciales. Estas fuerzas, que son proporcionales a la masa deslizante, se definen a través de coeficientes sísmicos.

En los taludes mineros podemos diferenciar taludes del macizo rocoso formador de rajo abierto y taludes de material apilable, estos últimos de cohesión casi nula. Aquí es importante considerar la acción compactadora que ejerce el camión cargado o equipos permitiendo aumentar

la cohesión en función de la altura del material estéril la cual por revisión de literatura técnica puede ajustarse a lo siguiente:

<u>Altura</u>	<u>Cohesión*</u>
16 m	40 KPa
25 m	75 KPa
50 m	127 KPa
75 m	166 KPa
100 m	196 KPa
150 m	150 KPa

Para el caso del análisis de estabilidad realizado a la cancha de acopio de minerales se utiliza un valor de cohesión en función de la altura de la plataforma.

Los factores de seguridad reportados se calcularon mediante el método de Bishop Simplificado. Se adjuntan en Anexo-A la visualización de la simulación realizada.

<b>BOTADERO</b>	<b>CONDICIÓN SISMICA</b>	<b>FACTORES DE SEGURIDAD</b>	<b>PROBABILIDAD DE FALLA</b>
<b>Mirador Etapa II</b>	Terremoto Máx. Probable	1,305	0,00%
	Sismo de Operación	1,402	0,00%
	Estática	1,720	0,00%
<b>Marisol Etapa II</b>	Terremoto Máx. Probable	1,320	0,00%
	Sismo de Operación	1,386	0,00%
	Estática	1,715	0,00%
<b>Rosario</b>	Terremoto Máx. Probable	1,311	0,00%
	Sismo de Operación	1,415	0,00%
	Estática	1,762	0,00%
<b>779</b>	Terremoto Máx. Probable	1,315	0,00%
	Sismo de Operación	1,398	0,00%
	Estática	1,737	0,00%
<b>Emilia Etapa II</b>	Terremoto Máx. Probable	1,319	0,00%
	Sismo de Operación	1,421	0,00%
	Estática	1,781	0,00%
<b>Cancha de minerales</b>	Terremoto Máx. Probable	1,302	0,00%
	Sismo de Operación	1,403	0,00%
	Estática	1,725	0,00%

**Tabla 1** Factores de seguridad para cada condición sísmica y botadero descrito.

## 9 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

De acuerdo a lo analizado para los botaderos Mirador Etapa II, Marisol Etapa II, Rosario, 779, Emilia Etapa II y Cancha de Acopio de Minerales se puede determinar que éstos mantienen condiciones de estabilidad bajos los parámetros utilizados en la presente simulación. Los factores de seguridad obtenidos para cada condición de sismicidad son apropiados de acuerdo a los criterios de aceptabilidad establecidos.

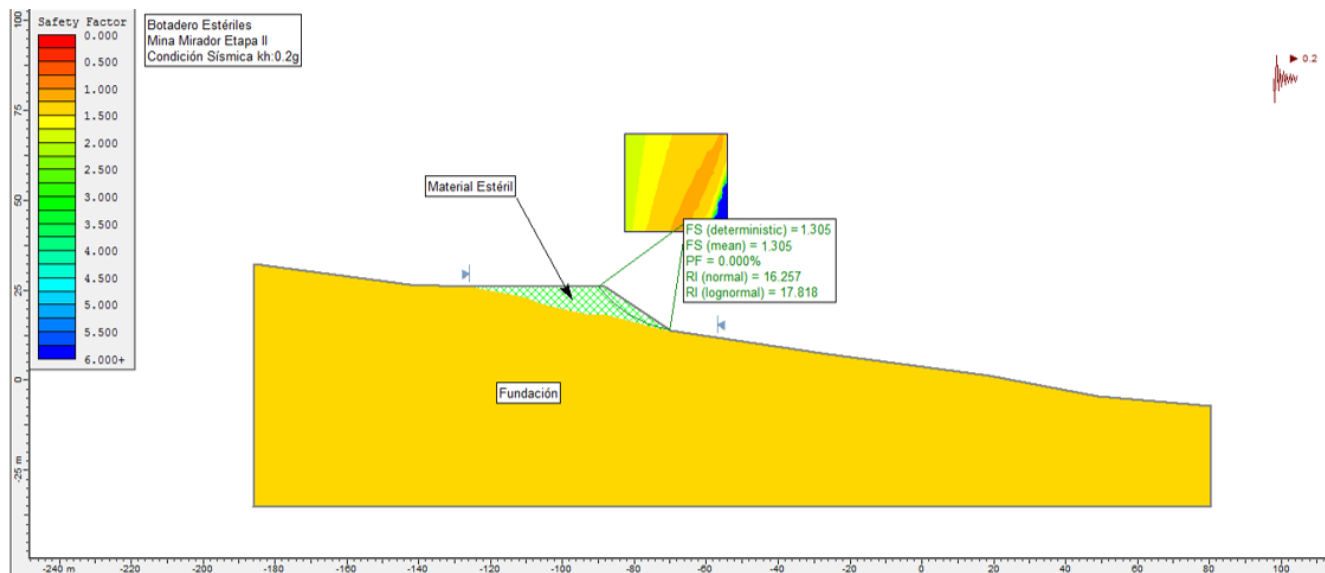
Los botaderos analizados en el tiempo no han presentado indicios de inestabilidad como rotura de taludes, grietas de tracción, desplomes, socavación de taludes, etc. Por lo tanto, se descarta que para que potenciales mecanismos de inestabilidad puedan desarrollarse bajo las condiciones sísmicas analizadas.

Se destaca la cancha de acopio de minerales como acopio más cercano a los habitantes del sector, 200 m aproximadamente de vivienda más cercana, como un botadero antiguo que:

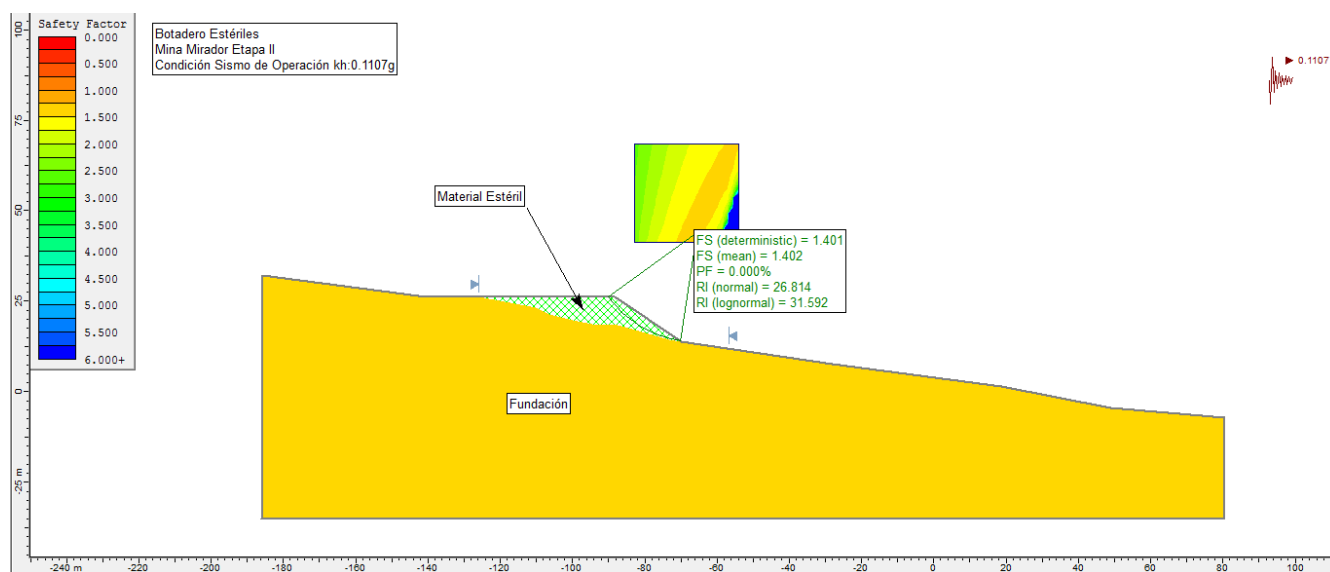
- Fue construido en las etapas iniciales de las Minas Juana y Emilia, con anterioridad al año 2003.
- 
- Este acopio de materiales estériles mantiene condiciones de estabilidad en el tiempo. El evento sísmico registrado con fecha 27 de febrero de 2010, sismo con efecto “tsunami destructor y mayor” (TD) según clasificación del Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile, no afectó la estabilidad de dicho acopio.
- Sobre este tipo de acopio es importante considerar la acción compactadora que ejerce el camión cargado o equipos los cuales aumentan la cohesión en función de la altura del material estéril depositado.
- No existe en la actualidad depositación de materiales estériles en este sector.

ANEXO A

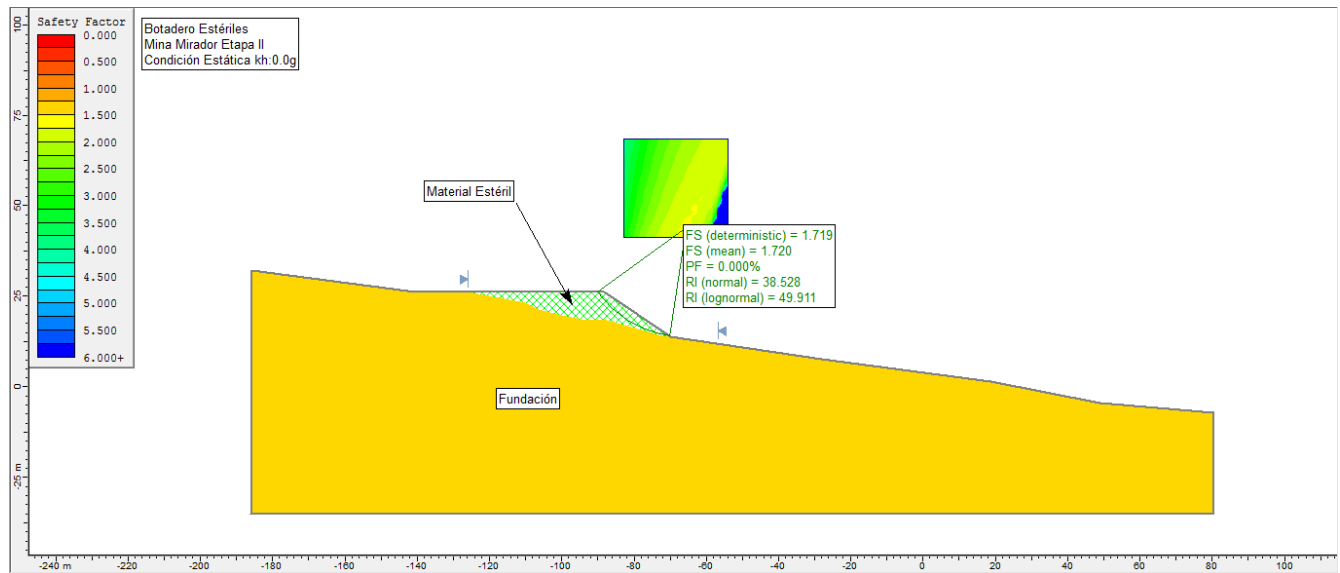
VISTA SIMULACIÓN (PANTALLAZOS)



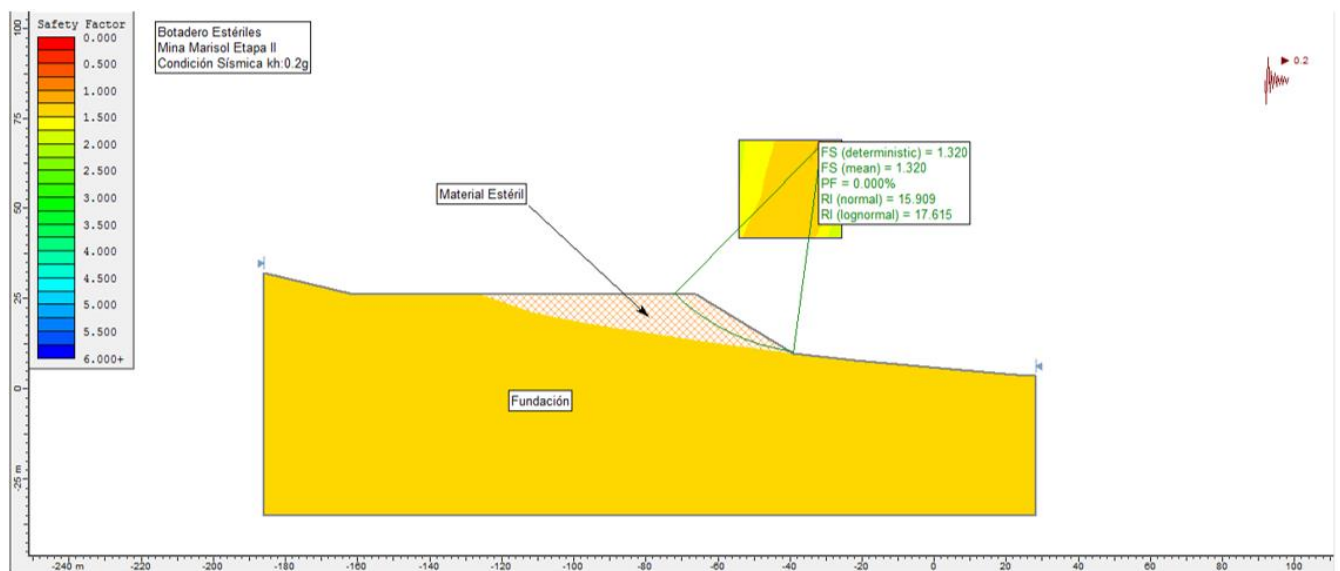
**Imagen 6** Análisis de estabilidad – condición sísmica (TMP) kh:0.2g – Botadero Mirador Etapa II



**Imagen 7** Análisis de estabilidad – condición sismo de operación (SDO) kh:0.1107g  
Botadero Mirador Etapa II

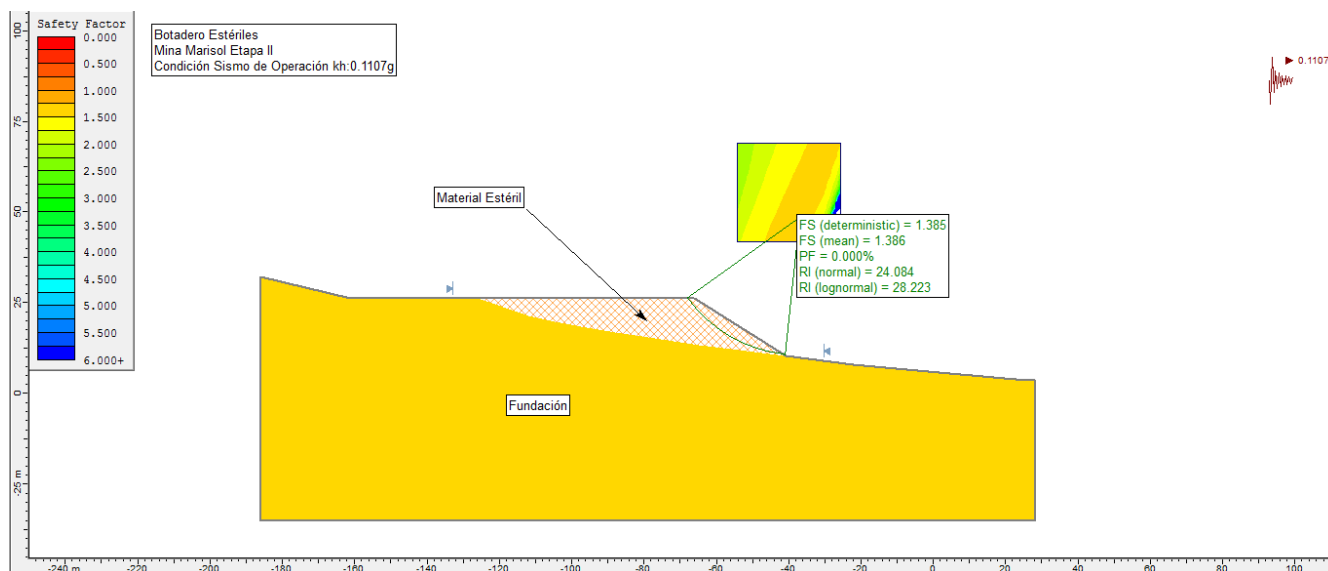


**Imagen 8** Análisis de estabilidad – condición estática kh:0.0g  
Botadero Mirador Etapa II

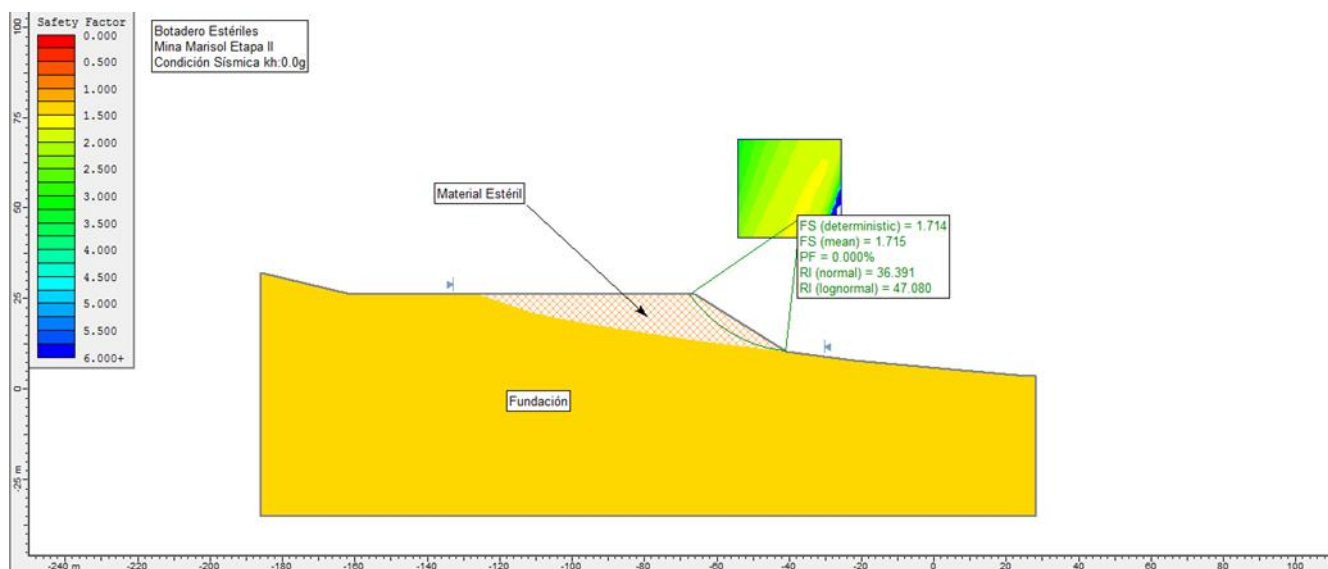


**Imagen 9** Análisis de estabilidad – condición sísmica (TMP) kh:0.2g  
Botadero Marisol Etapa II

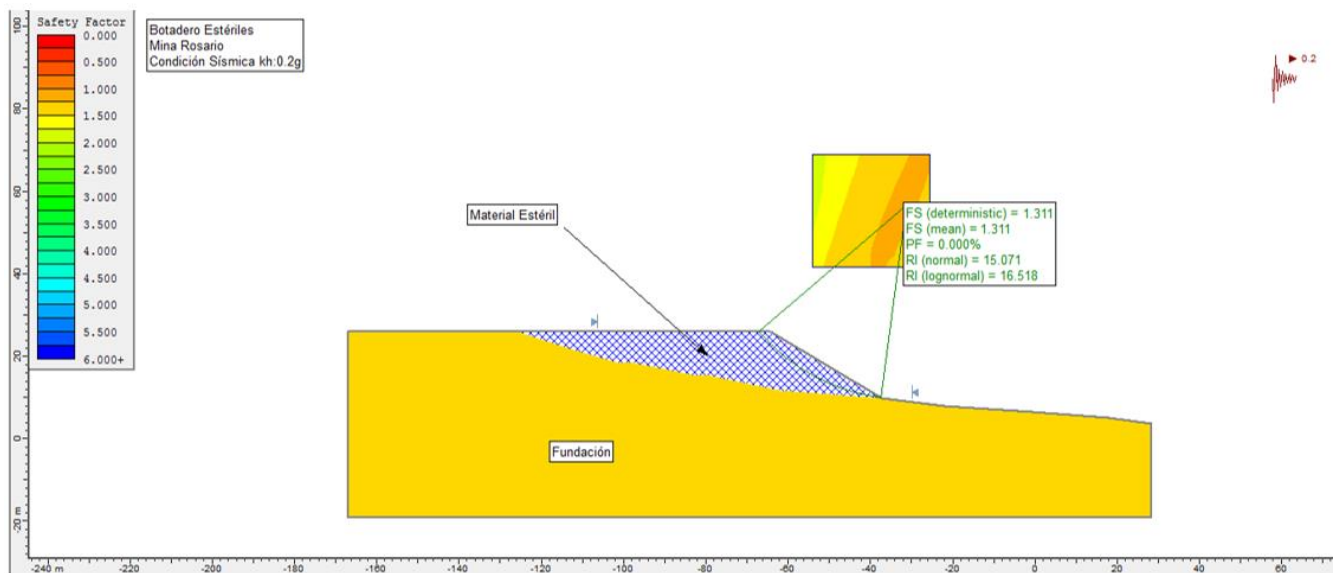




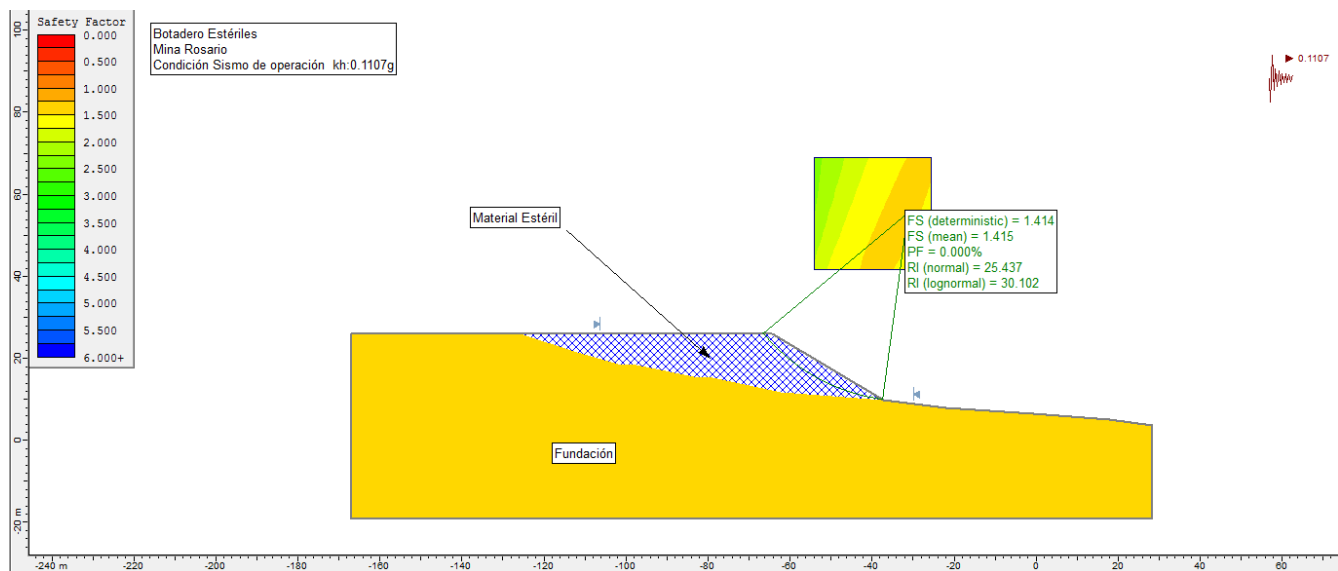
**Imagen 10** Análisis de estabilidad – condición sismo de operación (SDO) kh:0.1107g  
Botadero Marisol Etapa II



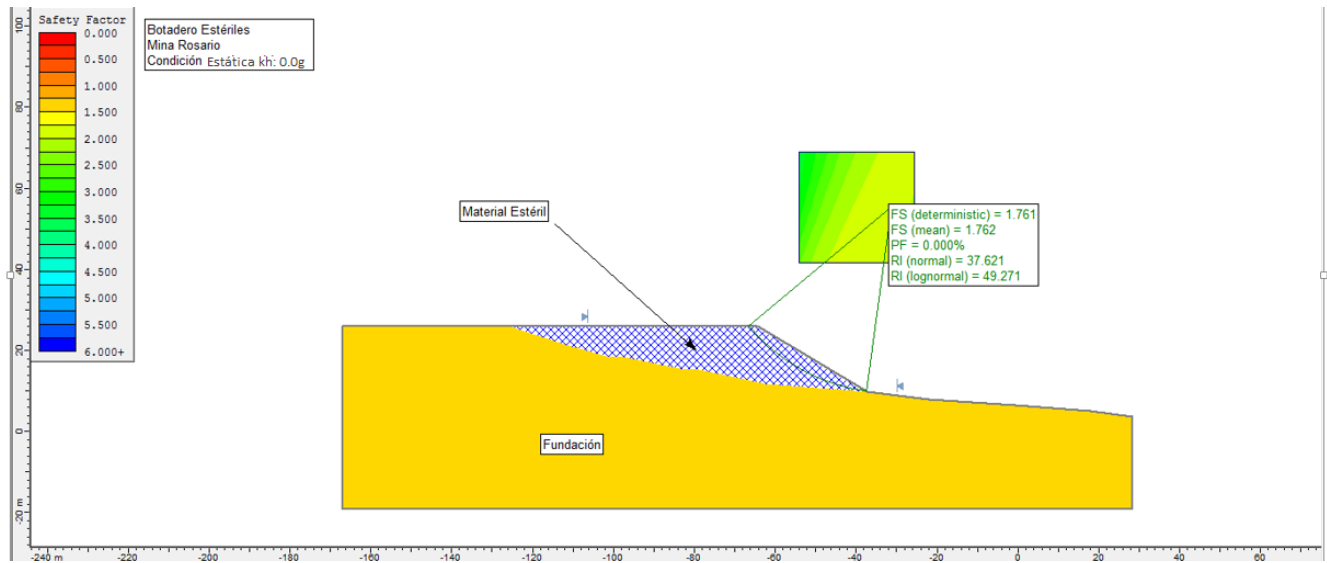
**Imagen 11** Análisis de estabilidad – condición estática kh:0.0g  
Botadero Marisol Etapa II



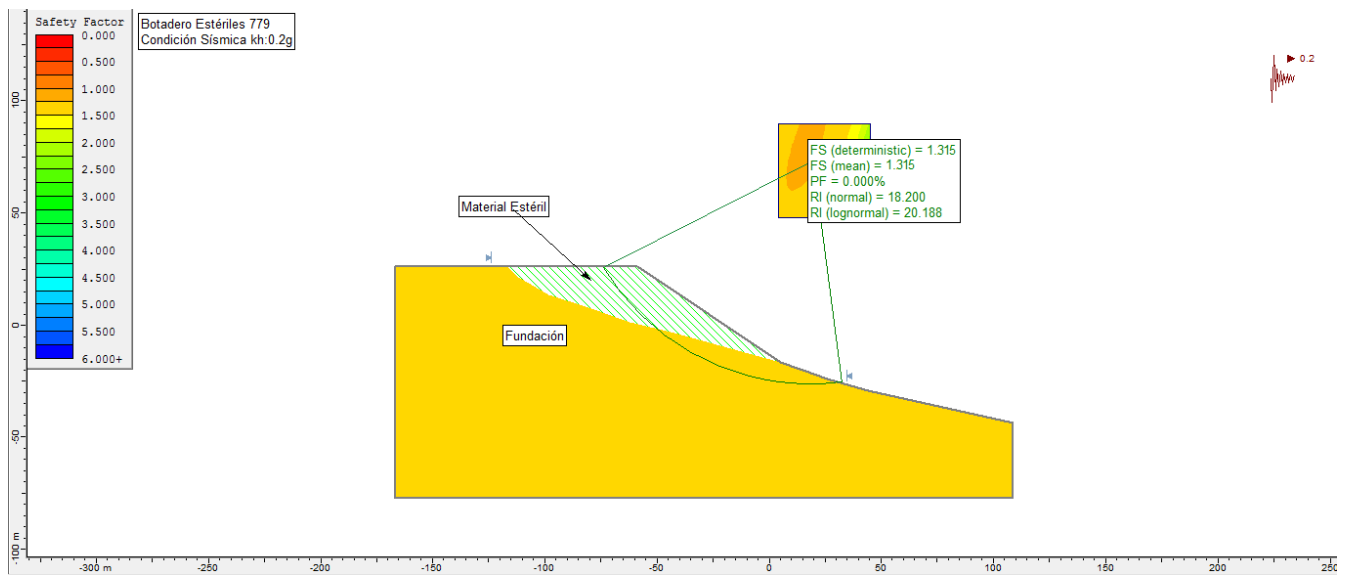
**Imagen 12** Análisis de estabilidad – condición sísmica (TMP) kh:0.2g  
Botadero Rosario



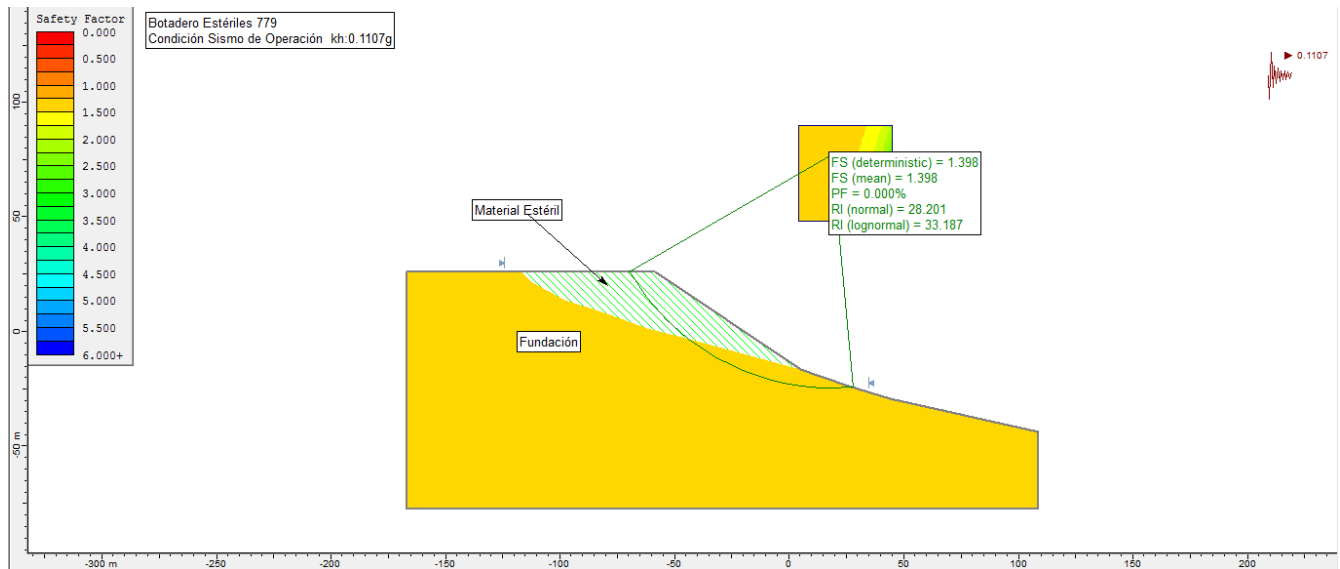
**Imagen 13** Análisis de estabilidad – condición sismo de operación (SDO) kh:0.1107g  
Botadero Rosario



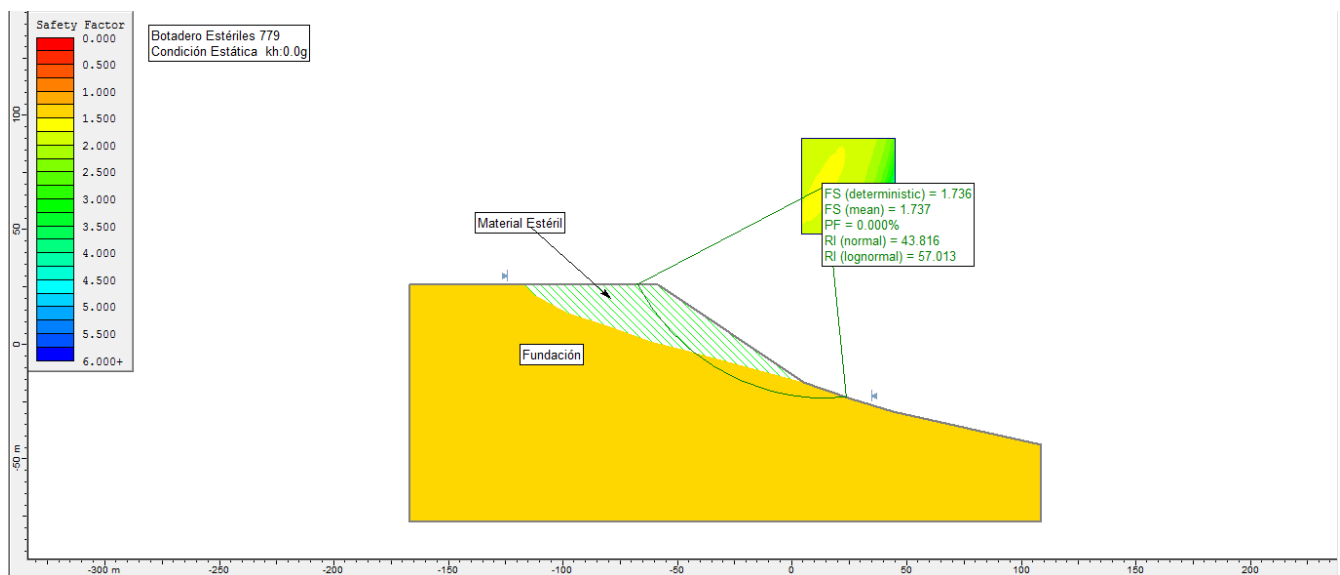
**Imagen 14** Análisis de estabilidad – condición estática kh:0.0g  
Botadero Rosario



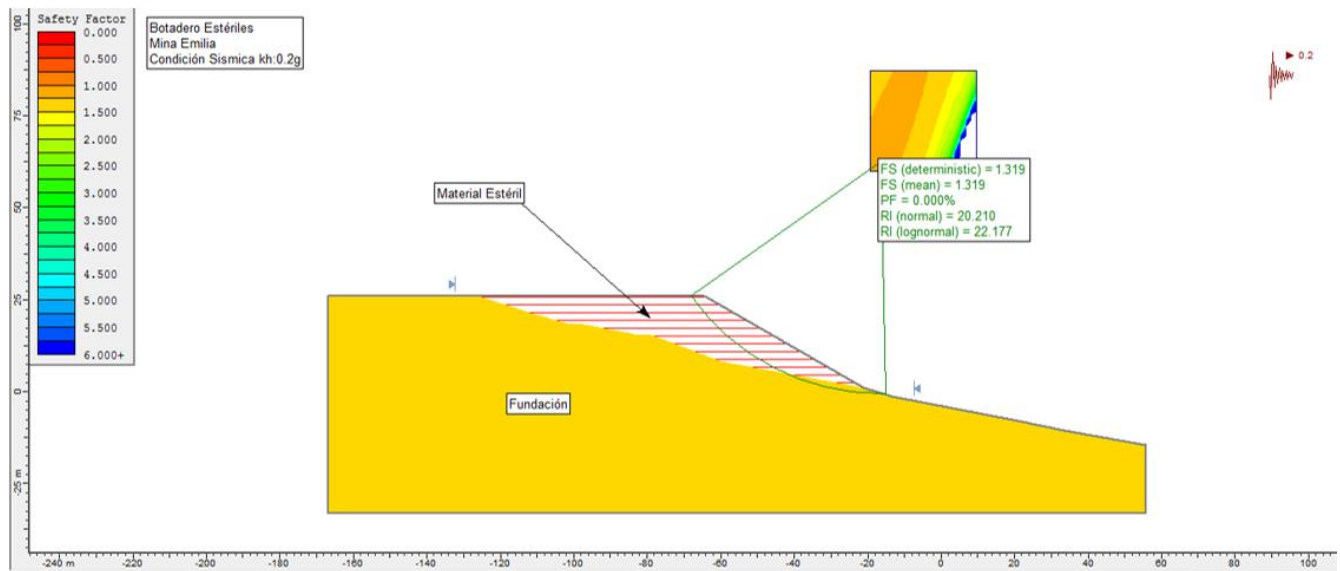
**Imagen 15** Análisis de estabilidad – condición sísmica kh:0.2g  
Botadero 779



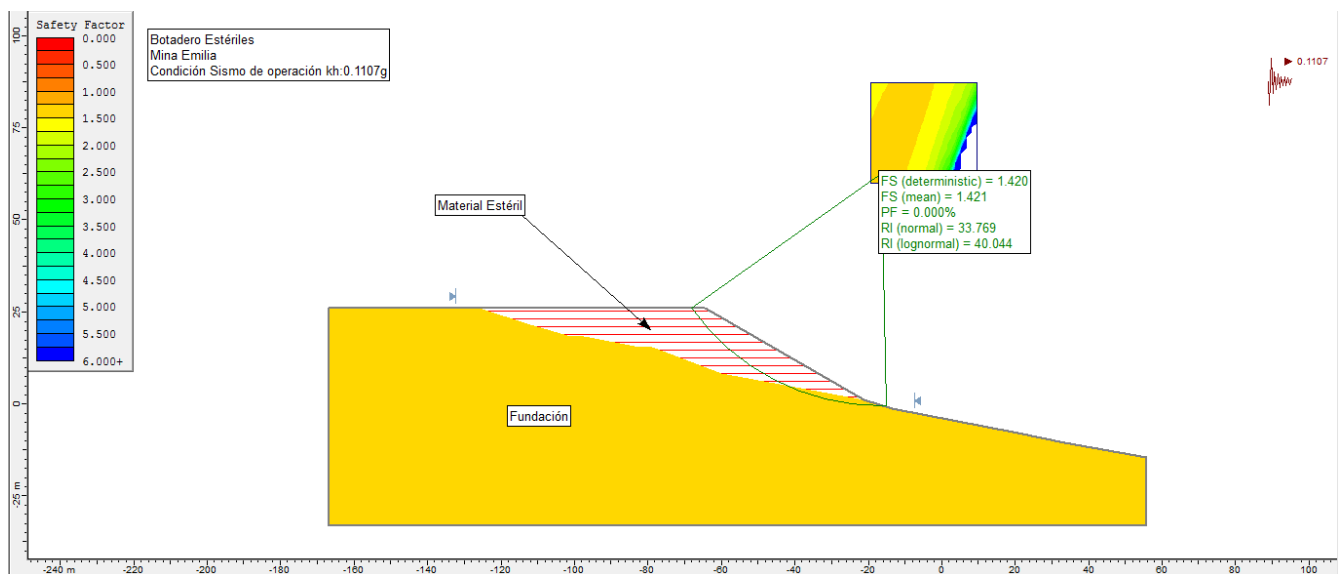
**Imagen 16** Análisis de estabilidad – condición sismo de operación kh:0.107g  
Botadero 779



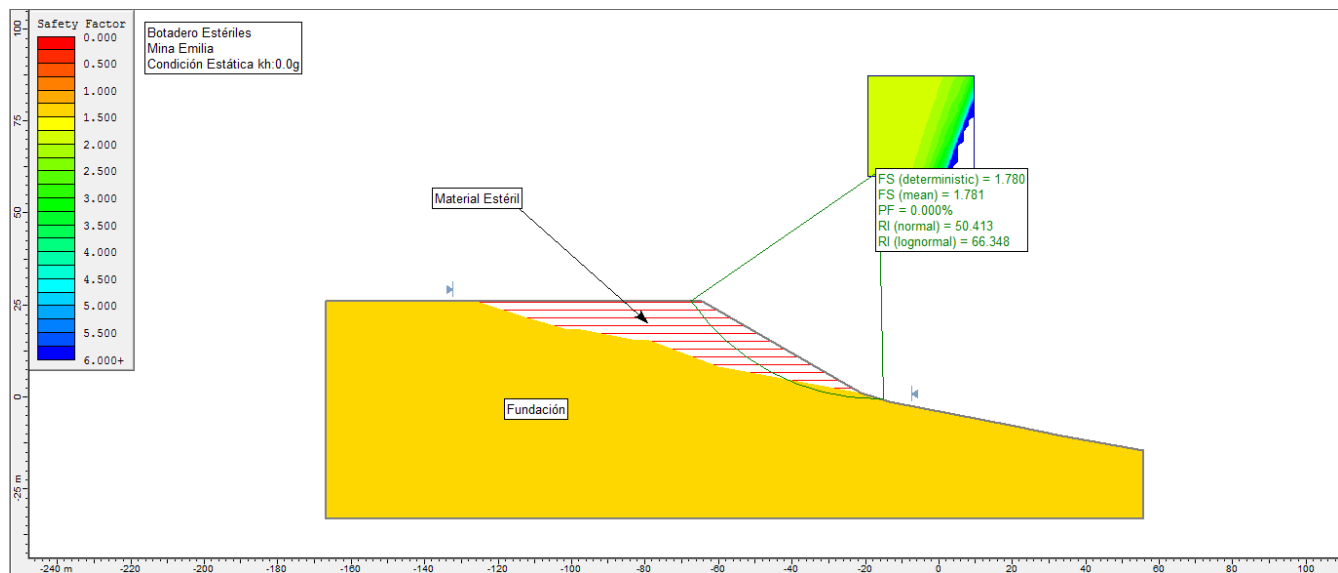
**Imagen 17** Análisis de estabilidad – condición estática kh:0.0g  
Botadero 779



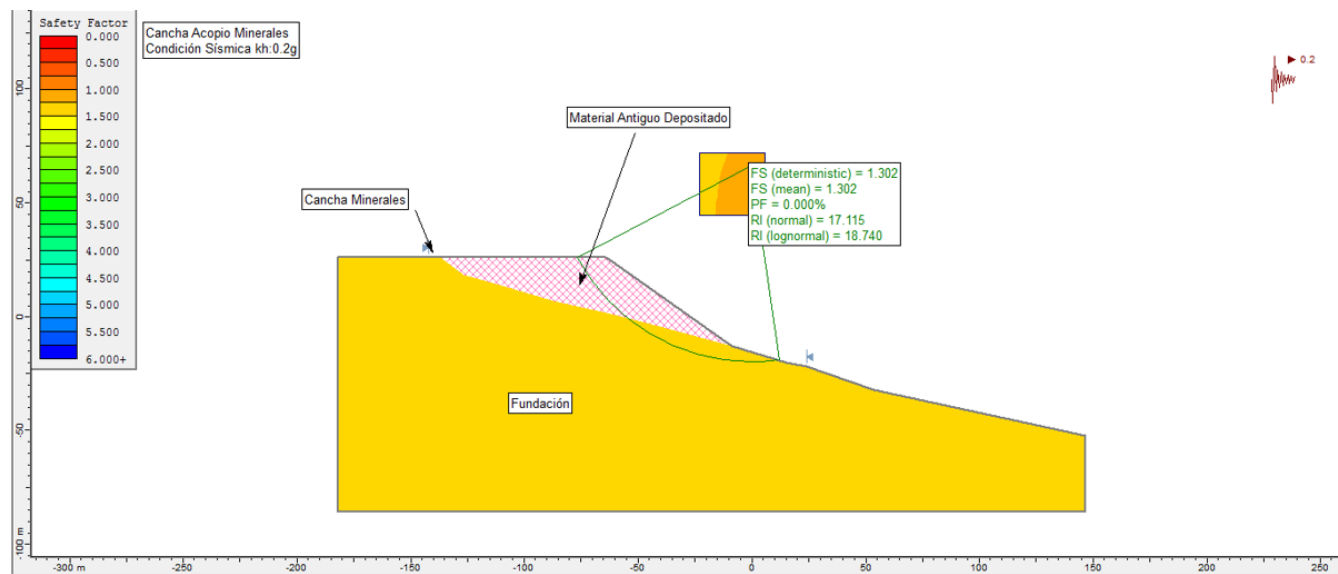
**Imagen 18** Análisis de estabilidad – condición sísmica (TMP) kh:0.2g  
Botadero Emilia Etapa II



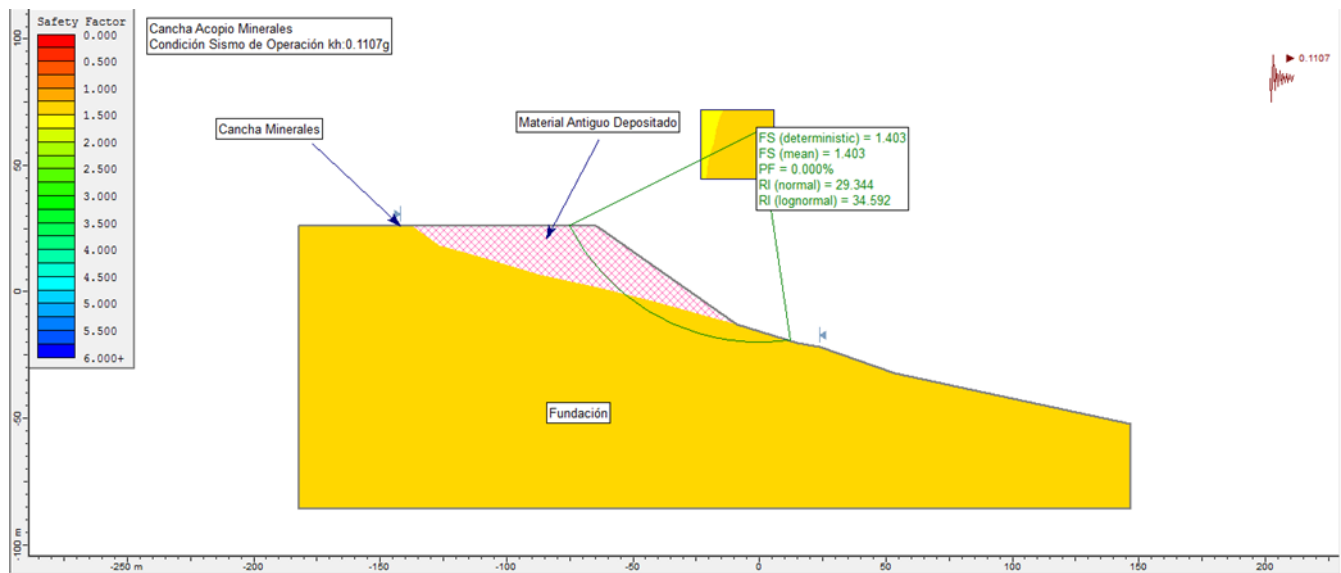
**Imagen 19** Análisis de estabilidad – condición sismo de operación (SDO) kh:0.1107g  
Botadero Emilia Etapa II



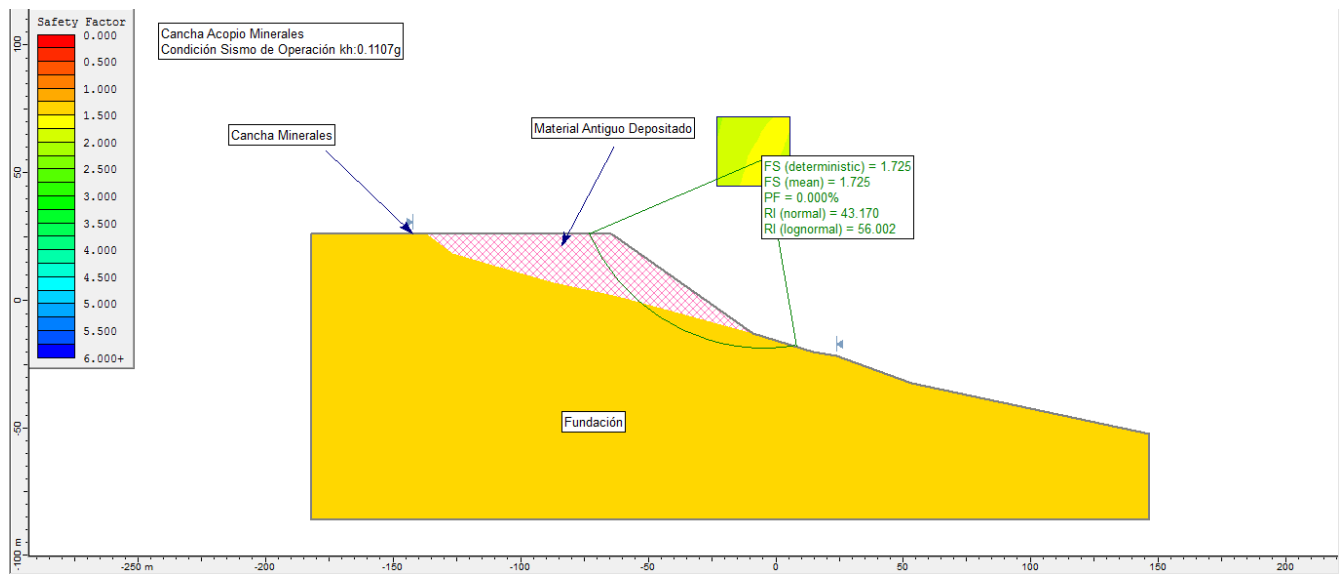
**Imagen 20** Análisis de estabilidad – condición estática kh:0.0g  
Botadero Emilia Etapa II



**Imagen 21** Análisis de estabilidad – condición sísmica (TMP) kh:0.2g  
Cancha Acopio de Minerales



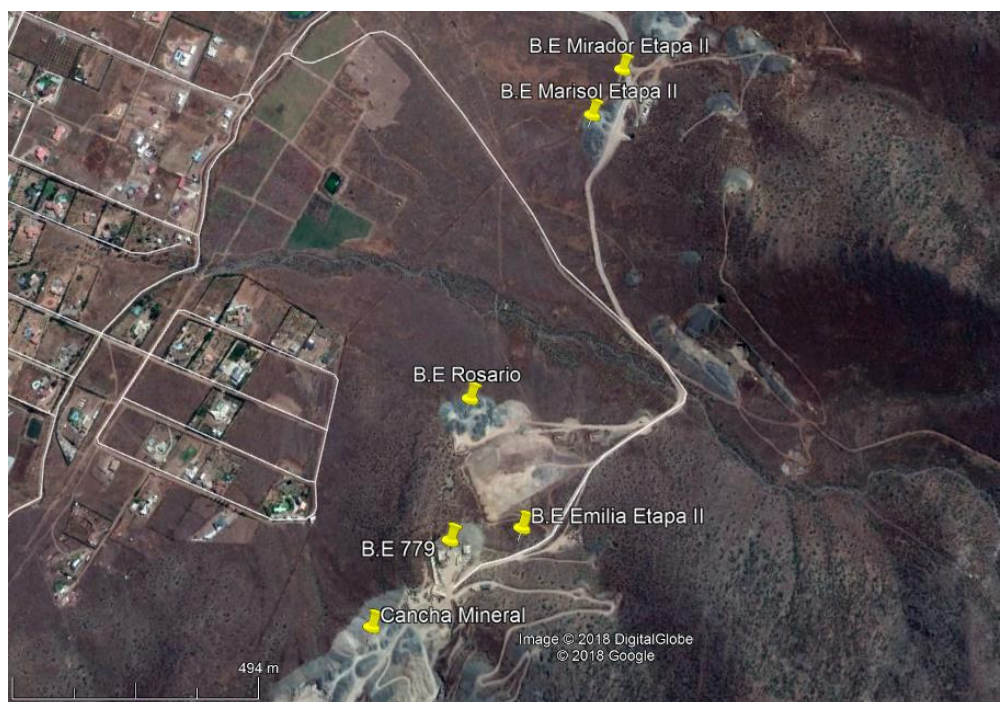
**Imagen 22** Análisis de estabilidad – condición sismo de operación (SDO) kh:0.1107g  
Cancha Acopio de Minerales



**Imagen 23** Análisis de estabilidad – condición estática kh:0.0g  
Cancha Acopio de Minerales



ANEXO B  
DISPOSICIÓN BOTADEROS Y CANCHA DE ACOPIO DE MINERALES



**Imagen 24** Disposición botaderos y cancha de acopio de minerales.  
Fuente: Google Earth



**Imagen 25** Disposición botaderos (vista ampliada)  
Fuente: Google Earth





**Imagen 26** Disposición botaderos (vista ampliada)  
Fuente: Google Earth