

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

### **PROPUESTA DE LOS PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE ESTABILIDAD DE TALUDES Y DE LOS DEPÓSITOS FINALES EN MINERA LOMA DE NÍQUEL, C.A. MUNICIPIO GUAICAIPURO, ESTADO MIRANDA**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por los Brs. Ochoa G. Kismalú P.  
Reyes O. Rafael E.  
Para optar al Título de  
Ingeniero de Minas

Caracas, 2011

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **PROPUESTA DE LOS PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE ESTABILIDAD DE TALUDES Y DE LOS DEPÓSITOS FINALES EN MINERA LOMA DE NÍQUEL, C.A. MUNICIPIO GUAICAIPURO, ESTADO MIRANDA**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Miguel Castillejo  
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Luís Bolívar

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por los Brs. Ochoa G. Kismalú P.  
Reyes O. Rafael E.  
Para optar al Título de  
Ingeniero de Minas

Caracas, 2011

Caracas, mayo de 2011

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los Bachilleres, Kismalú Ochoa y Rafael Reyes titulado:

**“Propuesta de los parámetros para el diseño de estabilidad de taludes y de los depósitos finales en Minera Loma de Níquel, C.A. municipio Guaicaipuro, estado Miranda”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero de Minas, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por los autores, lo declaran APROBADO.

Prof. Omar Márquez

Jurado

Prof. Pietro Di Marco

Jurado

Prof. Miguel Castillejo

Tutor Académico

Ing. Luis Bolívar

Tutor Industrial

## **DEDICATORIA**

*A mi padre Javier Ochoa Castaño 26-10-1943 – 10-01-2010. “Las cosas fáciles las hace cualquiera...”.*

*Kismalú Ochoa*

*A mi madre Aura B. Ontiveros; Gracias por apoyar cada uno de mis proyectos... tu amor es el motor de mis sueños.*

*Rafael Reyes*

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestra ilustre casa de estudios, La Universidad Central de Venezuela, por habernos permitido formar parte de ella.

A todos en Minera Loma de Níquel, en especial a Yeixy Noguera, por brindarnos su apoyo y comprensión cuando más la necesitábamos.

Al Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, en especial al Ingeniero Leonel Rodríguez, por su apoyo incondicional en el desarrollo de éste trabajo.

Al profesor Miguel Castillejo, por la asesoría brindada y sus valiosas enseñanzas.

Al Departamento de Minas, en especial a los profesores Pietro Di Marco, Omar Márquez, Katherine Silva y Aurora piña, por la ayuda brindada.

A Juan Carlos Zambrano, por mantener unido este equipo y así permitir que terminásemos este trabajo.

**Ochoa G. Kismalú P., Reyes O. Rafael E.**

**PROPUESTA DE LOS PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE ESTABILIDAD DE TALUDES Y DE LOS DEPÓSITOS FINALES EN MINERA LOMA DE NÍQUEL, C.A. MUNICIPIO GUAICAIPURO, ESTADO MIRANDA**

Tutor Académico: Prof. Miguel Castillejo.

Tutor Industrial: Ing. Luis Bolívar.

Tesis. Ciudad Universitaria, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 2011, 224 páginas.

Palabras claves: taludes, geomecánica, níquel, explotación minera, cielo abierto, mecánica de suelos, estabilidad de taludes.

El Yacimiento Loma de Hierro está ubicado en Venezuela, entre los Estados Miranda y Aragua. Este yacimiento laterítico, explotado actualmente por la empresa Minera Loma de Níquel, C.A. quienes realizan una explotación a cielo abierto mediante arranque mecánico sin el uso de explosivos. Los taludes de la explotación, así como los depósitos finales de estéril requieren el estudio de las condiciones de estabilidad, que permitan la seguridad de la planificación y operación mineras.

Con la finalidad de obtener los parámetros de estabilidad de los taludes de mina de cada uno de los materiales que componen los taludes de explotación y los depósitos de estéril, es planificada y llevada a cabo una campaña de muestreo con el fin de recolectar los datos de campo y especímenes necesarios para desarrollar los ensayos de caracterización geomecánica correspondientes. A partir de estos datos se procede a realizar el análisis de estabilidad en suelos, para los materiales que presentaron este comportamiento, mediante el programa GeoSlope2007® versión estudiante, y el análisis de estabilidad de un talud de roca correspondiente al Sector 1 del yacimiento mediante el programa Dips 2005®.

Los datos de campo y los ensayos subsecuentes revelaron la presencia de tres (3) zonas características del yacimiento: zona laterítica con porcentajes de hierro superiores al 40%, una zona saprolítica con porcentajes de hierro inferiores al 40%, ambas con comportamiento geomecánico similar; y una zona de roca peridotítica serpentinizada, altamente fracturada, que junto a la laterita representa el estéril del yacimiento.

Para la laterita y el saprolito, se proponen taludes con bancos de 5 metros de altura por 5 metros de berma, con un ángulo de 70° y ángulo total de 35°. Para los depósitos de estéril, es recomendado el uso de configuraciones superpuestas de altura no mayor a los 15 metros, con bancos de 5 metros de altura y 30° de inclinación. En el caso de la estabilidad para roca, se sugiere emplear la remoción mecánica de los fragmentos que puedan generar riesgos por desprendimiento, por medio del arranque mecánico.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>2</b>
<b>GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>2</b>
1.1 Planteamiento del Problema .....	2
1.2 Objetivos de la Investigación .....	2
1.2.1 Objetivo General .....	2
1.2.2 Objetivos Específicos .....	2
1.3 Alcances y Limitaciones .....	3
1.4 Justificación .....	3
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>5</b>
<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y NATURALES</b> .....	<b>5</b>
2.1 Ubicación Geográfica .....	5
2.2 Características Físicas y Naturales .....	5
2.2.1 Clima .....	5
2.2.2 Lluvia .....	6
2.2.3 Evaporación .....	6
2.2.4 Temperatura .....	6
2.2.5 Radiación .....	7
2.2.6 Insolación .....	7
2.2.7 Humedad relativa .....	7
2.2.8 Nubosidad .....	7
2.2.9 Viento .....	7
2.3 Descripción del Yacimiento Niquelífero .....	7
2.3.1 Zona I .....	7
2.3.2 Zona II .....	7
2.3.3 Zona III .....	8
2.3.4 Zona IV .....	8
2.4 Geología Regional .....	10
2.4.1 Formación Tucutunemo .....	10
2.4.2 Complejo Ofiolítico de Loma de Hierro .....	10
2.4.3 Formación Tiara .....	11
2.5 Lateritas de Ni tipo silicatos hidratados .....	12
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>14</b>
<b>BASES TEÓRICAS</b> .....	<b>14</b>
3.1 Antecedentes .....	14
3.2 Estudios de Petrografía .....	15
3.3 Fallas en Roca .....	17
3.4 Rotura Plana .....	17
3.5 Fallas en Cuña .....	18
3.6 Fallas por Volcamiento .....	19
3.7 Fallas Circulares o Rotacionales .....	19
3.8 Mecánica de Suelos .....	20
3.9 Clasificación e Identificación de los Suelos .....	22
3.10 Constitución Mineral de los Suelos .....	23

3.11 Granulometría .....	24
3.12 Plasticidad .....	25
3.13 Resistencia al Esfuerzo Cortante de los Suelos.....	26
Características del Muestreo en Suelos.....	27
3.14 Fricción de masas granulares sin cohesión .....	28
3.14.1 Determinación del ángulo de Reposo .....	28
3.15 Estabilidad de Taludes .....	29
3.16 Taludes en suelos .....	32
3.18 Características geométricas recomendadas.....	32
3.19 Programa de análisis de estabilidad de taludes GEOSLOPE® .....	33
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>34</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>34</b>
4.1 Tipo de Investigación .....	34
4.2 Diseño de la investigación.....	34
4.3 Población y Muestra .....	36
4.4 Instrumentos.....	38
4.5 Análisis de Datos .....	40
4.5.1 Recopilación de Información Previa .....	40
4.5.2 Reconocimiento de Campo y Selección de los Taludes para la toma de Muestra.....	41
4.5.3 <i>Recolección de muestras de taludes en suelo</i> .....	42
4.5.4 Recolección de muestra de taludes en roca.....	43
4.5.5 Recolección de muestras en depósitos finales de materiales .....	43
4.5.6 Análisis Geológico de Campo .....	44
4.5.7 Análisis Químico .....	44
4.5.8 Ensayos de Caracterización Mecánica de Suelos.....	44
Humedad Natural.....	44
Clasificación Granulométrica .....	44
Determinación de peso específico .....	45
Granulometría por Hidrómetro .....	46
Límites de Consistencia .....	46
Ensayos de Corte Directo.....	47
Determinación de peso unitario .....	48
Determinación de Angulo de Reposo de Materiales.....	48
4.5.9 Procesamiento de la información y constitución de los modelos .....	49
4.5.10 Evaluación de la Superficie de Falla y Cálculo del Factor de Seguridad .....	51
4.5.11 Generación de perfiles de talud usando Geoslope 2007 .....	51
4.5.12 Propuesta de los Parámetros de Estabilidad de Taludes .....	53
<b>CAPITULO V .....</b>	<b>54</b>
<b>RESULTADOS Y ANÁLISIS .....</b>	<b>54</b>
5.1 Reconocimiento en Campo .....	54
5.2 Análisis Químico .....	57
5.3 Caracterización de Suelos .....	59
5.4 Humedad Natural.....	64
5.5 Pesos Unitario y Específico .....	64
5.6 Ensayos de Corte Directo.....	65
5.7 Análisis de Estabilidad .....	66
5.8 Dependencia de Variables (cohesión y ángulo versus Factor de Seguridad) .....	126

5.9 Análisis de Botaderos Finales .....	133
5.9.1 Observaciones de Campo.....	133
5.9.2 Ángulos de Talud .....	133
5.10 Estabilidad de Depósitos Finales .....	134
5.10.1 Laterita Ferruginosa.....	134
5.10.2 Subproducto del Proceso de Reducción de Ferroníquel (Escoria de Reducción) .....	136
5.11 Análisis en Roca.....	137
5.11.1 Sección Fina y Petrografía .....	137
5.11.2 Análisis de Estabilidad en Roca .....	139
5.12 Consideraciones Ambientales .....	143
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>144</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>145</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>146</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>149</b>
<b>UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO .....</b>	<b>149</b>
<b>ANEXOS 2 .....</b>	<b>157</b>
<b>ENSAYOS DE LABORATORIO .....</b>	<b>157</b>
Caracterización Granulométrica .....	157
Humedad Natural.....	177
Peso Unitario .....	178
Peso Específico.....	179
Límites de consistencia.....	180
Clasificación de Suelos.....	183
Datos de ensayo de Granulometría por Hidrómetro.....	184
Mediciones de Ángulo de Reposo.....	193
<b>ANEXO 3 .....</b>	<b>195</b>
<b>ENSAYOS DE CORTE DIRECTO .....</b>	<b>195</b>
<b>ANEXO 4.....</b>	<b>220</b>
<b>ESTADILLO DE LEVANTAMIENTO EN ROCA .....</b>	<b>220</b>
<b>APENDICE A.....</b>	<b>223</b>
<b>Evaluación de Talud en Roca .....</b>	<b>223</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Representación gráfica de la ubicación relativa de Minera Loma de Níquel, C.A. ....	5
Figura 2.2. Comportamiento de los elementos químicos según las zonas mineralizadas.....	9
Figura 2.3. Mapa geológico simplificado de la parte occidental del Estado Miranda, indicando el área de afloramientos de las ultramáficas de Loma de Hierro. Simplificado de Bellizzia (1967) .....	11
Figura 3.1. Representación de una discontinuidad en el espacio.....	16
Figura 3.2. Representación equiárea de los polos de las discontinuidades .....	17
Figura 3.3. Representación de falla plana y estereografía .....	18
Figura 3.4. Representación de una falla de cuña y estereografía.....	18
Figura 3.5. Representación de una falla por volcamiento y estereografía.....	19
Figura 3.6. Falla Circular y su representación estereográfica.....	20
Figura 3.7. Perfil del suelo en geotecnia. El perfil geotécnico es descrito con seis horizontes, del I en la base al VI en la superficie.....	20
Figura 3.8. Etapas y procesos de la formación del suelo.....	21
Figura 3.9. Distintos tipos de formaciones de suelo .....	22
Figura 3.10. Aparato de Casagrande para Límite Plástico.....	26
Figura 3.11. Esquema del aparato de resistencia al esfuerzo cortante directo.....	27
Figura 3.12. Esquema gráfico del talud.....	30
Figura 3.13. Fuerzas actuando sobre una superficie de rotura en un talud.....	31
Figura 3.14. Programa Geoslope 2007, versión estudiante .....	33
Figura 4.1. Etapas de la Investigación .....	34
Figura 4.2. Representación gráfica del diseño no experimental de la investigación .....	35
Figura 4.3. Representación gráfica del diseño experimental de la investigación .....	36
Figura 4.4. Áreas de Explotación en Minera Loma de Níquel.....	37
Figura 4.5. Horno Memmert para secado de muestras .....	38
Figura 4.6. Cilindros para ensayo con Hidrómetro .....	39
Figura 4.7. Hidrómetro 152H.....	39
Figura 4.8. a) Balanza analítica Setra; b) Balanza Metter; c) Envase plástico con agua incorporado a la balanza metter .....	40
Figura 4.9. Columna Estratigráfica típica en el yacimiento Loma de Hierro.....	41
Figura 4.10. a) Apertura inicial en el talud; b) Bloque o monolito cortado en el talud; c) Monolito sellado en papel plástico.....	42
Figura 4.11. a) Apertura inicial en el talud de la escombrera; b) Apertura profunda; c) Extracción de muestra puntual .....	43
Figura 4.12. Izquierda: Material a reducir por cono y cuarteo en una lona. Derecha Cuarteo de material removiendo áreas opuestas en la torta de material.....	44
Figura 4.13. a) Tamices malla número 100 y 200; b) Lavado de muestra, eliminando el pasante de la malla número 200.....	45
Figura 4.14. a) Picnómetros con muestras de suelo; b) Llenado parcial de picnómetros; c) Peso de picnómetros con pulpa de suelo .....	45
Figura 4.15. a) Cilindro con fracción de suelo y floculante; b) Floculante; c) Hidrómetro .....	46
Figura 4.16. a) Mezcla de agua con el material pasante de la malla N° 40; b) Material en la copa de Casagrande; c) Apertura del material en la copa de Casagrande .....	47
Figura 4.17. a) Corte de muestras con anillos; b) caja de corte; c) Equipo de corte.....	48
Figura 4.18. a) Muestra de material; b) Parafina; c) Muestra parcialmente cubierta con parafina.....	48
Figura 4.19. a) Cono de plástico usado para el ensayo de cono; b) Vertido de material a través del cono; c) Pila formada al verter el material .....	49
Figura 4.20. Esquema gráfico de los modelos generados a partir de la investigación.....	50
Figura 4.21. Vista de la pantalla durante el dibujo del talud.....	51

Figura 4.22. Vista de la pantalla del ordenador al indicar la entrada de los círculos en la evaluación por el método de Bishop.....	52
Figura 4.23. Representación del método de Entrada y Salida.....	52
Figura 5.1. Niveles 1265 al 1290, Sector 1.....	54
Figura 5.2. Nivel 1245, Sector 2.....	55
Figura 5.3. Niveles 1180 al 1195, Sector 3.....	56
Figura 5.4. Porcentajes obtenidos del análisis de ICP para las muestras inalteradas.....	58
Figura 5.5. Distribución granulométrica para las muestras del Sector 1.....	60
Figura 5.6. Distribución granulométrica para las muestras del Sector 2.....	60
Figura 5.7. Distribución granulométrica para las muestras del Sector 3.....	61
Figura 5.8. Porcentajes de arcillas contenidos en cada muestra inalterada.....	62
Figura 5.9. Límites de consistencia (%LL y %LP). El Índice Plástico corresponde a la diferencia entre estos.....	63
Figura 5.10. Porcentajes de Humedad Natural.....	64
Figura 5.11. Peso Unitario, Peso Específico, Hierro y Magnesio.....	65
Figura 5.12. Relación existente entre cohesión y los factores de seguridad asociados. Para configuración de ancho de berma y altura de banco de 5 metros.....	127
Figura 5.13. Ejemplo de corte con cohesión igual a.....	128
Figura 5.14. Análisis del talud total para el Sector 1.....	130
Figura 5.15. Análisis del talud total para el Sector 2.....	131
Figura 5.16. Análisis del talud total para el Sector 3.....	131
Figura 5.17. Representación gráfica para la probabilidad de falla del talud total.....	132
Figura 5.18. Representación gráfica para la probabilidad de falla del talud total.....	133
Figura 5.19. Depósito final de laterita con entrada de los círculos críticos limitada al primer banco.....	135
Figura 5.20. Depósito final de laterita con entrada de los círculos críticos desde el primer banco hasta la última berma.....	135
Figura 5.21. Depósito final del subproducto con entrada de los círculos críticos desde el primer banco hasta la última berma.....	136
Figura 5.22. Vista general de la sección fina, se observa la avanzada serpentinización de Ol y Opx. A la izquierda la vista nicol paralelo (NP) y a la derecha nicol cruzado (NC).....	137
Figura 5.23. Textura mesh característica. Fotomicrografías NP (izq.) y NC (der.).....	137
Figura 5.24. Textura mesh característica. Fotomicrografías NP (izq.) y NC (der.).....	138
Figura 5.25. Textura de interpenetración de cristales de antigorita. Fotomicrografías NP (izq.) y NC (der.).....	138
Figura 5.26. Ortopiroxenos. Fotomicrografías NP (izq.) y NC (der.).....	139
Figura 5.27. Reemplazamiento de Opx por Ctl. Fotomicrografías NP (izq.) y NC (der.).....	139
Figura 5.28. Levantamiento talud de roca del Sector 1.....	140
Figura 5.29. Representación estereográfica con probabilidad de falla de cuña.....	142
Figura 5.30. Representación estereográfica con probabilidad de falla de cuña.....	142

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Estaciones Climatológicas .....	6
Tabla 2.2. Evaporación mensual y anual (mm).....	6
Tabla 2.3. Comportamiento de los elementos químicos de la Zona I .....	7
Tabla 2.4. Comportamiento de los elementos químicos de la Zona II .....	8
Tabla 2.5. Comportamiento de los elementos químicos de la Zona III .....	8
Tabla 2.6. Comportamiento de los elementos químicos de la Zona IV .....	8
Tabla 3.1. Métodos para medir el ángulo de reposo .....	29
Tabla 5.1. Levantamiento y descripción de campo del Sector 1.....	55
Tabla 5.2. Levantamiento y descripción de campo del Sector 2.....	56
Tabla 5.3. Levantamiento y descripción de campo del Sector 3.....	57
Tabla 5.4. Porcentajes de hierro y níquel según análisis de ICP-MS.....	58
Tabla 5.5. Porcentajes de aluminio, magnesio y silicio según análisis ICP-MS .....	59
Tabla 5.6. Clasificación de suelos S.U.C.S. ....	63
Tabla 5.7. Cohesión y Ángulo de Fricción. Ensayo de Corte Directo.....	65
Tabla 5.8. Factor de seguridad para taludes con 5 metros de berma y 5 metros de altura.....	125
Tabla 5.9. Factor de seguridad para taludes con 10 metros de berma por 5 metros de altura .....	125
Tabla 5.10. Factor de seguridad para taludes con 10 metros de berma por 10 metros de altura.....	126
Tabla 5.11. Factor de seguridad para taludes con 5 metros de berma por 10 metros de altura.....	126
Tabla 5.12. Factor de Seguridad mínimo para estabilidad (5x5 m) .....	128
Tabla 5.13. Factor de Seguridad mínimo para estabilidad (10x5 m).....	129
Tabla 5.14. Factor de Seguridad mínimo para estabilidad (10x10 m).....	129
Tabla 5.15. Factor de Seguridad mínimo para estabilidad (5x10 m).....	129
Tabla 5.16. Ángulos de talud de depósitos Finales .....	134
Tabla 5.17. Factores de Seguridad para Depósitos Finales de Laterita con Berma de 10 metros, Altura de 5 metros y ángulo de Talud de 30° .....	134
Tabla 5.18. Coordenadas del levantamiento del talud de roca Sector 1.....	140
Tabla 5.19. Resumen de las características del macizo rocoso .....	141

## INTRODUCCIÓN

Minera Loma de Níquel, C.A. es la empresa a cargo de la explotación del yacimiento níquelífero Loma de Hierro, ubicado entre los Estados Miranda y Aragua. El yacimiento, cuenta aproximadamente con una longitud de 7 km, ancho de 2 km y profundidad variable, es explotado a cielo abierto sin la utilización de explosivos, empleando equipos de arranque mecánico que cargan lo que la empresa denomina como mineral (sapolita), en camiones de 55 toneladas de capacidad nominal, que lo trasladan hasta la zona de trituración, para ser llevado a los tamaños requeridos por la planta de beneficio mineral.

La explotación es realizada de forma selectiva, solo extrayendo las capas de suelos residuales, que de acuerdo a la concentración de hierro y níquel puede considerarse o no útil para el proceso de beneficio, de esta forma utilizando equipos de arranque mecánico, se constituyen series de bancos cuyo número varía de acuerdo a la profundidad con que se alcance la roca fresca, en el área donde se desea realizar la excavación.

Al considerar la seguridad de las operaciones de explotación mineral y los parámetros necesarios para el cambio de uso y cierre de mina, la estabilidad de taludes se convierte en un tema de gran relevancia para la operadora minera. En este sentido, se lleva a cabo un estudio que comprende la evaluación de las condiciones de estabilidad de los taludes en materiales in situ y en depósitos finales (escombreras), que permitan un trabajo seguro, sin riesgos de deslizamientos o fallas a largo plazo. El estudio comprende los taludes generados a partir de cortes en laterita, sapolita, así como aquellos formados en depósitos permanentes, de laterita y un subproducto del proceso de refinación del ferroníquel, llamado coloquialmente arena industrial o escoria de reducción.

La presente investigación, se encuentra dividida en cinco (5) capítulos:

- El primer capítulo, corresponde a la descripción del problema, los objetivos, alcances y limitaciones de la investigación.
- El capítulo II muestra la información física y geológica mínima, para comprender el tipo de yacimiento explotado por la operadora.
- El capítulo III, es una compilación teórica como base de la investigación.
- El capítulo IV, comprende una descripción de la metodología a emplearse en el estudio.
- El capítulo V presenta los resultados de la investigación junto a su debida interpretación y análisis.

## CAPÍTULO I

### GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Planteamiento del Problema

Los estudios previos de estabilidad de taludes en Minera Loma de Níquel, C.A. afirman que el ángulo adecuado para constituir los taludes de explotación mineral es de 65° (Tecnoconsult, 1998), sin embargo, se desconocen los soportes teóricos y metodológicos de esta información. Aún así, las operaciones de explotación mineral se desarrollan tomando en cuenta esta condición para el diseño de los avances de mina, sin saber con exactitud si éste es un ángulo seguro para las operaciones en la mina.

Si bien hasta ahora no se ha presentado deslizamientos o derrumbes, mientras los equipos se encuentran en las áreas operativas de explotación mineral de los taludes, si se puede evidenciar la presencia de deslizamientos en áreas no operativas, existiendo zonas en las que se impide el acceso por razones de seguridad.

De aquí la necesidad de estudiar las condiciones de estabilidad, con el fin de que se puedan llevar a cabo las labores de planificación y operación de mina de forma segura.

Se propone el siguiente estudio, que permitió obtener los parámetros de estabilidad requeridos, tomando en cuenta la recopilación de información bibliográfica, mapas, el reconocimiento geológico, muestreo, caracterización y ensayos de resistencia al corte, que resultaron en la obtención de información base para el cálculo de las condiciones que deben presentar los taludes para disminuir la probabilidad de falla; como resultado directo a la propuesta de los dimensiones de los perfiles de los bancos de explotación, también se proponen las condiciones geométricas del talud final de la explotación. Los materiales que se incluyen en este estudio comprenden la zona de laterita, saprolita (laterita níquelífera), así como los materiales removidos que conforman los depósitos finales o escombreras de laterita y escoria de reducción.

#### 1.2 Objetivos de la Investigación

##### 1.2.1 Objetivo General

Proponer los parámetros de resistencia al corte para el análisis de estabilidad de taludes en mina y escombreras en Minera Loma de Níquel C.A.

##### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar los taludes de mina, depósitos finales y temporales de acuerdo a los atributos físicos y mineralógicos del suelo o roca que los compongan.
- Establecer en base a la información de campo obtenida, los taludes y depósitos finales o temporales de materiales, más adecuados para la toma de muestras.
- Desarrollar una campaña de muestreo para cada material a ser estudiado.
- Realizar ensayos de laboratorio para la caracterización y determinación de parámetros de resistencia al corte.
- Determinar los parámetros de estabilidad de taludes para cada material.
- Analizar la variación del ángulo de talud con respecto al factor de seguridad y los demás parámetros de estabilidad.

- Formular una propuesta para las condiciones finales de los taludes en mina y escombreras.

### **1.3 Alcances y Limitaciones**

La investigación se orientó a los materiales en sitio de la mina, específicamente, las zonas de laterita y saprolita; así como los materiales removidos que son llevados a depósitos permanentes, estos materiales son: laterita, saprolita y escoria de reducción o también denominada arena industrial, este último, es un subproducto del procesamiento final de la saprolita. Se llevaron a cabo campañas de muestreo para realizar ensayos de caracterización y medición de parámetros de resistencia en laboratorio, para obtener las condiciones estables para los taludes en la mina, incluyendo los depósitos permanentes.

Los parámetros de estabilidad de taludes en roca fresca, fueron evaluados en un solo talud, debido a las restricciones de acceso a las áreas de estudio. De igual forma, no se realizaron estudios sobre los efectos producidos por los bloques o peñones de roca alterada, presentes en la matriz de grano fino en la zona saprolítica.

Como limitaciones más importantes en la fase de recolección de muestras, se encuentran, el difícil acceso a las áreas de estudio dentro de la explotación y a algunos bancos, debido a las normas de seguridad de la empresa o en ocasiones por estarse efectuando en estas, actividades relacionadas con la explotación mineral. Entre otras limitaciones concernientes al tiempo y dinero invertido se encuentran, el transporte de las muestras al laboratorio de mecánica de suelos desde la empresa, así como también las técnicas empleadas en la preservación de éstas.

En la fase de laboratorio, el acceso a los laboratorios que se realizó en un horario específico, el tiempo de cada ensayo influyó en el número de muestras ensayadas (por ejemplo los ensayos de corte directo, con una duración de una semana por muestra).

En la fase de análisis de datos, no se contó con los datos experimentales o teóricos sobre el nivel freático en el área de mina, lo que limitó a generar perfiles de talud que no considerasen dicha variable.

### **1.4 Justificación**

La estabilidad de taludes en minería comprende un tema muy importante en las áreas de seguridad, planificación y operaciones. Así como en la construcción de edificaciones son necesarios los estudios geotécnicos, en minería también se hacen imprescindibles dichos estudios, los cuales deben ser realizados en las etapas previas al inicio de las labores de desarrollo de la mina, y cuyo grado de exactitud irá aumentando de acuerdo a la etapa de estudio en la que se encuentre el proyecto (conceptual, pre-factibilidad o factibilidad), esto con el propósito de mitigar la ocurrencia de accidentes desencadenados por la falla de taludes en roca o suelos.

Diversos autores han discutido la influencia del ángulo de talud sobre el diseño y economía de la minería a cielo abierto; algunos concuerdan con la necesidad de aumentar la inclinación del ángulo de talud final, a fin de extraer la mayor cantidad de mineral. Sin embargo, existen factores adicionales que determinan esta inclinación, como las características de los equipos, las vías de acarreo y las legislaciones vigentes.

Sin embargo, a pesar de que las características finales de talud puedan ser de importancia económica, la estabilidad de los bancos individuales se convierte en un tema de atención inmediata; las fallas de un banco pueden acarrear pérdidas en las vías de acarreo, que puede implicar una inversión importante de tiempo en su recuperación, y evidentemente, afectar la producción de la mina.

Debido a esto, la empresa Minera Loma de Níquel, C.A. le concierne toda información sobre las condiciones de estabilidad de taludes de los materiales con los cuales trabaja, tanto en sitio como removidos, que verifiquen o refuten aquellas planteadas por el estudio de factibilidad.

Es por ello relevante la evaluación de condiciones de estabilidad para los materiales con los que trabaja Minera Loma de Níquel C.A., como herramienta de apoyo en el trabajo seguro y optimización de las labores de explotación, así como la garantía de estabilidad a futuro.

## CAPÍTULO II

### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y NATURALES

#### 2.1 Ubicación Geográfica

El yacimiento niquelífero se ubica en la fila Loma de Hierro, a 87 km al suroeste de Caracas a una altura de 1200 msnm, entre los municipios Guaicaipuro Estado Miranda y Santos Michelena Estado Aragua, las coordenadas planas N 1.122.500, E 703.000 y N 1.124.000, E 704.500, Zona 20, en la Serranía del Interior (Cordillera de la Costa) Hoja 6746, escala 1:100.000, Cartografía Nacional (figura de ubicación).

La Autopista Regional del Centro es la vía de acceso al yacimiento, hasta la altura de la población Tejerías, Estado Aragua, kilómetro 54; punto en el cual, un trayecto de 20 km desvía hasta la entrada de la empresa Minera Loma de Níquel, tal y como se aprecia en la Figura 2.1.



**Figura 2.1. Representación gráfica de la ubicación relativa de Minera Loma de Níquel, C.A.  
Modificado de: <http://www.veneconomia.com/> (12/11/2010).**

#### 2.2 Características Físicas y Naturales

##### 2.2.1 Clima

Previo a la explotación mineral existieron un gran número de estaciones meteorológicas en las cercanías de Loma de Hierro, estas brindaron información valiosa para que durante el desarrollo del estudio de factibilidad, se confirmara que el clima predominante de la zona es tropical de altura. Los datos mostrados en la tabla 2.1, muestran dichas estaciones junto con su ubicación y período de actividad.

**Tabla 2.1. Estaciones Climatológicas**

Estación	Tipo	Serial	Período	Coordenadas		Elevación
				Latitud	Longitud	
Tiara	PR	1478	52-92	10°07'49"	67°09'00"	750
San Francisco Pao	PR	441	66-92	10°05'45"	67°17'05"	640
Fila Guaraima	PR	9303	72-92	10°11'00"	67°17'37"	1005
Embalse Suata	PR	1475	44-88	10°12'46"	67°22'58"	512
El Consejo	PR	1465	53-92	10°14'30"	67°16'10"	553
La Urbina Quebrada Seca	PR	1455	40-92	10°16'53"	67°15'40"	650
Pie de Cerro	PR	1469	40-92	10°19'24"	67°19'15"	780
Las Tejerías	PR	589	53-92	10°15'21"	67°10'18"	484
Río Arriba	PR	589	59-92	10°09'00"	67°01'00"	395
Hacienda La Emilia	PR	1488	59-92	10°06'00"	67°06'00"	585
Santa Cruz Edafológica	CI	417	66-91	10°10'00"	67°29'15"	444

Tomado de: Feasibility Study Loma de Hierro Project, (1995)

### 2.2.2 Lluvia

El promedio máximo de lluvia anual fue registrado en las estaciones de la Hacienda La Emilia (1.580 mm) y Tiara (1.405 mm) y el mínimo en la estación Quebrada Seca (826 mm). Los registros de lluvia para la estación de Tiara, localizada en las cercanías del yacimiento son considerados representativos de área donde las actividades mineras toman lugar.

### 2.2.3 Evaporación

La estación climatológica Santa Cruz Edafológica, es la más cercana de este tipo, y tiene registros de evaporación de 1966 a 1991 (26 años). En las regiones tropicales la evaporación mensual varía muy poco, sin importar si el periodo es seco o lluvioso. La tabla 2.2 muestra los registros mensuales y anuales en promedio de las estaciones antes mencionadas.

**Tabla 2.2. Evaporación mensual y anual (mm)**

Datos	MESES												ANUAL
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Media	221,8	238,7	287,8	245,5	199,9	175,3	172,8	165,6	159,6	166,1	156,2	188,4	2377,6

Tomado de: Feasibility Study Loma de Hierro Project, (1995)

### 2.2.4 Temperatura

La temperatura anual es de 26 °C con una media máxima de 31,9 °C y una media mínima de 21 °C. El máximo absoluto es de 40,8 °C en enero y el mínimo absoluto de 13,7 °C en diciembre.

### 2.2.5 Radiación

La radiación total anual es de 147.842 cal/m<sup>2</sup> con una media mensual de radiación diaria de 405 cal/m<sup>2</sup>. La máxima mensual de radiación diaria es de 674 cal/m<sup>2</sup> (marzo) y la mínima de 84 cal/m<sup>2</sup> (mayo). La radiación es un factor importante en la formación de neblina en la noche con un cielo despejado y atmosfera estable. La neblina en las mañanas es muy común durante todo el año.

### 2.2.6 Insolación

La media anual de insolación por día es de 7,3 horas y el máximo absoluto es de 12 horas alcanzado en el mes de junio.

### 2.2.7 Humedad relativa

La media anual de humedad relativa es de 70 % con una media máxima de 89 % y una media mínima de 46 %. La humedad relativa máxima absoluta es de 100 % y la mínima absoluta es de 11 %.

### 2.2.8 Nubosidad

La media anual de nubosidad es de 5 octavos con una media mensual máxima de 6 octavos y una media mínima mensual de 4 octavos. La media anual es de 5 octavos indicando que el área tiende a ser nublada la mayor parte del año, excepto entre diciembre y marzo cuando está normalmente despejado.

### 2.2.9 Viento

La media anual es de 8 km/h y la máxima registrada es de 73 km/h. La dirección de los vientos que prevalecen son Este y Noreste.

## 2.3 Descripción del Yacimiento Niquelífero

### 2.3.1 Zona I

Se compone de una laterita roja oscura. El material es poroso y permeable, con una humedad media de 24,77 %. Desde un punto de vista mineralógico los óxidos y los hidróxidos del hierro prevalecen en la forma de concreciones, así como en minerales de arcilla. Este material se considera inútil, debido al alto contenido de hierro que dificulta el proceso pirometalúrgico. La Tabla muestra el comportamiento de los elementos químicos más importantes de esta zona.

Tabla 2.3. Comportamiento de los elementos químicos de la Zona I

(%)	Mínimo	Máximo	Medio
Ni	0,1	1,2	0,79
Fe	35	71	46,84

### 2.3.2 Zona II

Se diferencia de la zona 1 debido a su color amarillento y a un contenido más alto de minerales de arcilla. Es una capa muy porosa y casi impermeable. Los valores de humedad se encuentran entre 13 % y 52 %. Desde el punto de vista mineralógico, los óxidos de hierro e hidróxidos prevalecen. Debido al alto contenido de hierro y de la relación  $SiO_2/MgO$ , la unión de las zonas 1 y 2

componen la capa inútil que cubre la saprolita. Sin embargo, durante el proceso de explotación, el material de las zonas 1 y 2 se deben poner en las descargas inútiles separadas, debido a la posibilidad de usar el material de la zona 2 en el futuro en otros procesos metalúrgicos pues, el alto grado de níquel se presenta en la zona 2 (1,2 %) como puede apreciarse en la Tabla 2.4.

**Tabla 2.4. Comportamiento de los elementos químicos de la Zona II**

(%)	Mínimo	Máximo	Medio
<i>Ni</i>	1,21	5,1	1,56
<i>Fe</i>	35	71	44,63

### 2.3.3 Zona III

Está compuesta por serpentinas y saprolitas, su color varía entre marrón amarillento y pálido verde. Es altamente poroso, muy fracturado y su humedad se encuentra entre 15 y 46 %. Desde el punto de vista económico, esta es la zona más importante a ser explotada debido a la alta composición de níquel, que se puede observar en la Tabla 2.5.

**Tabla 2.5. Comportamiento de los elementos químicos de la Zona III**

(%)	Mínimo	Máximo	Medio
<i>Ni</i>	0,81	7,11	1,64
<i>Fe</i>	3,24	64,96	14,02
<i>SiO<sub>2</sub>/MgO</i>	0,54	194,38	1,90

El mineral principal del níquel es garnierita; la cromita y la magnetita son minerales adicionales presentes en esta zona. Durante el proceso de la explotación, este material (saprolita) se considera como la materia prima para la planta metalúrgica.

### 2.3.4 Zona IV

El principal tipo litológica presente en esta zona son las peridotitas, en su mayoría serpentinizadas. Este material se presenta en la forma de bloques de varias dimensiones, alcanzando a veces 3 m de diámetro. El color del material está entre amarillento verde y gris, y es cortado por venas pequeñas de pirolusita. En ciertas partes del depósito los bloques de roca se encuentran fracturados. Estas fracturas son rellenas por garnierita y ópalo; la cromita y la magnetita prevalecen como minerales adicionales. El contenido de níquel es variable, por consiguiente, no se explota durante la operación de la mina. Su humedad media es baja 14 % aproximadamente. La tabla 2.6 muestra el comportamiento químico de los elementos más relevantes.

**Tabla 2.6. Comportamiento de los elementos químicos de la Zona IV**

(%)	Mínimo	Máximo	Medio
<i>Ni</i>	0,03	0,92	0,43
<i>Fe</i>	1,09	34,91	8,22
<i>SiO<sub>2</sub>/MgO</i>	0,43	418,33	2,80

La Figura 2.2 muestra el comportamiento de los elementos químicos de mayor importancia del yacimiento, que se presenta en una perforación efectuada durante la etapa inicial de estudio de factibilidad para la explotación de níquel.

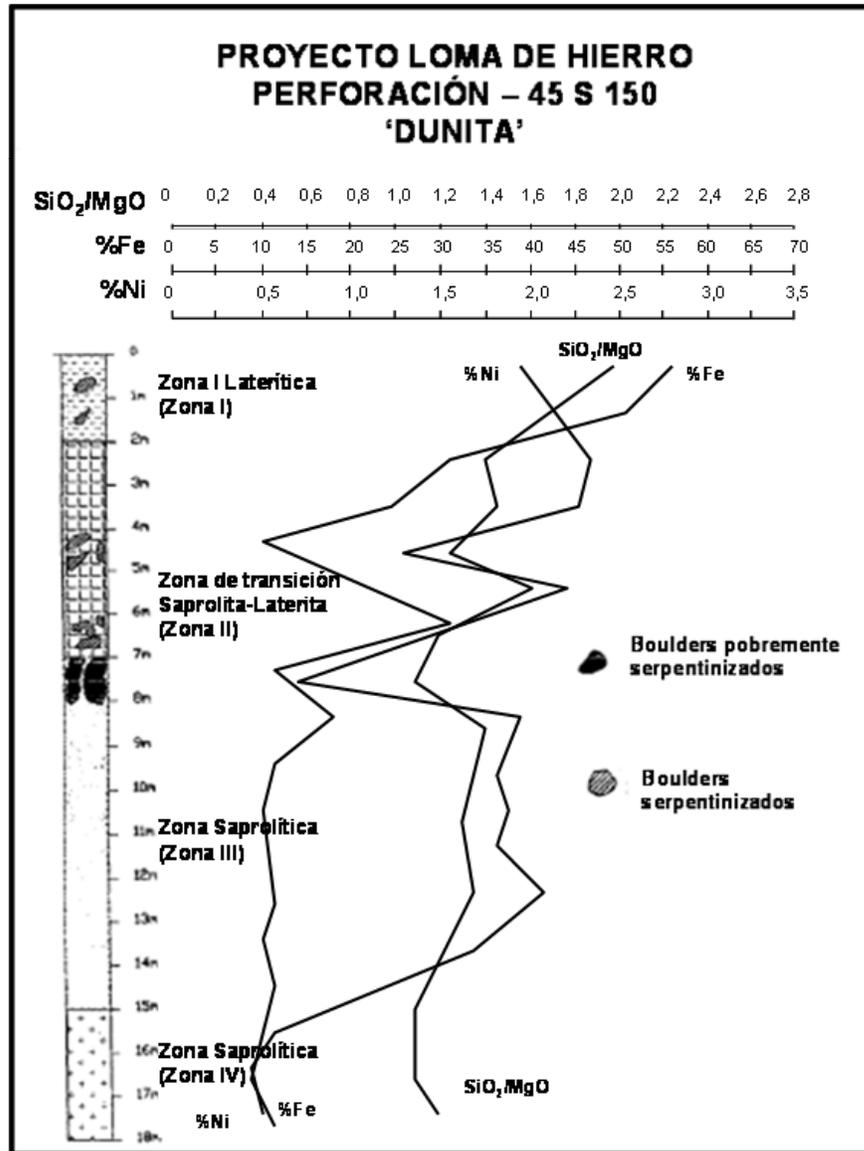


Figura 2.2. Comportamiento de los elementos químicos según las zonas mineralizadas. Tomado de: Estudio de Factibilidad MLdN, 1995.

## **2.4 Geología Regional**

La geología de la región centro del país está enmarcada en las formaciones geológicas depositadas desde el mesozoico hasta el cenozoico y que a través del tiempo geológico fueron sometidas a los grandes efectos metamórficos y tectónicos como la influencia de la placa del Caribe sobre la Suramericana (límite convergente) responsable en gran parte de la formación de los cinturones orogénicos que integran actualmente la Cordillera de la Costa.

Algunas formaciones geológicas en contacto tectónico con el complejo ofiolítico y en consecuencia con la zona en estudio y que pueden ser objeto de interés son:

### **2.4.1 Formación Tucutunemo**

González de Juana (1980) sostiene que la Formación Tucutunemo se extiende de Este a Oeste, desde la Región de Los Teques - Cúa en el Estado Miranda, hasta la región de Tinaquillo en el Estado Cojedes, atravesando parte de los estados Guárico y Aragua.

Shagam (1960), utilizó este nombre para designar una secuencia de rocas metasedimentarias constituida por filita carbonácea con intercalaciones arenosas y limosas, que aparecen en contacto de falla con la Formación Paracotos y cuyo contacto con otras formaciones cretácicas del área se desconoce, sugiriendo que esta representa la unidad más joven del Grupo Caracas del río Tucutunemo, Estado Aragua, hasta los cerros del Oeste de Charallave, Edo. Aragua.

De acuerdo con Shagam (1960), esta unidad consiste en filitas carbonáceas arenosas que varían a meta-areniscas y limonitas cuarzo feldespáticas, encontrándose también cantidades menores de areniscas de grano grueso y conglomerados cuarzo-calcáreos. Una zona discontinua pero prominente de caliza cristalina negra, de grano fino, asociada a un conglomerado calcáreo, se ubica cerca de la parte superior de la secuencia y cerca de la base de la misma, aparecen algunas capas delgadas de toba básica afanítica de color verde.

La edad estimada es del Cretáceo medio al tardío, Beck (1985) aporta una edad  $K - Ar$  de 73,5 Ma que interpreta como una edad metamórfica posterior. Mientras que las calizas de la unidad se asignan al Paleozoico tardío (Pérmico), según Benjamini (1997).

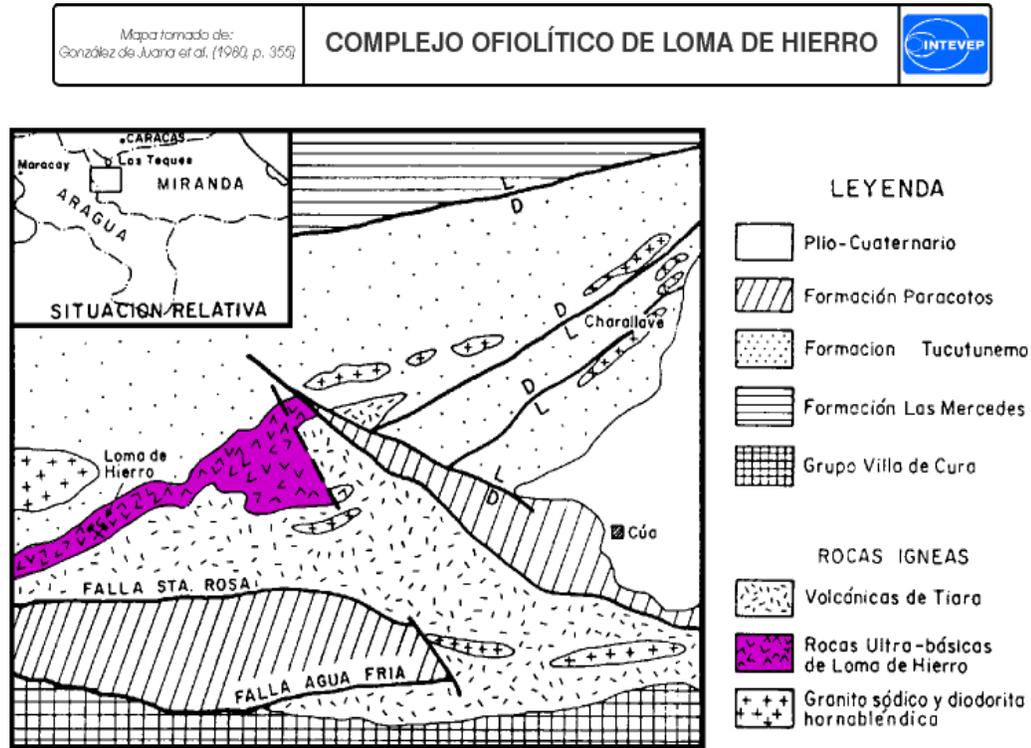
### **2.4.2 Complejo Ofiolítico de Loma de Hierro**

La expresión más característica de esta unidad es la fila de Loma de Hierro, donde sobre la peridotita serpentizada se ha formado una cobertura de laterita níquelífera, que en algunos lugares tiene gruesas capas de moco de hierro.

Pertenciente al Cretácico, el complejo ofiolítico Loma de Hierro se encuentra ubicado entre los Estados Aragua y Miranda (Figura 2.3). El cuerpo principal del Complejo tiene una extensión de unos 21 km, desde unos 4 km al Oeste del poblado de Tiara, estado Aragua, hasta las proximidades de Tácata, estado Miranda, con una anchura variable entre 1 a 5 km

Van Berkelet et al. (1988) estudian el extremo suroriental del cuerpo, y proponen emplear el nombre de "Complejo Ofiolítico Loma de Hierro", como una unidad litodérmica del tipo complejo estructural, incluyendo a las rocas ultramáficas, gabroides y volcánicas, aunque estas últimas corresponden a la Formación Tiara, según otros autores.

Según Graterol (1972), el complejo se compone de peridotita serpentizada, troctolita y gabro asociado a basalto. La serpentización se agudiza hacia los bordes del bloque. Al Norte existen rocas intermedias entre peridotitas y gabros, entre ellas troctolitas, gabros oliviníferos serpentizados y rodingita. La peridotita predominante es la harzburgita de grano grueso con olivino y enstatita de color negro a verdoso de acuerdo al grado de serpentización. Existe uniformidad a través del cuerpo, aunque hay presencia de rocas complejas entre peridotitas y troctolitas en el borde septentrional.



**Figura 2.3. Mapa geológico simplificado de la parte occidental del Estado Miranda, indicando el área de afloramientos de las ultramáficas de Loma de Hierro. Simplificado de Bellizzia (1967) Tomado de [www.pdvsa.com/lexico](http://www.pdvsa.com/lexico) (21/10/2010).**

### 2.4.3 Formación Tiara

Smith, (1953), utiliza el término Rocas Volcánicas de Tiara, a la secuencia de rocas volcánicas que aflora en la Región Loma de Hierro y de Táchata, Estados Aragua y Miranda. El autor, redescubre como Formación Volcánica de Tiara, a la secuencia más joven, que aflora en la localidad tipo de Tiara y en el área al Norte de san Sebastián.

Smith (1953), indica la presencia de basalto, rocas gabroides, en ocasiones con cristales de piróxenos y plagioclasas con textura ofítica, los piróxenos a veces transformados a hornblenda y clorita; el autor indica que estos cuerpos pueden ser sills o diques, como equivalentes hipoabisales al basalto. El metabasalto es de grano fino, denso, de color gris claro a negro, con textura sub-ofiolítica, algunas variedades son porfídicas, con fenocristales de plagioclasa en una matriz muy fina, a veces

muy alterada. Junto a las rocas ígneas, describe una sección de metatobas, de color negro y matiz muy fina, constituida por fragmentos de rocas volcánicas, plagioclasa, cuarzo y ftanitas.

Según Smith (1952), el espesor es de unos 900 metros, mientras que Shagam, (1960) estima un espesor superior a los 400 metros. La edad para las rocas aflorantes en la Región tipo no se ha determinado. Sin embargo, Piburn (1961) reporta una edad  $K - Ar$  de  $100 \pm 10$  Ma. En la roca total para una metatoba actinolítica en la base de la unidad, en el sector San Sebastián, equivalente al límite Albiense-Cenomaniense.

La Formación Tiara está correlacionada con la Formación La Luna, al occidente, y con la formación san Antonio, al oriente; según Smith (1952). Actualmente, se considera que los afloramientos de la sección tipo de Tiara y los de San Sebastián, están en unidades tectónicas diferentes, en la Napa de Loma de Hierro y la Napa Caucagua-El Tinaco, respectivamente. La indeterminación de la edad en la sección tipo, impiden establecer una correlación confiable entre la Formación Tiara y demás unidades de la Cordillera de la Costa.

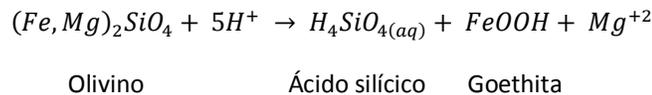
En ocasiones es posible observar zonas de carácter pegmatítico. La mineralogía predominante es e clinopiroxenos (diálagas), plagioclasas cálcicas alteradas, la rodingita posee grosularia, diópsido o diálaga, clorita y generalmente se encuentran como diques. Graterol (1972) concluye gabros y rocas ultramáficas comagmáticos; asimismo, señala un espesor de 800 m para el cuerpo de peridotitas y gabros.

Según Beck (1985, citado por C.E.V., 1997) el contacto septentrional entre el cuerpo de rocas ultramáficas con la Formación Tucutunemo, es tanto de fallas de ángulo alto, como de corrimiento, mientras que el contacto meridional con el cuerpo de gabros masivos es estratigráfico. Por su parte, el contacto entre el gabro y las rocas de la Formación Tiara es reconocido tanto como de naturaleza estratigráfica, como a través de fallas de ángulo alto.

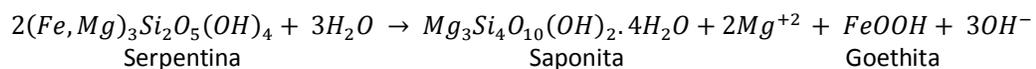
## 2.5 Lateritas de Ni tipo silicatos hidratados

Las lateritas de níquel tipo silicatos hidratados son la tipología de lateritas niquelíferas de nuestro estudio. Las más conocidas se encuentran en regiones tectónicamente activas, de relieve moderado, como en el Sudeste de Asia y Oceanía, en América Central y el Caribe (Golightly, 1979).

En colinas y laderas, el nivel freático permanece por debajo del frente de meteorización. En la exposición del perfil laterítico, bajo condiciones meteóricas, el olivino es el primer mineral en alterarse. El resultado de su hidrólisis da como resultado la formación de goethita junto con ácido silícico y magnesio.



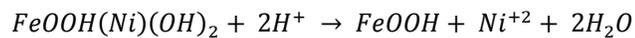
Cuando finaliza la hidrólisis del olivino comienza la del piroxeno y la de la serpentina. Y los productos son: esmectitas y óxidos de hierro con la lixiviación de magnesio. Las esmectitas derivan de los clinopiroxenos, las nontronitas y montmorillonitas derivan de clinopiroxenos ricos en aluminio y los minerales ferromagnésicos derivan de la serpentina.



El níquel liberado por la meteorización del olivino y serpentina se mantiene en el perfil, mayoritariamente en la goethita, aunque también en la saponita (Brand y Butt, 2001).

Estas transformaciones causan un aumento de la porosidad de modo que las soluciones se infiltran rápidamente y son menos alcalinas, y por lo tanto, la densidad disminuye más del 50%. Los silicatos primarios son pseudomórfizados por oxihidróxidos de hierro y esmectitas. Los óxidos de hierro y las esmectitas continúan los procesos de hidrólisis, lixiviando casi por completo el magnesio. Como consecuencia, en el horizonte superior dominan óxidos de hierro; o bien, caolinita o gibsita si las concentraciones de aluminio son muy altas. En esta etapa, la textura de la roca original es irreconocible debido al aumento de la porosidad entre las fracturas y la presencia de microfallas.

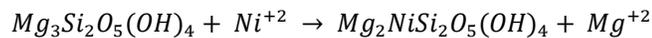
Con la pérdida total de más del 70% de la masa inicial, la concentración residual por si sola puede dar más de un 1% en níquel. Cuando la vegetación es abundante, los suelos orgánicos producen soluciones con pH bajos, y durante el curso de meteorización, los óxidos de hierro en los horizontes superiores pueden ser disueltos y volver a precipitar, lo que produce la lixiviación del níquel.



Goethita con Ni adsorbido

Goethita

Finalmente, el níquel es transportado a las profundidades del perfil laterítico y puede ser readsorbido por goethita o bien reaccionar con los productos de la meteorización del olivino, serpentina y otros minerales para formar "garnierita" y otros silicatos de magnesio hidratados. Los óxidos de manganeso también se encuentran en la parte inferior de la zona de los óxidos con precipitaciones de níquel y sobre todo de cobalto (Golightly, 1979; Peletier, 1996). El níquel también puede reemplazar al magnesio en la serpentina.



Lizardita

Lizardita niquelífera

Debido al drenaje local en condiciones impuestas por la tectónica, estructura y topografía los resultados de los procesos de hidrólisis son compuestos silicatados y/o óxidos hidratados. La tasa de erosión elevada limita la profundidad de meteorización en valores inferiores a 30 m, por lo tanto, en las zonas de menor relieve los perfiles lateríticos serán menos maduros (Budel, 1982).

## CAPÍTULO III

### BASES TEÓRICAS

#### 3.1 Antecedentes

Centeno et al. (1957) "*Estudios para el proyecto de carreteras en relación a la estabilización y conservación de taludes*", realizan una compilación geológica del país (Venezuela), de acuerdo a sus formaciones y ocurrencias minerales, como un previo a los proyectos de obras, especialmente en el ámbito de la estabilización y conservación de taludes a nivel nacional.

Russo et al. (1984) "*Estabilidad de Taludes. Método SARMA*", realizan un estudio del método computarizado de estabilidad de taludes SARMA, basado en el método de cálculo de estabilidad de Morgenstern-Price. Según el autor, este método es el que más se ajusta a la realidad dentro de los métodos avanzados de estudios de estabilidad.

Los autores indican los fundamentos teóricos del método y el programa computarizado para su aplicación. Asimismo, describe la metodología de aplicación a través de ejemplos de cálculo típicos.

Los autores, indican que la confiabilidad del método SARMA, unida al hecho de que permite el uso de una herramienta tan poderosa como los sistemas computacionales, ya que agiliza los procedimientos de cálculo y disminuyen los costos, lo que justifica que se globalice su uso en Venezuela.

Trujillo et al. (1987), en su Tesis "*Evaluación geomecánica de rellenos constituidos con suelos procedentes del corte de filitas cuarzo micáceas, Formación Las Brisas*", realizan una caracterización de suelos con material proveniente de las filitas de Caracas (Formación Las Brisas) y un estudio del comportamiento ante el fenómeno de colapso con relación a la profundidad.

Los autores realizan un muestreo de una zona de relleno de la Urbanización "La Lagunita Country Club" para efectuar ensayos de granulometría, límites de Atterberg, peso específico, pruebas de compactación y ensayos de corte directo (sin consolidar, sin drenar a humedad de compactación y consolidado saturado correspondiente a las condiciones de suelo después de haber finalizado el colapso); obteniendo valores que recomiendan un estudio previo de los materiales de relleno para el desarrollo de obras civiles.

Arellano, L. et al. (1991) presentan la Tesis de Grado "*Elaboración de un manual para el prediseño de taludes*"; en este trabajo emplean el método Bishop modificado considerando la presencia de flujo de agua a través de factores de presión de poros, sin tomar en cuenta los movimientos sísmicos sobre cinco tipos de suelo variando los parámetros incidentes en los cálculos, para a través del empleo de sistemas computacionales, obtener una salida que sirva de base para los estudios de estabilidad de taludes sobre suelos con propiedades y situaciones análogas.

Contreras, I. en el trabajo "*Resistencia al Corte y Estabilidad de Taludes en Arcillas Duras Fisuradas y Lutitas*", presenta una revisión de la estabilidad a largo plazo de taludes que involucran arcillas duras fisuradas y lutitas. En esta investigación, el autor realiza ensayos de resistencia al corte residual, corte directo reversible, corte torsional y triaxial. Son tomadas en cuenta muestras intactas y reconstituidas y analizados los mecanismos de falla de estos suelos, concluyendo principalmente que en la superficie de falla de deslizamientos asociados a la reactivación de deslizamientos antiguos en arcillas duras y lutitas, la condición residual es alcanzada.

Benarroch, A. et al. en su estudio “*Evaluación de la Sensibilidad de los Paramos Geotécnicos en el Análisis de Estabilidad de Taludes*”, realizan una evaluación geotécnica, a partir de la perforación y ensayos en tres distintos laboratorios, en una zona de la Urbanización Prados del Este, Municipio Baruta, Estado Miranda. Los autores, emplean el método de Bishop modificado para determinar la estabilidad de los taludes en la zona.

Los autores concluyen que la incertidumbre en los resultados es una realidad que debe saber afrontar el ingeniero, para la determinación de factores de seguridad adecuados, evitar el sobredimensionamiento de las obras y emplear soluciones prácticas y efectivas.

Belandria, N. et al. en su trabajo “*Estudio Geotécnico de la Troncal 07, entre sector Estanques y la Victoria, en el Municipio Sucre, del Estado Mérida*” realiza un análisis de estabilización de taludes, empleando el método de Piero Feliziani, la clasificación de Bieniawski y el método de Bishop simplificado para suelos, además de proyecciones estereográficas en la clasificación de rocas. A partir de estos datos desarrollan un mapa de sectorización geotécnica del área en estudio. Los autores proponen la técnica de terrazas para incrementar el Factor de Seguridad en aquellos taludes que resultaron estar por debajo de los valores normales de FS, y resultar inseguros.

### **3.2 Estudios de Petrografía**

La petrografía se ocupa de la descripción sistemática de las rocas. La petrografía como ciencia se inició con una técnica inventada en 1828 por el físico escocés William Nicol para producir luz polarizada por el corte de un cristal de espato de Islandia (calcita) en un prisma especial, conocido como Prisma de Nicol. Esto significó un avance del conocimiento de los componentes de una roca.

Fue un desarrollo posterior el que realmente sentó las bases de la petrografía. Una técnica, perfeccionada en la década de 1840 a finales de Henry C. Sorby en Inglaterra y otros, en que un trozo de roca fue colocado en un portaobjetos de microscopio o suelo tan delgado que la luz podía ser transmitida a través de los granos minerales que de otra manera se verían opacos. La posición de los granos adyacentes no se alteró, lo que permite el análisis de la textura de la roca.

Una sección fina es una muestra de roca, mineral o suelo para su uso con un microscopio petrográfico de luz polarizada. De una franja delgada de la roca se corta la muestra con una sierra de diamante o láser, y devastado con un abrasivo de grano más fino progresivamente hasta que la muestra es de sólo 30  $\mu\text{m}$  de espesor.

Cuando se coloca entre dos filtros polarizadores orientados perpendicularmente entre sí, las propiedades ópticas de los minerales en la sección delgada alteran el color y la intensidad de la luz. Como diferentes minerales tienen diferentes propiedades ópticas, la mayoría de los minerales de la roca pueden ser fácilmente identificados.

La sección fina de la petrografía se convirtió en el método estándar del estudio de rocas por los detalles de textura que contribuyen en gran medida al conocimiento de la secuencia de cristalización de los componentes minerales diversos en una roca.

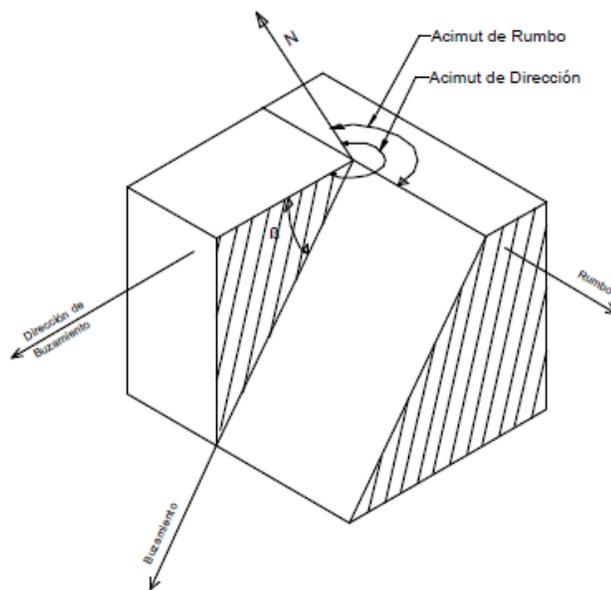
La descripción de las rocas se inicia en el campo con la observación de la forma y la estructura de las masas de roca en la escala de centímetros a kilómetros. Las relaciones geométricas entre los y las estructuras dentro de las unidades de roca asignables son generalmente el dominio de la geología de campo, pero son simplemente descripciones de la roca en escala reducida.

Los tamaños, formas y orientaciones de los granos y los vacíos son las características más importantes de una roca pertinentes a su origen. Estas características afectan también la densidad,

porosidad, permeabilidad, resistencia, y el comportamiento magnético. También es esencial conocer la identidad, la abundancia y composición de los minerales que constituyen los granos con el fin de nombrar una roca y deducir las condiciones de formación.

Para el análisis de problemas muy frecuentes en la mecánica de rocas tales como la estabilidad de taludes, frentes de túneles, probabilidad de desprendimientos y clasificaciones geomecánicas, es necesario el examen de las discontinuidades estructurales a fin de determinar las orientaciones predominantes de éstas, lo que habitualmente se denominan familias de discontinuidades.

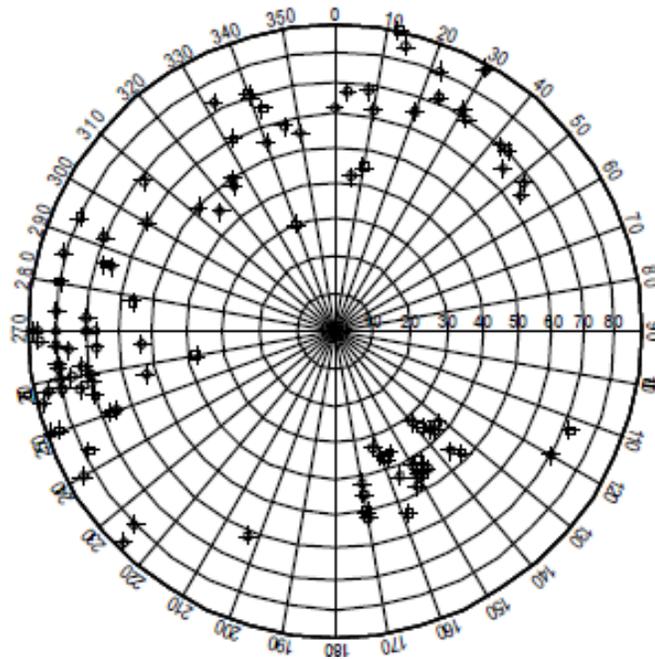
Cada estudio dispone de un amplio conjunto de datos generados en campo, que provienen de un muestreo aleatorio y conforman un conjunto de valores de dirección de buzamiento y buzamiento de las discontinuidades, como se puede observar en la Figura 3.1.



**Figura 3.1. Representación de una discontinuidad en el espacio**

Tradicionalmente estas discontinuidades, o más correctamente su orientación, son representadas mediante la proyección de la intersección de un plano paralelo a ellas pasando por el centro de una semiesfera ideal de referencia. Dado el gran número de datos a manejar en las primeras fases de los trabajos se considera más adecuada la llamada proyección estereográfica polar, en que cada discontinuidad es representada por un punto o polo, correspondiente a la intersección de la normal al plano representativo del defecto con la esfera de referencia.

La proyección de los datos de campo podría dar lugar a una representación similar al de la Figura 3.2. La dispersión de los datos suele ser considerable y la determinación de las direcciones preponderantes o representativas es muy útil realizar un curvado representativo de la densidad de polos.



**Figura 3.2. Representación equiárea de los polos de las discontinuidades**

A partir de la creación de líneas de isodensidad es posible determinar las condiciones necesarias de inestabilidad para alguna falla en específico, por ejemplo, falla de cuña, falla plana, etc.

### 3.3 Fallas en Roca

Los diferentes tipos de roturas están condicionados por el grado de fracturación del macizo rocoso y por la orientación y distribución de las discontinuidades con respecto al talud, quedando la estabilidad definida por los parámetros resistentes de las discontinuidades y de la matriz rocosa. En macizos rocosos duros o resistentes, las discontinuidades determinan la situación de los planos de rotura. En macizos formados por rocas blandas poco competentes, la matriz rocosa también juega un papel importante en la generación de estos planos y en el mecanismo de rotura.

Según Hoek y Bray (1980) los modelos de rotura más frecuentes son los siguientes:

### 3.4 Rotura Plana

Se produce a favor de una superficie preexistente, que puede ser la estratificación, juntas tectónicas o fallas, etc. La condición básica es la presencia de discontinuidades buzando a favor del talud y con la misma dirección, cumpliéndose la condición de que la discontinuidad debe estar descalzada por el talud ( $\psi > \alpha$ ) y su buzamiento debe ser mayor que su ángulo de rozamiento interno (buzamiento de falla  $\alpha > \Phi$ ). Los diferentes tipos de roturas planas dependen de la distribución y características de las discontinuidades en el talud. Las más frecuentes son las roturas por planos que afloran en la cara o el pie del talud, con o sin grietas de tracción y roturas por planos paralelos a la cara del talud, por erosión o pérdida de resistencia del pie). La Figura 3.3 muestra las características y configuración estereográfica de la falla planar.

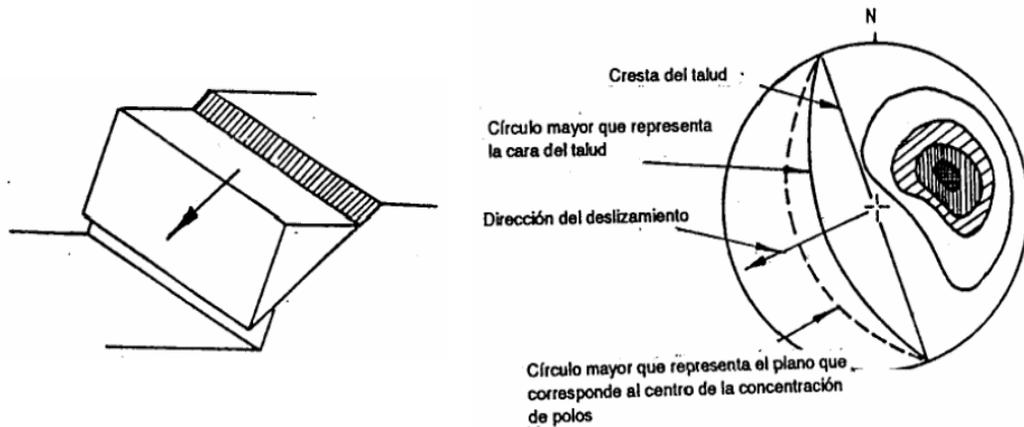


Figura 3.3. Representación de falla plana y estereografía

### 3.5 Fallas en Cuña

Son deslizamientos de bloques en forma de cuña, formado por dos planos de discontinuidad, a favor de su línea de intersección. Para que se produzca este tipo de rotura, los dos planos deben aflorar en la superficie del talud, y deben cumplir iguales condiciones que para la rotura plana  $\psi > \alpha > \Phi$ , siendo  $\alpha$  en este caso el buzamiento de la línea de intersección. Este tipo de rotura suele presentarse en macizos con varias familias de discontinuidades, cuya orientación, espaciado y continuidad determina la forma y el volumen de la cuña.

En representación estereográfica de varias familias de discontinuidades y las direcciones de deslizamiento de las cuñas que se forman para un talud con una inclinación dada. La comparación de los ángulos de inclinación del talud, de la línea de intersección de los planos de cuña y de la fricción de los planos permite determinar si la cuña es estable o inestable. Las representaciones de las fallas de cuña en taludes y la estereografía de los mismos son mostradas en la Figura 3.4

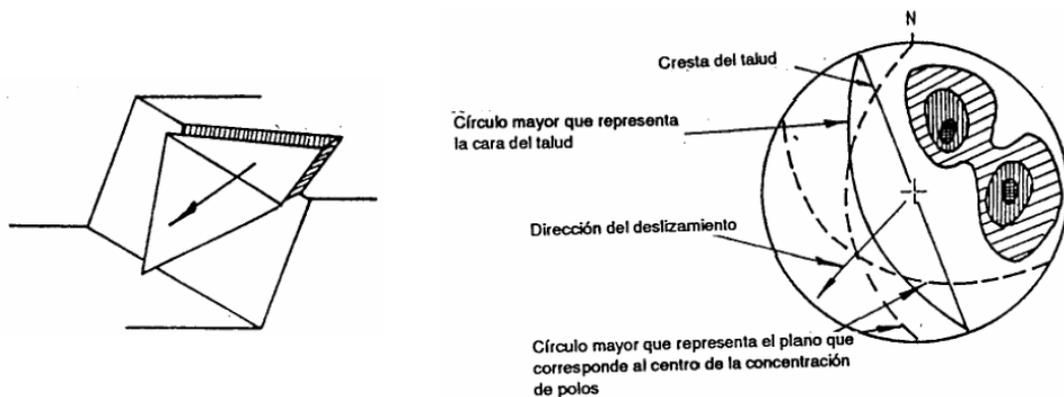
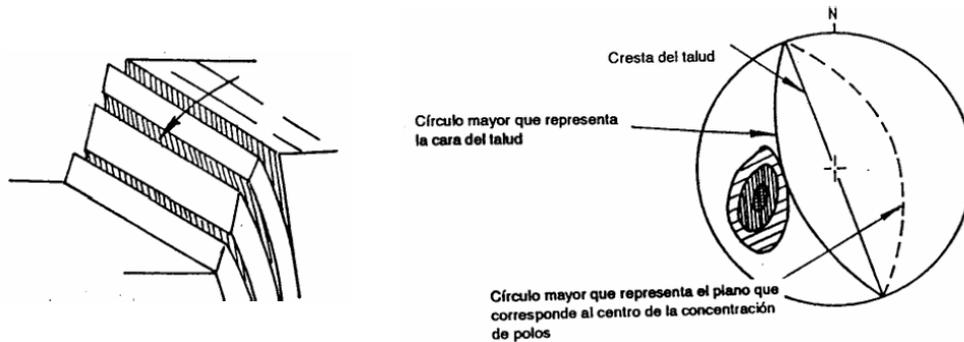


Figura 3.4. Representación de una falla de cuña y estereografía

### 3.6 Fallas por Volcamiento

Es la rotura producida a favor de los planos de estratificación paralelos al talud ( $\psi = \alpha$ ), con buzamiento mayor que el ángulo de rozamiento interno ( $\alpha > \Phi$ ). La rotura por pandeo ocurre con o sin flexión del estrato; la condición necesaria es que los estratos sean suficientemente esbeltos, en relación con la altura del talud, para poder pandear. La Figura 3.5 muestra un esquema de talud con estructura favorable al vuelco de los estratos.



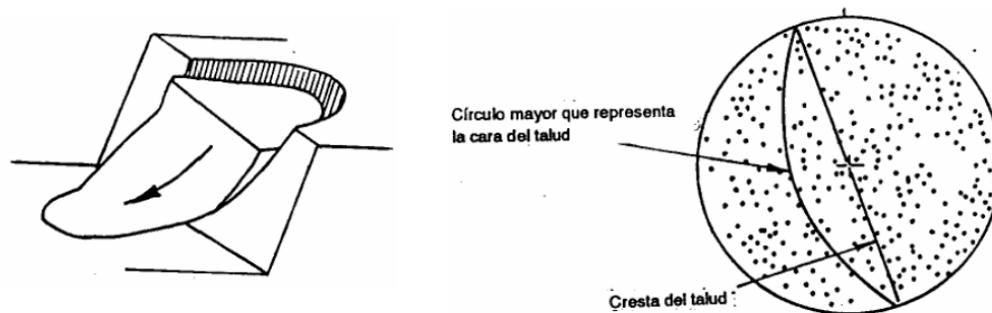
**Figura 3.5. Representación de una falla por volcamiento y estereografía**

Las fallas por pandeo se generan en los taludes de cortas mineras, al ser excavados paralelos a la estratificación, cuando los planos presentan un espaciamiento reducido. Las causas que pueden generar estas fallas son:

- Altura excesiva del talud.
- Existencia de fuerzas externas aplicadas sobre los estratos.
- Existencia de presiones de agua sobre los estratos.
- Concentración desfavorable de los esfuerzos.

### 3.7 Fallas Circulares o Rotacionales

Ocurren en macizos rocosos blandos poco competentes y en macizos muy alterados o intensamente fracturados, que presentan un comportamiento isótropo y donde los planos de discontinuidad no controlan el comportamiento mecánico; en estos casos, el macizo se comporta como un suelo. No obstante, la existencia de zonas singulares de debilidad y de grandes planos de discontinuidad en este tipo de macizos, como fallas, pueden condicionar modelos de rotura con otras tipologías. La Figura 3.6 muestra el esquema de rotura circular de un talud y su representación estereográfica.



**Figura 3.6. Falla Circular y su representación estereográfica**

### 3.8 Mecánica de Suelos

Según Terzaghi (1925, citado por Duque et al., 2003), la mecánica de suelos consiste en la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o la descomposición química de las rocas independientemente de la cantidad de materia orgánica presente en ellas.

Por su parte, Crespo (2004) define la mecánica de suelos como la rama de la mecánica que trata de la acción de fuerzas sobre la masa de los suelos. Según Duque et al. (2003), la mecánica de suelos es la aplicación de la mecánica a los problemas geotécnicos y estudia las propiedades, comportamiento y utilización del suelo como material estructural, de tal modo que las deformaciones y resistencia del suelo ofrezcan seguridad, durabilidad y estabilidad de las estructuras. La Figura 3.7, muestra el campo de aplicación de la geotecnia según los diferentes horizontes.

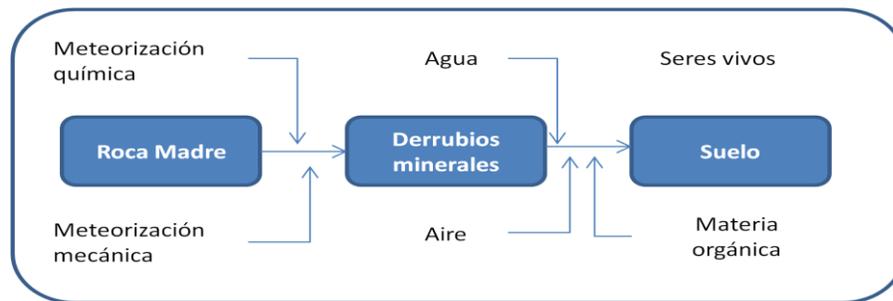
<b>Mecánica de Suelos</b>		<b>Suelo con Humus</b>	<b>Fabrica textural heredada. Zona de lixiviación susceptible a la erosión</b>
		<b>Suelo Sin Humus</b>	
<b>IV Completamente Descompuesto</b>		<b>Fabrica textural y estructural. Zona de acumulación. Inicia el control estructural.</b>	
<b>III Altamente Descompuesto</b>			
<b>Mecánica de Granos Gruesos</b>		<b>II Parcialmente Descompuesto</b>	<b>Fabrica Estructural heredada. Falla planar en cuña o por caída.</b>
		<b>I Roca Sana</b>	
<b>Mecánica de Rocas</b>			

**Figura 3.7. Perfil del suelo en geotecnia. El perfil geotécnico es descrito con seis horizontes, del I en la base al VI en la superficie**

El muestreo y la clasificación de los suelos son dos requisitos previos indispensables para la aplicación de la mecánica de suelos a los problemas de diseño. Uno de los problemas más comunes en el estudio de los suelos, es cuando la superficie del terreno no es horizontal y existe una componente de peso que tiende a provocar el deslizamiento del suelo. Si a lo largo de una superficie potencial de deslizamiento, los esfuerzos tangenciales debidos al peso o cualquier otra causa, como

agua de filtración, peso de una estructura o la acción de un sismo, superan la resistencia al corte del suelo, se produce el deslizamiento de una parte del terreno.

Cuando el efecto alterativo de las rocas se lleva a cabo por un medio físico se produce un suelo con la misma composición de ellas. Cuando es de efecto químico el proceso por medio del cual se produce el suelo, la constitución mineralógica de él es diferente a los que poseía la roca madre. Entre los agentes físicos que producen cambios en las rocas figuran el sol, el agua, el viento y los glaciares. Además, los restos de la vegetación y otros restos orgánicos, al ser descompuestos por la acción de los microorganismos para su propia nutrición, dejan como residuo partículas finas de tamaño coloidal denominadas humus. El humus se mezcla en diferentes proporciones con las partículas minerales, formándose de esa manera los suelos orgánicos. La Figura 3.8 muestra un diagrama que indica las etapas y procesos que influyen en la formación del suelo.



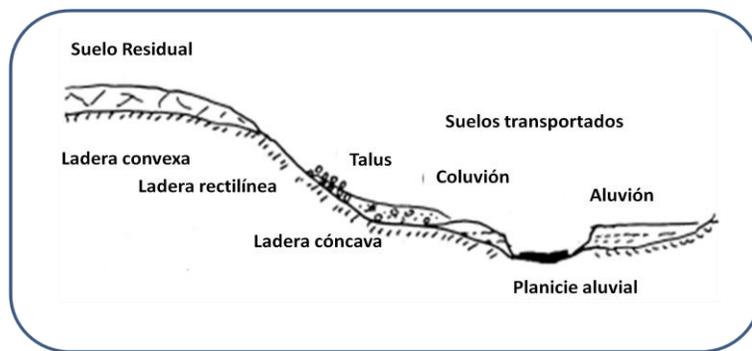
**Figura 3.8. Etapas y procesos de la formación del suelo**

Un suelo luego al quedar directamente en el lugar de origen, sobre la roca de la cual se deriva, se le denomina suelo residual. La remoción del producto de los agentes a otras zonas, generando suelos sin relación directa con la roca subyacente, los convierte en transportados.

Los suelos pueden dividirse en dos amplios grupos: suelos cuyo origen se debe a la descomposición física y/o química de las rocas, es decir, los suelos inorgánicos, y suelos cuyo origen es principalmente orgánico:

**Suelos Inorgánicos:** En ellos, el producto del intemperismo de las rocas permanece en el sitio donde se formó y da origen al suelo residual, en caso contrario, forman un suelo transportado, cualquiera sea el agente transportado como puede ser observado en la Figura 3.9.

**Suelos Orgánicos:** Se forman casi siempre in situ. Muchas veces, la cantidad de materia orgánica, ya sea en forma de humus o de materia no descompuesta, o en su estado de descomposición, es tan alta con relación a la cantidad de suelo inorgánico que las propiedades que pudieran derivar de la porción mineral quedan eliminadas.



**Figura 3.9. Distintos tipos de formaciones de suelo**

Existen dos conceptos importantes en el tema de los suelos residuales; estos son el perfil de meteorización y el conjunto de estructuras heredadas. El perfil de meteorización es la secuencia de materiales con diferentes propiedades, que se ha formado en el lugar donde se encuentra y que sobreyace a la roca no meteorizada; es formado por ataque mecánico y descomposición química, y puede variar de un punto a otro dependiendo de las condiciones de la roca, topografía, erosión, etc.

Las estructuras heredadas, consisten en diaclasas, exfoliaciones, grietas, fallas y demás defectos de la estructura que presentaba la roca original y que el suelo heredó; la influencia de estas es tal que las propiedades mecánicas de una muestra “intacta” del material no pueden considerarse representativas para las propiedades del conjunto, Juárez (2009).

### 3.9 Clasificación e Identificación de los Suelos

La mecánica de suelos ha desarrollado sistemas de clasificación para los suelos desde su inicio, fundamentándose en criterios descriptivos, como la granulometría.

Casagrande, destaca en los estudios para la clasificación unificada de los suelos, sus estudios realizados en la Universidad de Harvard, dieron a luz al Sistema de Clasificación de Aeropuertos, destinado en un principio al uso en obras aeroportuaria. Este sistema reconoce que las propiedades mecánicas e hidráulicas de los suelos constituidos por partículas menores a la malla 200, pueden deducirse cualitativamente a partir de sus características de plasticidad. Mientras que, los suelos formados por partículas superiores a esta malla, tiene como criterio de clasificación básico la granulometría. Este sistema fue ligeramente modificado para formar el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos actual.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, cubre los suelos gruesos y los finos, determinándolos mediante la malla N° 200, y los agrupa en distintos tipos según los porcentajes de tamaños de granos y características de plasticidad, como se muestra a continuación:

**Suelos gruesos:** El símbolo de cada grupo está formado por dos letras mayúsculas que son las iniciales de los nombres ingleses de los suelos más típicos de ese grupo, es así que para gravas y suelos en que estas predominen se utiliza el símbolo “G”, mientras que para arenas y suelos arenosos (*sand*), el símbolo empleado es “S”.

Las gravas y las arenas se separan con la malla N° 4, de manera que un suelo pertenece al grupo genérico G, si más del 50% de su fracción gruesa retenida (en la malla N° 200) no pasa de la malla N° 4, en caso contrario es del grupo S. Las gravas y arenas se subdividen en cuatro tipos:

- Material prácticamente limpio de finos, bien graduado. Símbolo W (*wellgraded*). En combinación con los símbolos genéricos, se obtienen los grupos GW y SW.
- Material prácticamente limpio de finos, mal graduado. Símbolo P (*poorlygraded*). En combinación con los símbolos genéricos da lugar a GP y SP.
- Material con cantidad apreciable de finos no plásticos. Símbolo M (del sueco *mo* y *mjala*). En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GM y SM
- Material con cantidad apreciable de finos plásticos. Símbolo C (*clay*). En combinación con los símbolos genéricos, surgen los grupos GC y SC.

**Suelos finos:** Los suelos también pertenecen a grupos con determinadas características, con símbolos de dos letras mayúsculas, con un criterio similar al usado para los suelos, y dando lugar a las siguientes divisiones:

- Limos orgánicos, símbolo genérico M (*muds*).
- Arcillas inorgánicas, del símbolo genérico C (*clay*).
- Limos y arcillas orgánicas, del símbolo genérico O (*organic*).

Cada uno de estos tres tipos de suelos se subdivide, según límite líquido, en dos grupos. I éste es menor de 50 %, es decir, si son suelos de compresibilidad baja o media, se añade al símbolo genérico la letra L (*low compresivility*), obteniéndose por esta combinación los grupos ML, CL y OL. Los suelos finos con límite líquido mayor que 50 %, es decir, de alta compresibilidad, llevan tras el símbolo genérico la letra H (*high compresivility*), obteniéndose los grupos MH, CH y OH.

Las letras L y H no se refieren a baja o alta plasticidad, pues esta propiedad del suelo, ha de expresarse en función de dos parámetros (límite líquido o LL y límite plástico o LP), mientras que en el caso actual, solo el valor de límite líquido interfiere. La compresibilidad del suelo es una función directa del límite líquido, de modo que un suelo es más compresible a mayor límite líquido.

Los suelos altamente orgánicos, usualmente fibrosos, tales como turbas y suelos pantanosos, extremadamente compresibles, forman un grupo independiente de símbolo Pt (*peat*; turba).

### 3.10 Constitución Mineral de los Suelos

Los suelos gruesos están formados principalmente por silicatos, principalmente feldespatos de potasio, sodio o calcio, micas, olivino, serpentinas, etc.; óxidos, predominantemente cuarzo, limonita, magnetita y corindón; carbonatos, destacando la calcita, dolomita y sulfatos. En estos suelos, el comportamiento mecánico e hidráulico está principalmente condicionado por su compacidad y por la orientación de sus partículas, por lo que la mineralogía pasa a segundo plano.

En el caso de suelos arcillosos, están compuestos por silicatos de aluminio, presentando algunas veces, silicatos de magnesio, hierro y otros metales hidratados. Estos minerales, presentan una estructura cristalina definida, cuyos átomos se disponen en láminas, que se presentan en la variedad silícica y alumínica.

### 3.11 Granulometría

El comportamiento mecánico e hidráulico está principalmente definido por la compacidad de los granos y su orientación, características que son destruidas, por la misma manera de realizarse, la prueba de granulometría, de modo que en sus resultados finales se ha tenido que perder toda información de propiedades importantes y decisivas en la mecánica de suelos. Sin embargo, no existe la posibilidad de realizar estudios granulométricos que garanticen la no alteración del suelo en estudio.

El análisis granulométrico da información sobre los límites de tamaño de las partículas que constituyen un suelo. Mediante la técnica de cribado, se realiza la separación por tamaños de las muestras de suelo. Esta separación permite obtener una curva granulométrica, contando con agrupaciones de las partículas del suelo en mayor número de tamaños diferentes. Actualmente se pueden ampliar notablemente las curvas en los tamaños finos gracias a la aplicación de técnicas de análisis de suspensiones.

La representación granulométrica debe estimarse preferible a la numérica en tablas, siempre y cuando se tengan datos suficientes para elaborar la curva. Suele dibujarse con porcentajes como ordenadas y tamaños de las partículas como abscisas. Las ordenadas se refieren a porcentaje, en peso de las partículas menores que el tamaño correspondiente. La representación a escala semilogarítmica (eje de las abscisas en escala logarítmica) resulta preferible la simple representación natural, pues en la primera se dispone de mayor amplitud en los tamaños finos y muy finos, que en escala natural se comprimen.

Todos los métodos de separación de un suelo en diferentes fracciones, según sus tamaños, se denominan análisis mecánico. En especial, son tomados en cuenta, el cribado por mallas y el análisis de una suspensión del suelo con hidrómetro. El primer método se basa en obtener las fracciones correspondientes a los tamaños mayores del suelo; generalmente se llega así hasta el tamaño correspondiente a la malla N° 200 (equivalente a 0,074 mm); la muestra pasa a través de sucesivos tamices de aberturas cada vez de tamaño menor, se pesan los retenidos en cada malla, obteniéndose puntos de la curva acumulativa a cada número de malla.

El método del hidrómetro, por su parte, está afectado por la Ley de Stokes. Al comienzo de la prueba la suspensión es uniforme y de concentración suficientemente baja para que las partículas no se interfieran al sedimentarse. (En general es apropiada una concentración de 50 gramos/litro).

El área de la sección recta del bulbo del hidrómetro es despreciable en comparación a la de la probeta donde la sedimentación tiene lugar, de manera que dicho bulbo no interfiere en la sedimentación de las partículas en el instante de efectuarse una medición.

La Ley de Stokes proporciona una relación entre la velocidad de sedimentación de las partículas de suelo en un fluido y el tamaño de esas partículas. Esta ley aplicada a partículas de suelo real, que se sedimenten en agua, es válida solamente en tamaños menores a  $0,2\ \mu\text{m}$  aproximadamente.

Todas las partículas de un mismo diámetro  $D$  están uniformemente distribuidas en toda la suspensión, al principio de la prueba; todas estas partículas se sedimentan a la misma velocidad. Al pasar el tiempo  $t$ , todas las partículas del mismo diámetro habrán recorrido una distancia equivalente a la velocidad por el tiempo. Arriba de esta altura no habrá partículas del diámetro correspondiente a esta velocidad, al bajar con la misma velocidad, las partículas habrán conservado sus posiciones relativas. Las partículas de tamaño mayor que  $D$ , habrán descendido a una profundidad mayor. Por lo

tanto, el peso específico relativo de la suspensión a la profundidad H y en el tiempo t, es una medida de la cantidad de partículas de igual y menor tamaño que D contenidas en la muestra de suelo.

La distribución de los pesos específicos relativos representa, en forma implícita, la distribución granulométrica. Mediante el peso específico relativo de la suspensión del suelo, a una misma profundidad en distintos tiempos, puede obtenerse gran número de puntos para la representación granulométrica; asimismo, pueden obtenerse puntos midiendo, al mismo tiempo, el peso específico relativo de la suspensión a diferentes profundidades. También puede efectuarse esta medición a distintos tiempos y distintas profundidades.

### 3.12 Plasticidad

La plasticidad como una propiedad del material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse.

La plasticidad de las arcillas es medida generalmente mediante el criterio de Atterberg, quien demostró que la plasticidad no era una propiedad permanente de las arcillas, sino circunstancial y dependiente de su contenido de agua. Además, demostró que la plasticidad debe ser expresada mediante dos parámetros en vez de uno solo.

Un suelo susceptible a la plasticidad, puede estar en los siguientes estados de consistencia descritos por Atterberg (Juárez, 2009):

- Estado Líquido, con propiedades y apariencia de una suspensión.
- Estado semilíquido, con las propiedades de un fluido viscoso.
- Estado plástico, en que el suelo se comporta plásticamente.
- Estado semisólido, en el que el suelo tiene la apariencia de un sólido, pero aún disminuye de volumen al estar sujeto al secado.
- Estado sólido, en que el volumen el suelo no varía con el secado.

La frontera convencional entre los estados semilíquido y plástico fue llamada por Atterberg Límite Líquido; la frontera convencional entre plástico y sólido fue llamada por Atterberg, Límite Plástico. El índice plástico fue entonces definido como la diferencia entre los límites líquido y plástico.

$$I_p = LL - LP$$

La prueba de plasticidad se transformó en una prueba de rutina en todo laboratorio de mecánica de suelos. La técnica de la Copa de Casagrande, que muestra la Figura 3.10, simplificó la aplicación de este ensayo, esta técnica consiste en hacer girar un recipiente de bronce o latón con un tacón en torno a un eje fijo unido a la base. Una excéntrica hace que la copa caiga periódicamente, golpeándose contra la base del dispositivo. La altura de caída de la copa es, por especificación de 1 cm hasta la base estando la copa en su punto más alto. Se emplea para el ajuste de la altura un prisma metálico de 1 cm de lado para hacer la calibración; este prisma se introduce entre base y copa cuidando que su arista superior quede en contacto con el punto de la copa que golpee la base.

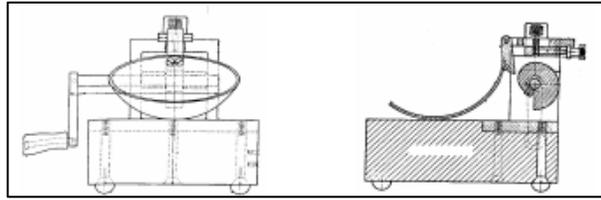


Figura 3.10. Aparato de Casagrande para Límite Plástico

### 3.13 Resistencia al Esfuerzo Cortante de los Suelos

Coulomb, atribuyó a la fricción entre las partículas del suelo a la resistencia al corte de éste y basado en las leyes de la mecánica elemental, explica los fenómenos del suelo. Los suelos fallan por esfuerzos cortantes a lo largo de los planos de deslizamiento y que, el mismo mecanismo de fricción de los cuerpos ( $F = \mu P$ ) rige la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos, o al menos de la gran parte de ellos. La resistencia al esfuerzo cortante del suelo por unidad de área en un plano genérico de falla, es proporcional al valor de  $\sigma$ , presión normal en el plano. Luego:

$$\frac{F}{A} = \tau = \tau_{m\acute{a}x} = \sigma \times \tan \varphi$$

De esta forma, una ley de resistencia, según la cual falla se produce cuando el esfuerzo cortante actuante,  $\tau$ , alcance un valor,  $s$ , tal que:

$$\tau = \sigma \times \tan \varphi$$

La resistencia al esfuerzo cortante de los suelos que obedezcan la ecuación anterior debe ser nula para  $\sigma = 0$ . E un material como la arena de playa (material seco y suelto) puede considerarse  $\sigma = 0$ , ya que al tomar una muestra, se ve deslizar la arena entre los dedos, por lo tanto  $\sigma = 0$  y  $\tau = 0$ . Coulomb pudo observar que esto no aplicaba par todos los materiales, por ejemplo, los fragmentos de arcilla, de modo que el material exhibe esfuerzo cortante aun en condiciones en que el el esfuerzo normal exterior es nulo. A los materiales de este tipo, Coulomb les asigna otra fuente de resistencia al corte denominado cohesión y considero también una constante de los materiales. Coulomb observó también, que en las arcillas francas, la resistencia parecía ser independiente de cualquier presión normal exterior actuante sobre ellas, y por lo tanto, en dichos materiales parecía existir solo cohesión, comportándose en definitiva como si en ellos  $\varphi = 0$ . La ley de resistencia de los suelos será:

$$\tau = c$$

Según Coulomb, los suelos presentan características mixtas entre las antes enumeradas; es decir, presentan, cohesión y fricción interna, por lo que puede asignárseles una ley de resistencia que sea una combinación de resistencia que sea combinación de las conclusiones y parámetros descritos anteriormente. Por lo que la Ley de Coulomb, se representa bajo la siguiente ecuación:

$$\tau = c + \sigma \times \tan \varphi$$

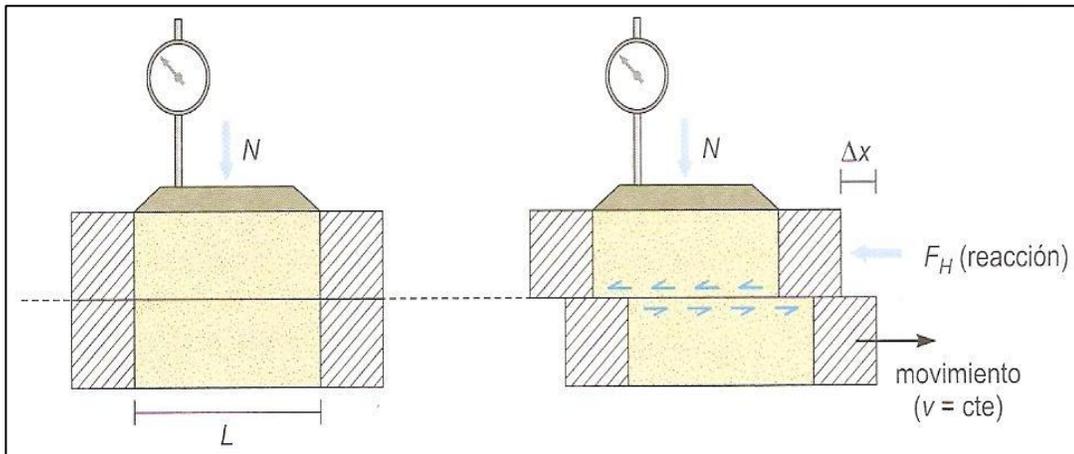
Posteriormente, se realizaron cambios en la ecuación que describe la Ley de Coulomb, ya que se notaron discrepancias entre la realidad y la teoría. Terzaghi (1920), establece que en las ecuaciones que la presión normal total debería sustituirse por la presión intergranular; es permitió tomar en cuenta la influencia del agua. La ecuación tomó la siguiente forma:

$$\tau = c + (\sigma - U_n) \times \tan \varphi$$

Seguidamente, Hvorslev (Citado por Juárez, 2009) hace notar que el valor de la cohesión de las arcillas saturadas no era una constante, sino que estaba en función del contenido de agua, la expresión resultó de la siguiente forma:

$$\tau = f(w) + (\sigma - U_n) \times \tan \varphi$$

La prueba directa de resistencia al esfuerzo cortante es una de las más antiguas de los ensayos de determinación de resistencia del suelo. Un esquema del aparato necesario para efectuar la prueba se muestra en la Figura 3.11.



**Figura 3.11. Esquema del aparato de resistencia al esfuerzo cortante directo**

El aparato consta de dos marcos uno fijo y uno móvil, que contienen a la muestra de suelo. Dos piedras porosas, una superior y otra inferior, proporcionan drenaje libre a muestras saturadas, cuando se desee y se sustituyen simplemente por placas de confinamiento, al probar muestras secas.

La parte móvil tiene un aditamento al cual es posible aplicar una fuerza rasante, que provoca la falla del espécimen a lo largo de un plano que por la construcción del aparato, resulta bien definido. Sobre la cara superior del conjunto se aplican cargas que proporcionan una presión normal en el plano de falla,  $\sigma$ , graduable a voluntad. La deformación de la muestra es medida con extensómetros, tanto en dirección horizontal como en vertical.

Los resultados de la prueba, en la cual suelen calcularse los valores de la relación  $\tau/\sigma$  correspondientes a deformaciones sobre el plano de falla. Se realizan bajo dos modalidades, esfuerzo controlado y deformación controlada. En el primero, la prueba se lleva a efecto aplicando valores fijos de la fuerza tangencial al aparato de modo que el esfuerzo aplicado tiene en todo momento un valor prefijado; en el segundo tipo, la máquina actúa con una velocidad de deformación constante y la fuerza actuante sobre el espécimen se lee en la báscula de la máquina que la aplica.

### **Características del Muestreo en Suelos**

Para determinar las propiedades de un suelo en laboratorio, es preciso contar con muestras representativas de este. El muestreo adecuado y representativo es tan importante como los ensayos que se realicen. Las muestras pueden ser de dos tipos:

Muestras Alteradas: Estas muestras no guardan las mismas condiciones que cuando se encontraba en el terreno de procedencia. Generalmente se trata de material suelto que se almacena en bolsas herméticamente cerradas y son identificadas adecuadamente para su transporte a laboratorio.

Muestras Inalteradas: Guardan idénticas condiciones que las del terreno de donde procede. El caso más simple corresponde al de cortar un trozo de suelo de un tamaño apropiado (en general, 30x30x30 cm), que es empacado herméticamente y llevado a laboratorio para las pruebas correspondientes. Todas las muestras recuperadas de las perforaciones deben ser descritas visualmente, clasificadas litológicamente y agrupadas en estratos. Se sugiere determinar el contenido de humedad natural de cada muestra.

Estimar los parámetros de resistencia al corte en suelos implica realizar ensayos de corte directo en materiales básicamente granulares y ensayos de compresión sin confinar para los materiales cohesivos; requiriéndose muy raramente se requiere ensayo triaxial

### **3.14 Fricción de masas granulares sin cohesión**

#### **3.14.1 Determinación del ángulo de Reposo**

Coulson et al. (2003) presentó un método rápido para estimar el comportamiento de una masa de partículas consiste en medir su ángulo de reposo. Si el sólido se vierte desde una boquilla sobre una superficie plana, formará una pila aproximadamente cónica, y al ángulo formado por la pendiente del cono y la horizontal se denomina ángulo de reposo; cuando se determina de esta manera, a veces recibe denominación de ángulo dinámico de reposo o ángulo de derrame. En la práctica, la pila no será exactamente cónica y en su superficie existirán una serie de irregularidades. Además, las partículas grandes tendrán tendencia a rodar hacia abajo, agrupándose en la base, provocando así un ángulo mayor en la cúspide y un ángulo más pequeño en el fondo.

El ángulo de reposo puede medirse también utilizando una lámina plana sobre la que se ha pegado una capa de partículas procedentes del fino. Entonces se derrama fino suelto sobre la lámina, que se inclina después hasta que el fino resbala. El ángulo de deslizamiento se conoce como ángulo estático de reposo.

Los ángulos de reposo varían desde aproximadamente 20° para sólidos que fluyen libremente, hasta aproximadamente 60° para sólidos con malas características de flujo. En casos extremos de sólidos altamente aglomerados, pueden obtenerse ángulos de reposo de hasta casi 90°. Generalmente, los materiales que no tienen partículas menores de 100µm presentan un ángulo de reposo bajo.

Los finos con bajos ángulos de reposo tienden a empaquetarse rápidamente para dar casi inmediatamente una alta densidad de relleno. Si el ángulo de reposo es grande, se forma inicialmente una estructura suelta, y el material se consolida posteriormente si se somete a vibración.

Un ángulo parecido al ángulo estático de reposo es el ángulo de deslizamiento, que se mide de la misma forma que el ángulo estático de reposo, excepto en que la superficie es lisa y no ha sido recubierta con una capa de partículas.

El ángulo de fricción constituye una medida de las fuerzas de fricción en el interior de la masa de partículas. Este ángulo puede medirse de diversas formas que se describirán más abajo.

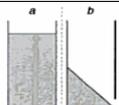
En arenas y otros materiales sin cohesión, la resistencia al deslizamiento sobre cualquier plano a través del material es similar a la fricción entre cuerpos sólidos (la resistencia depende de la presión directa que existe sobre el plano y del ángulo de fricción).

El procedimiento más antiguo y sencillo para obtener para obtener el ángulo de fricción de un suelo granular seco, es el ángulo de reposo de una pequeña pila de material. El ángulo de fricción se define como el ángulo de fricción del material bajo un esfuerzo prácticamente igual a cero. Una pila cualquiera de material está en equilibrio cuando los granos menos estables en su superficie estén en equilibrio, por lo tanto, el ángulo de reposo es determinado por los granos menos estables.

El ángulo de fricción del material se refiere a condiciones internas. Este ángulo es promedio de todos los ángulos de fricción del suelo analizado, por esta razón tiende a ser un poco mayor que el ángulo de reposo.

Cuando se estudian las características del flujo de finos, resulta útil poder cuantificar el tipo de comportamiento, para lo que se dispone de muchos métodos. Los métodos indirectos del estudio de ángulo de reposo, se emplean con el fin de cuantificar la fluidez de un fino debido a su relación con la cohesión entre las partículas. Existen muchos métodos para determinar los ángulos de reposo y algunos de ellos se recogen en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1. Métodos para medir el ángulo de reposo**

Métodos para medir el ángulo de reposo		
Aparato	Método	Angulo definido
	Cono de altura fija	Ángulo de reposo
	Cornisa	Angulo de reposo drenado

(Modificado de Aulton, 2004)

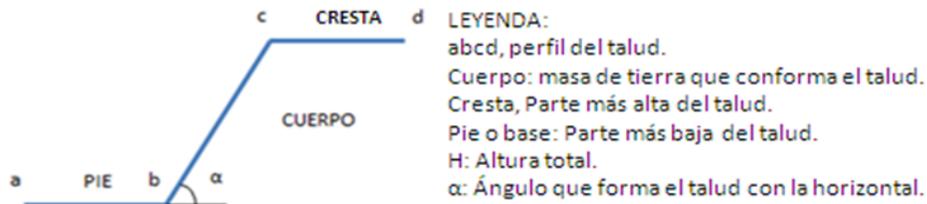
Estos diversos métodos pueden proporcionar valores diferentes para el mismo fino, aunque pueden ser compatibles entre sí. También es posible que se obtengan ángulos de reposos distintos de un mismo fino debidos a diferencias de la manipulación de las muestras antes de la medición. Por todo esto, los ángulos de reposos tienden a ser variables y no siempre son representativos del flujo en determinadas ocasiones.

Como norma general, las propiedades de flujo de los finos con ángulos de reposo superiores a 50 ° son insatisfactorias, mientras que los ángulos mínimos cercanos a 25 ° corresponden a propiedades de flujo muy buenas.

### 3.15 Estabilidad de Taludes

Un talud es cualquier superficie inclinada respecto a la horizontal, que hayan de adoptar permanentemente las masas de tierra. Son estructuras, que en general, se deben proyectar y construir con una motivación esencialmente económica, aunque representa puntos de vista distintos y complicados.

Los taludes artificiales son estructuras construidas con un material relativamente controlado, o que, por lo menos en principio se puede controlar, lo que es muy favorable para su estudio.



**Figura 3.12. Esquema gráfico del talud**

Los métodos de estabilidad de taludes más empleados son los de equilibrio límite, que analizan el equilibrio de una masa potencialmente inestable, y consisten en comparar las fuerzas tendientes al movimiento con las fuerzas resistentes que se oponen al mismo a lo largo de una determinada superficie de rotura. Estos métodos se basan en tres criterios principales. El primero, es la selección de una superficie teórica de rotura en el talud; el segundo, es el criterio de rotura de Mohr-Coulomb; y por último, la definición de <<Factor de Seguridad>>.

Los problemas de estabilidad son estáticamente indeterminados, y para su resolución, es preciso considerar una serie de hipótesis de partida diferentes según los métodos, de igual forma se asumen tres condiciones. Como primera condición, la superficie de rotura debe ser postulada con una geometría tal que permita que ocurra el deslizamiento, una superficie “posible” cinemáticamente hablando. Por otra parte, la distribución de fuerzas actuando en la superficie de rotura podrá ser calculada empleando datos conocidos, por ejemplo, los determinados de los ensayos como peso específico, piezometría, etc. Por último, la resistencia se moviliza simultáneamente a lo largo de todo el plano de rotura.

Según tales condiciones, es permitido establecer las ecuaciones de equilibrio entre fuerzas que inducen el deslizamiento (actuantes) y las fuerzas resistentes. Los análisis proporcionan el valor del factor de seguridad del talud para la superficie en análisis, bajo equilibrio estricto o equilibrio límite de las fuerzas que actúan. Este factor se expresa de la siguiente forma:

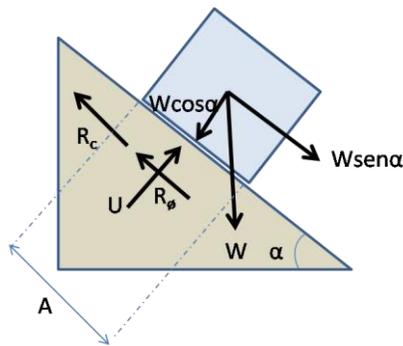
$$F = \frac{\text{Fuerzas Resistentes}}{\text{Fuerzas Actuantes}}$$

O expresado en términos de esfuerzos,

$$F = \frac{\text{Esfuerzos tangenciales resistentes}}{\text{Esfuerzos tangenciales deslizantes o actuantes}}$$

Después de evaluar el factor de seguridad de la superficie supuesta, es necesario analizar otras superficies de rotura, hasta encontrar la condición con el menor factor, reconocida como superficie potencial de rotura del talud, este factor se toma como el factor de seguridad de todo el talud.

Las fuerzas que actúan sobre un plano de rotura o deslizamiento potencial, suponiendo que no existen fuerzas externas sobre el talud, son las debidas al peso del material,  $W$ , a la cohesión,  $c$ , y a la fricción,  $\phi$ , del plano, como se muestra en la Figura 3.13.



**Figura 3.13. Fuerzas actuando sobre una superficie de rotura en un talud**

En este caso, el factor de seguridad viene dado por la siguiente ecuación;

$$F = \frac{R_c + R_\phi}{S}$$

Siendo,

- $R_c$ : las fuerzas cohesivas =  $cA$ ;
- $R_\phi$ : fuerzas friccionantes =  $W \cos \alpha \tan \phi$
- $S$ : las fuerzas que tienden al deslizamiento =  $W \sin \alpha$
- $A$ : área del plano de rotura.

Si existe  $U$ , es decir, las fuerzas totales debido a una presión de agua sobre la superficie  $A$ ; la ecuación se traduciría a:

$$R_\phi = (W \times \cos \alpha - U) \times \tan \phi$$

Existen distintos métodos para el cálculo del factor de seguridad por equilibrio límite, que varían en complejidad, fundamentados en la aplicación para análisis de suelos. Estos métodos proporcionan un factor de seguridad a partir de la solución inmediata de ecuaciones con alta simplicidad, mientras que hay otros métodos numéricos que requieren de sistemas de ecuaciones y procesos de cálculo iterativo.

Los métodos de equilibrio límite pueden considerar el análisis del bloque o masa total, o la masa dividida en franjas o rebanadas. Los primeros son válidos para materiales homogéneos, y realizan una comparación de fuerzas en un único punto de la superficie de rotura, los segundos pueden considerar materiales no homogéneos, y conllevan a una hipótesis propias sobre la localización, posición y distribución de las fuerzas que actúan sobre las rebanadas; el cálculo de las fuerzas actuantes se hace para cada una de las rebanadas en que se ha dividido el talud, integrándose finalmente los resultados obtenidos. Los métodos de rebanadas más comunes son el de Bishop modificado y el de Jambu, válidos para el análisis de roturas curvas el primero y de roturas curvas, planas y poligonales el segundo.

Para suelos heterogéneos no uniformes, y taludes irregulares, se emplea el método de rebanadas o fajas. Se elige un círculo tentativo y la masa deslizante se subdivide en un número de fajas verticales. Cada faja considerada como un sólido rígido, deberá satisfacer las condiciones de equilibrio. Para ello se considera que cada faja esta solicitada por un conjunto de fuerzas, peso ( $W$ ),

Fuerza de corte, en caras laterales (T), fuerza normal en las caras laterales (E), Fuerza tangencial (S), fuerza normal en la base (U) y resultante de la presión de poros (U).

### 3.16 Taludes en suelos

Como métodos clásicos para análisis de estabilidad en suelos se puede considerar:

- El análisis de roturas planas en taludes “infinitos”.
- Los análisis de varios bloques de terreno que interaccionan entre sí, aplicables a superficies de rotura del tipo poligonal (método de las cuñas).
- Los métodos que analizan el equilibrio total de una masa deslizante, de desarrollo circular o logarítmico, para análisis de roturas curvas.
- Los métodos de rebanadas.

### 3.17 Método de Rebanadas. Método de Bishop.

La hipótesis de Taylor, asume que las esfuerzos normales en la superficie de rotura, están concentradas en un único punto, lo que supone un cierto error, aunque, en general, queda del lado de la seguridad. Además, el ábaco de Taylor solo permite introducir la presencia de agua en el caso de suelo y nivel freático horizontales. Para evitar estos inconvenientes, Bishop desarrolló en 1955 un método con las siguientes hipótesis:

Se supone una superficie de rotura circular.

La masa deslizante se divide en  $n$  rebanadas o fajas verticales.

Se establece el equilibrio de momentos de las fuerzas actuantes en cada rebanada respecto al centro de círculo.

De la condición de equilibrio de fuerzas verticales en cada rebanada se obtienen las fuerzas  $N$ , (normales a la superficie de rotura) y se sustituyen en la ecuación resultante de equilibrio de momentos. El método de Bishop simplificado supone, además, que las fuerzas de contacto entre cada dos rebanadas no influyen por estar equilibradas. Se obtiene, así la expresión del factor de seguridad  $F$  de la superficie considerada.

Dado que  $F$  no aparece en la expresión de forma explícita, es necesario realizar varias iteraciones para obtener su valor, aunque la convergencia suele ser muy rápida. Una vez obtenido el factor de seguridad de la superficie considerada, se supone una nueva superficie circular y se determina el nuevo valor de  $F$ , y así sucesivamente hasta obtener el mínimo.

### 3.18 Características geométricas recomendadas

Según el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera de España (2003), la geometría de los taludes de mina explotados mediante arranque mecánico o manual debe tomar en cuenta las siguientes características:

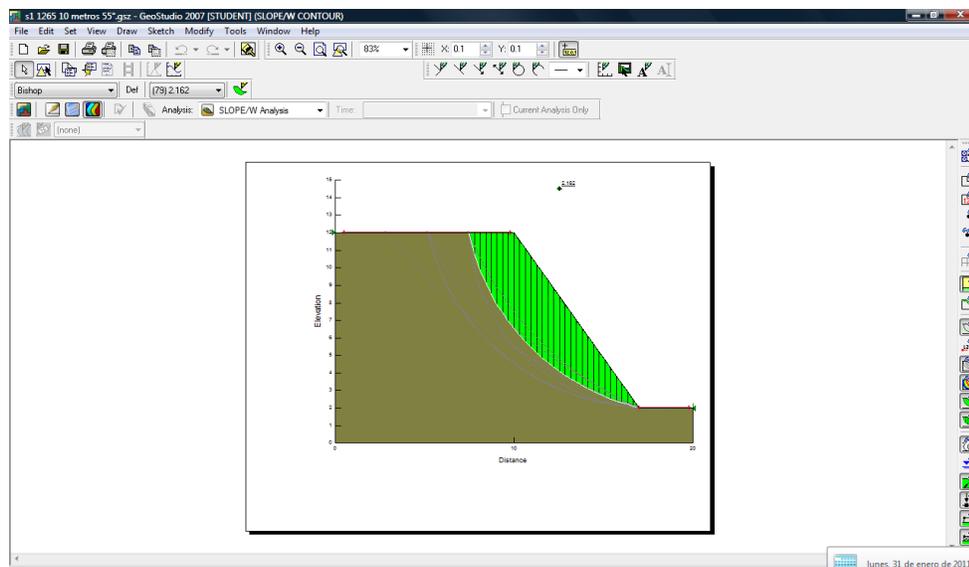
- Para minas a cielo abierto, el factor de seguridad mínimo de los taludes debe ser 1,2.
- Cuando la excavación se realiza manualmente, la altura máxima del frente no sobrepasa los 2 m, si la excavación se realiza con un cargador frontal, la altura del frente no puede sobrepasar en más de un metro al alcance vertical de la cuchara.
- Cuando la excavación se realiza con otro tipo de excavación, la altura máxima del frente será el alcance del brazo o la altura de ataque. El talud del frente puede ser

vertical en las excavaciones realizadas a nivel superior por excavaciones que no sean de cangilones, como en las de nivel inferior por palas excavadoras.

- En la excavación manual, el talud puede ser vertical únicamente en el caso que el talud no supere los 1,25 m En todos los demás casos, el talud no será superior a 60°.
- Cuando la excavación se realice por ripeado o arranque con tractor, la pendiente no será superior a 25°. En este caso, no serán de aplicación los límites de altura de frente citados anteriormente.

### 3.19 Programa de análisis de estabilidad de taludes GEOSLOPE®

Es un programa de estabilidad de taludes para calcular el factor de seguridad en taludes en suelo. Con este programa, se pueden analizar problemas simples y complejos para una variedad de ángulos, condiciones de presión de poros, propiedades del suelo, métodos de análisis y condiciones de carga. La interfaz del programa es mostrada en la Figura 3.14.



**Figura 3.14. Programa Geoslope 2007, versión estudiante. Tomado del programa GEOSLOPE® 2007**

La tecnología empleada es del tipo CAD, y permite crear la geometría dibujándolo en la pantalla. Después se escoge el método de análisis, especificando las propiedades específicas del suelo y las presiones de poro, definiendo cargas aplicadas y creando la superficie más real.

Después de haber resuelto el problema de estabilidad de taludes, GEOSLOPE® ofrece distintas herramientas para visualizar los resultados. Se puede dibujar la superficie de falla con menor factor de seguridad, o ver cada una individualmente. Puede observarse información sobre las superficies críticas, incluyendo la masa total deslizando, un diagrama de cuerpo libre y un polígono de fuerzas mostrando las fuerzas actuantes en cada rebanada. Puede también, contornearse los factores de seguridad, o mostrar los parámetros calculados. Los resultados pueden tener etiquetas, ejes y figuras en los dibujos. Automáticamente se genera un reporte detallado de cada uno de los datos ingresados y los resultados.

## CAPITULO IV

### MARCO METODOLÓGICO

Para generar algún tipo de consideración acerca de los taludes en mina correspondientes a los del talud final, y depósitos finales de materiales, es necesario conocer los atributos físicos (textura, color, tamaño, entre otros), químicos, mecánicos y mineralógicos de dichos materiales (suelo/roca), para luego generar dos perfiles de diseño de talud uno para los taludes finales de la explotación y otro para los depósitos de materiales removidos.

Partiendo de lo antes expuesto se estructura la investigación en etapas bien definidas, las cuales persiguen la obtención de datos a través del manejo o no de variables (dependiendo de la etapa en que se encuentre), los mismos fueron agrupados de tal forma que su correlación se hiciese posible.

#### 4.1 Tipo de Investigación

La modalidad de investigación adoptada es de tipo campo-descriptiva, ya que el presente implicó la obtención de datos tomados de muestras y/o especímenes provenientes de las áreas de estudio, en otras palabras fue necesaria la recolección de muestras en campo, implicando así una descripción in situ y una etapa posterior en laboratorio, esta última bajo métodos estandarizados que permitieron la distinción entre especímenes de acuerdo a rasgos o atributos especiales, todo ello con el fin de generar una propuesta de los parámetros geométricos para los taludes de la explotación y los depósitos finales.

Las actividades de campo consistieron en un reconocimiento de los taludes, presentes en las áreas de explotación. Posteriormente se requirió una campaña de muestreo, para la obtención de muestras de los materiales tanto in situ como removidos. El análisis de estabilidad está basado en los resultados de los ensayos de laboratorio de caracterización de suelos y minerales así como también en los atributos físicos determinados en campo.

#### 4.2 Diseño de la investigación

La investigación se divide en cuatro etapas fundamentales (revisión bibliográfica, trabajo de campo, ensayos de laboratorio y análisis de estabilidad), de acuerdo a las actividades involucradas en cada etapa (ver Figura 4.1) y a las variables a manejar en las mismas, se decidió implementar dos tipos de diseños para poder desarrollar de forma satisfactoria el trabajo de investigación.



**Figura 4.1. Etapas de la Investigación**

Las dos primeras etapas, revisión bibliográfica y campo, requirieron un diseño no experimental de tipo exploratorio-descriptivo, debido a que estas se realizaron sin manipular deliberadamente variables.

Como se aprecia en la Figura 4.2 el diseño no experimental solamente recibe información, y su producto está constituido por dos elementos: el primero lo comprenden las observaciones realizadas, las cuales fueron compiladas para ser analizadas en conjunto y así contribuir a la comprensión de los casos de estudio, (siendo representados por los taludes y depósitos visitados) y el segundo abarca todas las muestras o especímenes recuperados, que en la siguiente etapa cumplirán una labor esencial.

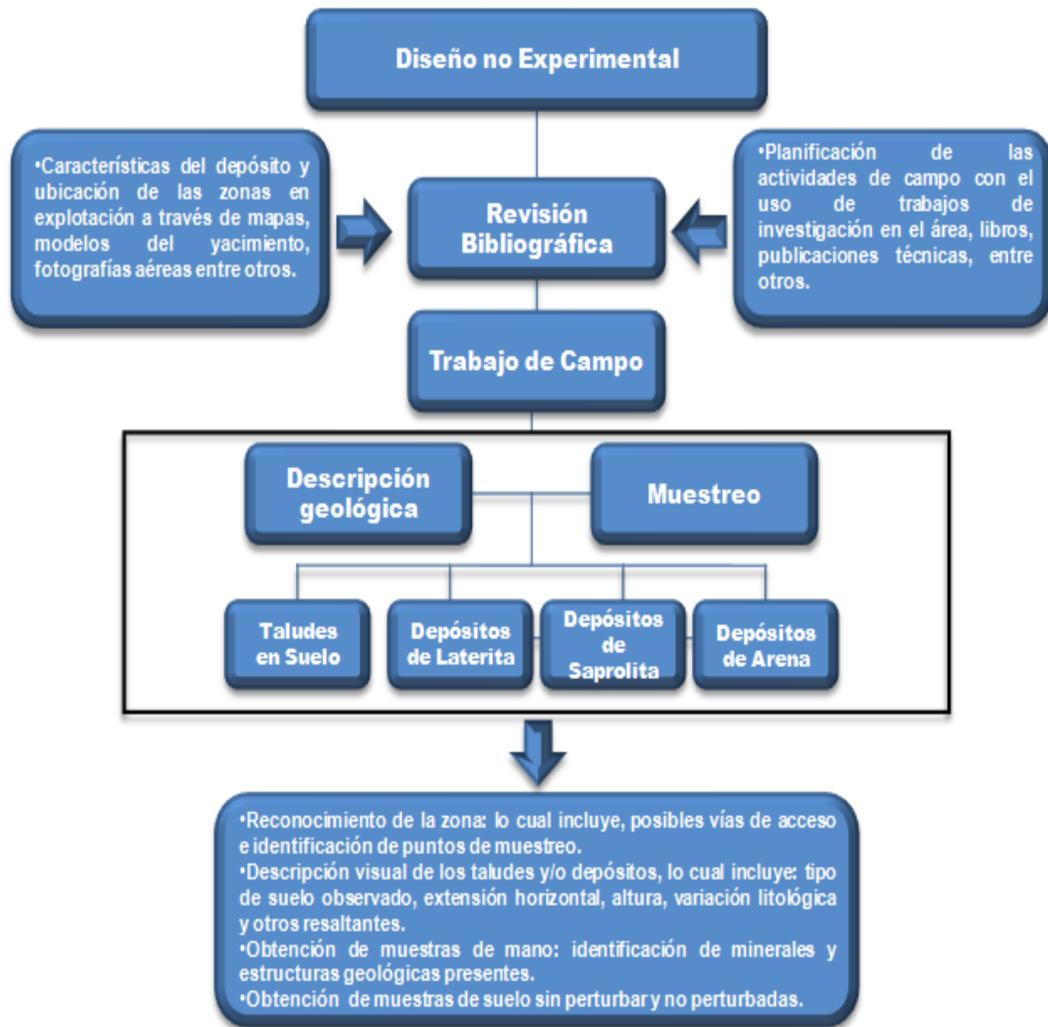
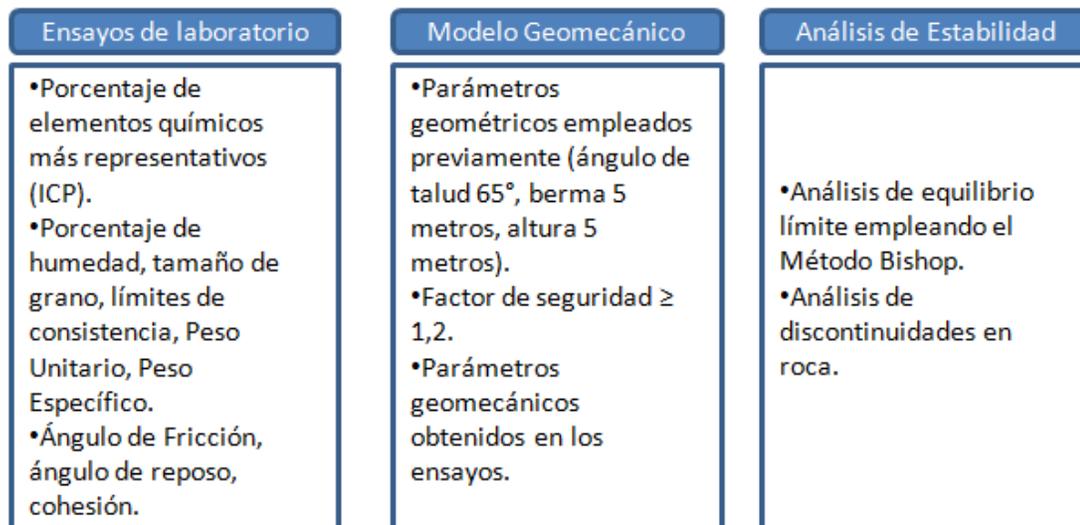


Figura 4.2. Representación gráfica del diseño no experimental de la investigación

Las etapas de ensayo de laboratorio y análisis de estabilidad requieren un diseño experimental, ya que se manipula un número finito de variables independientes en un ambiente controlado, esperando observar el comportamiento de otras variables (denominadas dependientes).

En la Figura 4.3 se representa el diseño experimental con la típica caja de procesos (análisis de estabilidad), y sus respectivas entradas y salidas de variables, en este caso representadas cada una por los ensayos de laboratorio y el modelo de talud respectivamente.



**Figura 4.3. Representación gráfica del diseño experimental de la investigación**

Es así como se puede decir que en este estudio se aplicaron técnicas conocidas de clasificación mecánica y química de suelos, para poder categorizarlos y posteriormente analizar los parámetros asociados a esta caracterización, los cuales condicionan la estabilidad de los taludes. Utilizando un programa de equilibrio límite alimentado por la información obtenida a partir de los ensayos de laboratorio, se propone un perfil de diseño de talud, cuyo factor de seguridad garantiza la estabilidad del mismo bajo condiciones y características específicas.

#### **4.3 Población y Muestra**

La población de la presente investigación está constituida por todos los taludes cortados por efecto de las labores de producción mineral y todas las pilas presentes en el área de explotación, sin importar el material que las constituya.

En la Figura 4.4 se presenta una vista del área de explotación, en la misma se denotan tres sectores de importancia para la explotación mineral por sus características singulares (descritas en el capítulo II), en cada uno de ellos se seleccionó al menos un talud cuyo corte abarcase desde superficie, pasando por el nivel de laterita ferruginosa y concluyendo en niveles saprolíticos.

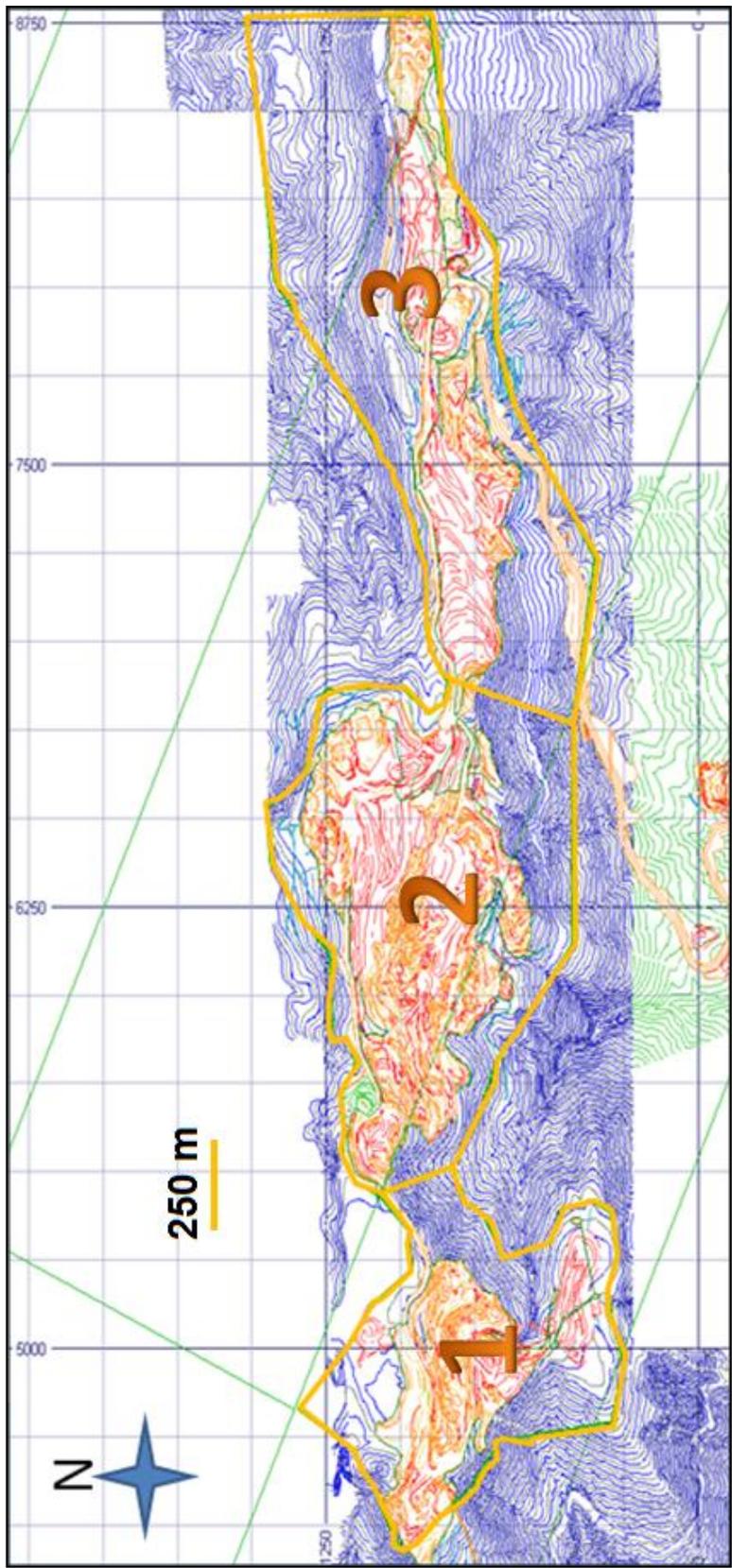


Figura 4.4. Áreas de Explotación en Minera Loma de Níquel

La muestra de esta investigación está conformada por los taludes seleccionados en cada uno de los sectores para la recuperación de los especímenes de material imperturbado. En el caso de los depósitos finales, las muestras están constituidas por los depósitos de laterita del sector 1, 2 y 3 y el de arena industrial o escoria de refinación ubicado en el sector 3.

#### 4.4 Instrumentos

En la etapa de campo para la inspección de áreas, así como para la recolección de muestras se hizo uso de una serie de elementos típicos en los reconocimientos geológicos/geotécnicos mencionados a continuación:

- Brújula Brunton: utilizada para medir rumbos e inclinaciones.
- Piqueta: con mango de madera y punta cortante metálica, permitió la recuperación de muestras de roca, así como la extracción de monolitos de suelo.
- Guantes de lona: utilizados para evitar el contacto directo de la piel con rocas y/o elementos cortantes.
- Bolsas de Muestreo y papel para envolver plástico: el uso correcto de los mismos permitió la preservación de la humedad en los especímenes recolectados.
- En la etapa de laboratorio se requirió una serie de instrumentos y vidriería para realizar los ensayos de caracterización de suelos, los cuales fueron:
- Contenedores de aluminio: utilizados para secar los especímenes en el horno.
- Horno: Memmert (ver Figura 4.5), capacidad máxima 500 °C. utilizado para el secado de muestras y/o especímenes.



**Figura 4.5. Horno Memmert para secado de muestras**

- 3 Picnómetros Humboldt MFG. Co, con capacidad de 49,94 ml y 3 Picnómetros Humboldt MFG. Co, con capacidad de 100,00 ml; dichos elementos fueron usados en los ensayos para calcular el peso específico de los especímenes.
- 5 cilindros graduado con capacidad de 1000 ml (ver Figura 4.6), utilizados en la determinación de tamaños de partículas de suelo por hidrómetro y en los ensayos de determinación de ángulo de reposo.



**Figura 4.6. Cilindros para ensayo con Hidrómetro**

- Hidrómetro 152H (ver Figura 4.7), SoilTest Inc., también conocido como densímetro de cristal, se utilizó para estimar por sedimentación los tamaños aproximados de partículas de suelo en una suspensión dada.



**Figura 4.7. Hidrómetro 152H**

- Batería de tamices, ASTM Estándar, necesarios para la clasificación de la parte gruesa del suelo.
- Balanza analítica Setra serie HI- 4100S, con capacidad máxima de 4100 gr. Y una apreciación de 0,01 gr. La misma fue utilizada para determinar la masa de los especímenes en todos los ensayos realizados. Balanza Metter P323N (ver Figura 4.8), con capacidad máxima de 320 gr. Y apreciación de 0,001 gr. Esta fue utilizada para la determinación del peso de especímenes sumergidos en agua, necesario en el ensayo de peso unitario.



**Figura 4.8. a) Balanza analítica Setra; b) Balanza Metter; c) Envase plástico con agua incorporado a la balanza metter; d) Conjunto balanza y envase plástico para pesar elementos en medios líquidos**

- Termómetro Total Immersion, con capacidad de 110 °C. Utilizado para registrar los cambios de temperatura en los ensayos de sedimentación por hidrómetro y en la determinación de los pesos específicos.
- Copa de Casagrande Humboldt MFG Co, modelo H-4226, ASTM 4318.
- Máquina de corte directo Contro T206 Electronic.
- Embudo plástico para el ensayo de cono en la determinación del ángulo de reposo de los materiales sueltos.
- Para el análisis de datos y de estabilidad se utilizaron herramientas informáticas como:
- Hoja de cálculo: necesaria para la compilación de información y generación de gráficas que permitiesen la comprensión de la información resultante.
- Programa de evaluación geológico minera: a través del programa Datamine Studio 3.0; se generaron vistas del yacimiento y topografía para la planificación de las labores de campo así como para el replanteo de los puntos de muestreo.
- Programa de análisis por equilibrio límite: GeoSlope licencia estudiantil, necesario para la simulación de estabilidad de taludes.

#### **4.5 Análisis de Datos**

##### **4.5.1 Recopilación de Información Previa**

Antes de iniciar cualquier estudio fue necesario la recopilación de material bibliográfico relacionado con la geología y configuración del área de explotación, es así como se recurre a material bibliográfico en los archivos de la empresa y así como también a la información cargada en tiempo real en el programa Datamine Studio 3.0, este último no solo contiene información

pertinente a la topografía del área sino tenores de níquel y concentraciones de otros metales cargados en una configuración en bloques del yacimiento.

#### 4.5.2 Reconocimiento de Campo y Selección de los Taludes para la toma de Muestra

Utilizando la información previamente recopilada se establecieron los parámetros iniciales para la campaña de reconocimiento. Es así como basándose en la configuración del área de explotación en tres sectores, se procede a discriminar los taludes a ser visitados.

El yacimiento mineral se puede definir de acuerdo al corte observado en la Figura 4.9, a partir de este destacan tres niveles de importancia, los cuales son (de arriba hacia abajo): un nivel de laterita ferruginosa (también conocido como nivel de estéril), otro de laterita níquelífera (conocido como saprolita) y un tercero de roca basal. Esta descripción constituye el modelo geológico, el cual se corrobora con las observaciones de campo. Es así como dependiendo de la cota a la que se hayan cortado los taludes, estos estarán constituidos por suelo, rocas y/o minerales perteneciente a cualquiera de estos niveles. La no disponibilidad de núcleos de roca basal dio paso a descartar un estudio profundo en taludes en roca, es así como se contempló el estudio de por lo menos un talud de este tipo, cuyas características permitiesen la recuperación de muestras de mano y datos de estructuras geológicas.

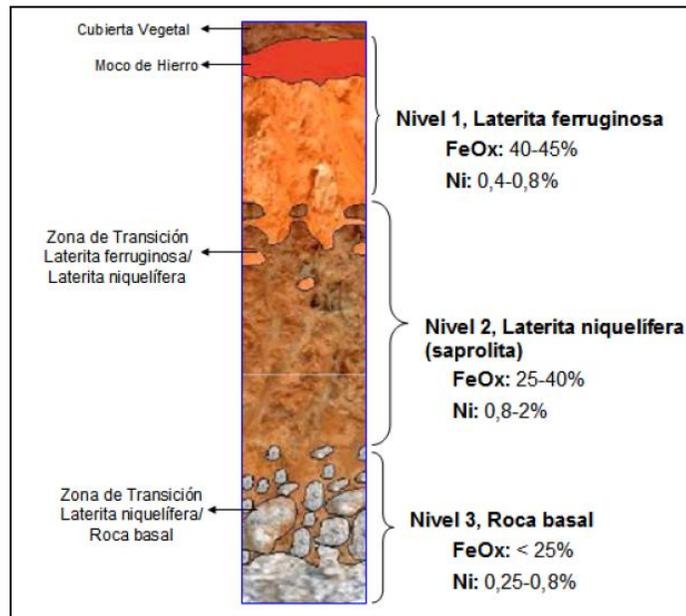


Figura 4.9. Columna Estratigráfica típica en el yacimiento Loma de Hierro

Haciendo uso del programa Datamine Studio 3.0 y los criterios mencionados en párrafos anteriores se procede a seleccionar posibles taludes a visitar, es así como se seleccionaron series de bancos cuyos cortes se hubiesen realizado en laterita ferruginosa y saprolita.

La campaña de reconocimiento se acopló a la logística interna de la operadora minera, es así como muchas de las áreas planteadas no pudieron ser visitadas, mientras que en otras el acceso seguro a los taludes se dificultó debido al bloqueo o no existencia de rampas y/o vías de acceso.

Es así como en base al acceso fácil y seguro se decidió muestrear en una serie de bancos cortados a cotas que permitiesen recuperar muestras de laterita ferruginosa, saprolita.

Cada sector de la explotación cuenta con al menos un depósito final (dependiendo de la planificación de mina a largo plazo) de laterita ferruginosa, la cual es conocida como estéril. Se decidió recolectar muestras de cada uno de estos depósitos con el fin de observar el comportamiento suelto del material que los compone.

Otro material que es almacenado formando escombreras y/o depósitos finales es la escoria o subproducto de reducción en el proceso de producción de ferroníquel. Se decidió muestrear sobre la escombrera del sector 3 compuesta por el material antes mencionado.

#### 4.5.3 Recolección de muestras de taludes en suelo

En la serie de bancos seleccionados en la etapa anterior bien sea de saprolita o estéril, se procedió a realizar un corte en la cara del talud, el mismo con una profundidad mínima de unos 50 centímetros, de dicha apertura y utilizando una piqueta, se hicieron cortes en el talud para así extraer un bloque de suelo (muestra imperturbada) de 30x30x30 centímetros aproximadamente (ver Figura 4.10), la misma fue envuelta en papel plástico (comúnmente denominado: Envoplast), para preservar su humedad natural. Para el fácil transporte esta se colocó dentro de bolsas de muestreo.



**Figura 4.10. a) Apertura inicial en el talud; b) Bloque o monolito cortado en el talud; c) Monolito sellado en papel plástico; d) Monolito dentro de una bolsa de muestreo**

Se tomaron muestras alteradas de suelo, para realizar ensayos Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo o ICP-MS por sus siglas en inglés, en el laboratorio de Minera Loma de Níquel. Las muestras alteradas fueron removidas de la cara del talud, después de hacer una apertura en dicha pared para remover entre los primeros 15 a 30

centímetros superficiales, el material resultante es el mismo que rodeaba al monolito de suelo extraído (muestra imperturbada).

El propósito de las muestras alteradas no solo fue el de su uso en el ensayo de ICP-MS, sino también es el de tener suficiente material de cada banco para poder realizar todos los ensayos necesarios para la caracterización, por tamaño, plasticidad, humedad y consistencia de dichos suelos; mientras que las muestras imperturbadas de suelo propósito inicial fue el de realizar los ensayos para la determinación de parámetros asociados a la resistencia al corte y la determinación del peso unitario.

#### 4.5.4 Recolección de muestra de taludes en roca

Se tomaron muestras de roca haciendo uso de la piqueta, removiendo así de la pared del talud muestras de mano, las mismas por medio de una inspección visual se clasificó de acuerdo a sus atributos mineralógicos.

#### 4.5.5 Recolección de muestras en depósitos finales de materiales

En el área de explotación mineral se encuentran varios tipos de depósitos de materiales, los mismos pueden ser clasificadas de acuerdo a su duración, es decir, el tiempo que perdurará la estructura y de acuerdo a los materiales que la componen. Es así como en este caso podemos tener Depósitos finales de laterita (o estéril), Depósitos finales de escoria del proceso de refinación y Pilas de almacenamiento temporal.

Para muestrear los depósitos finales bien sea de laterita o escoria de reducción, se constituyó una malla cuadrada de aproximadamente 12x12 metros. Sobre ésta se tomaron muestras puntuales en las crestas y pies de los taludes que componen el depósito de material. En dicha toma de muestra se removió una capa de aproximadamente 20 o 30 centímetros y luego con la cuchara de muestreo se recolectó material a esa profundidad (ver Figura 4.11). El procedimiento antes descrito fue implementado para obtener muestras compuestas por material de diferentes puntos del depósito.



**Figura 4.11. a) Apertura inicial en el talud de la escombrera; b) Apertura profunda; c) Extracción de muestra puntual; d) Muestra puntual en bolsa plástica**

#### 4.5.6 Análisis Geológico de Campo

Se analizaron de forma visual los taludes, describiendo sus características más resaltantes, dimensiones y presencia de variaciones en el color y tamaño de grano de los sedimentos que conforman el suelo, para así proceder a examinar y tomar muestras de mano de rocas o minerales, para identificar la presencia de otros minerales asociados y característicos de suelos de ese tipo.

#### 4.5.7 Análisis Químico

Se practicaron análisis químico a las muestras imperturbadas de suelo por medio de espectroscopia de plasma inducido, detectando la presencia de hierro y níquel, para poder corroborar el tipo de material que se está muestreando y comparar así los valores obtenidos, con la información que brindó el departamento de planificación a largo plazo.

La presencia de otros metales u elementos permitió clasificar la muestra como un tipo de suelo en especial, ya que ciertos elementos químicos en forma de minerales conocidos, se asocian a un tipo de suelo en particular.

#### 4.5.8 Ensayos de Caracterización Mecánica de Suelos

##### Humedad Natural

Se disgregó parte del monolito y se redujo en una lona, cuarteando y reduciendo el material hasta obtener una muestra inferior a un (1) kilogramo (ver Figura 4.12). Luego la misma fue colocada en un recipiente de aluminio (previamente tarado) y pesada, a continuación se introdujo en un horno a 100 ° C Por 24 horas. Una vez concluido el tiempo de secado la muestra es pesada de nuevo y el porcentaje de humedad como porcentaje en peso es determinado.



**Figura 4.12. Izquierda: Material a reducir por cono y cuarteo en una lona. Derecha: Cuarteo de material removiendo áreas opuestas en la torta de material**

##### Clasificación Granulométrica

Utilizando una serie de tamices regular de mallado 2", 1 y ½", ¾", ³/₈", 4, 10, 20, 40, 60, 100 y 200, y siguiendo la norma ASTM D-422; se hizo una clasificación previa en húmedo para eliminar todo el pasante de la malla 200 (ver Figura 4.13), y luego se determinó la distribución granulométrica del material restante. Dicho procedimiento se aplicó a los monolitos de suelo (muestras inalteradas de suelo) y a las muestras de subproducto del proceso de ferroníquel (escoria de refinación). Para los muestras provenientes de pilas de almacenamiento y depósitos finales (saprolita y estéril respectivamente), se asumió el comportamiento de los materiales in situ.



**Figura 4.13. a) Tamices malla número 100 y 200; b) Lavado de muestra, eliminando el pasante de la malla número 200; c) Batería de tamices desde 2" hasta número 200; d) Peso de retenido en un tamiz**

#### **Determinación de peso específico**

El peso específico se determinó con el propósito de usar dicho valor en los ensayos de clasificación granulométrica por hidrómetro, ya que este parámetro es necesario para la determinación asociado al diámetro de partículas en dicho ensayo. La relación de densidades de una fracción de suelo con respecto al agua. En la Figura 4.14 se puede apreciar algunos elementos usados en el ensayo, primero se toma una fracción conocida de suelo y se coloca en un picnómetro, se coloca una fracción de agua dentro del picnómetro y se deja en una cámara de vacío por un tiempo determinado, luego se colma el recipiente y se pesa, esta se relaciona con la densidad del agua a la misma temperatura que fue hecha la anterior medición resultando en la obtención del peso específico o gravedad específica de la muestra de suelo ensayada.



**Figura 4.14. a) Picnómetros con muestras de suelo; b) Llenado parcial de picnómetros; c) Peso de picnómetros con pulpa de suelo; d) Picnómetros en la cámara de vacío**

### Granulometría por Hidrómetro

Se realizó a través del ensayo propuesto en la norma ASTM D-422, en este se prepara una pulpa del material a ensayar con un desfloculante (en proporciones controladas) para introducirla en un cilindro de capacidad de 1000ml (ver figura 4.15), la pulpa es agitada y luego a intervalos de tiempos determinados se toma las lecturas del hidrómetro y la temperatura en ese instante. La medición de tales lecturas contribuye a la determinación de un porcentaje de partículas en suspensión al momento de tomar cada lectura y del tamaño promedio asociado a las partículas en suspensión.



**Figura 4.15. a) Cilindro con fracción de suelo y floculante; b) Floculante; c) Hidrómetro; d) Termómetro**

### Límites de Consistencia

Se determinaron los límites plástico y elástico a todas las muestras inalteradas de suelo recolectadas, siguiendo la norma ASTM D-4318. Para esto se crearon mezclas de suelo pasante de la malla 40 y poca agua, las mismas se dejaron reposar un mínimo de 24 horas.

Para determinar el límite líquido se colocó un poco de mezcla sobre la copa de Casagrande (ver Figura 4.16), luego se formó una especie de estructura en forma de talud por medio del corte con una paleta, a esta se le infligieron una serie de golpes, procurando que la estructura colapsase en rangos de golpes situados entre 10 y 20; 20 y 30 y 30 y 40; luego se tomó una muestra y se secó, de esta forma se asoció la humedad y el número de golpes necesarios para que la estructura colapsase dentro de la copa de Casagrande.

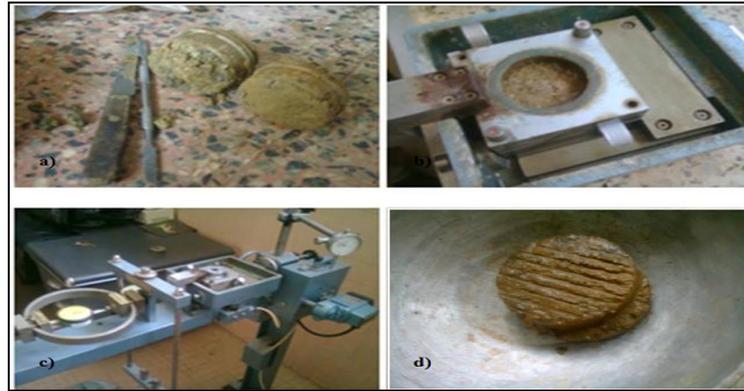


**Figura 4.16. a) Mezcla de agua con el material pasante de la malla N° 40; b) Material en la copa de Casagrande; c) Apertura del material en la copa de Casagrande; d) Muestras de material de la fracción colapsada**

Para realizar el límite plástico se mezcló muestra de suelo pasante de la malla N° 40 con poca agua, luego se formaron elipsoides, arrollándolos con la palma de la mano sobre una superficie lisa, hasta llegar a un diámetro de 3 mm Si en ese momento, los elipsoides se cuarteán en fracciones de unos 6 mm, su humedad es la del límite plástico.

#### **Ensayos de Corte Directo**

Se prepara la muestra a ensayar extrayendo con un anillo de metal, material del monolito o bloque suelo. Luego se calcula el área de la muestra extraída y se determina la carga necesaria para aplicar un esfuerzo normal de 0,5; 1 y 2 Kg/cm<sup>2</sup>. Luego de esto se coloca la muestra en la caja de corte y se deja consolidar (ver figura 4.17). Después de la consolidación se inicia el ensayo y se miden las lecturas de los flexímetros (elementos que miden la deformación) y el anillo (elemento que mide la fuerza aplicada). Dichas lecturas se registran en una tabla dentro de una hoja de cálculo y se convierten a los valores usados comúnmente para emitir resultados de este tipo de ensayos.



**Figura 4.17. a) Corte de muestras con anillos; b) caja de corte; c) Equipo de corte; d) Apariencia de la muestra luego del ensayo**

Realizando ensayos de corte directo de muestras inalteradas de suelo se obtuvieron parámetros como cohesión y ángulo de fricción asociados al suelo. Este ensayo fue efectuado siguiendo las normas ASTM – 3080.

#### **Determinación de peso unitario**

Este valor corresponde a la densidad de los suelos y es realizado de acuerdo a la guía de ensayos de mecánica de suelos (Ugas et al. 1977), consiste en el corte de una porción de suelo (ver Figura 4.18), luego de haberse pesado, se cubre en parafina y este es pesado de nuevo en agua, la relación entre estos valores permitirá el cálculo del peso unitario de suelo, el cual es necesario para el análisis de estabilidad.



**Figura 4.18. a) Muestra de material; b) Parafina; c) Muestra parcialmente cubierta con parafina; d) Conjunto de balanza y envase para pesar la muestra en agua**

#### **Determinación de Angulo de Reposo de Materiales**

El ángulo de reposo de un material varía principalmente debido a la granulometría del mismo, pero este es un parámetro difícil de determinar con exactitud en el laboratorio, los ensayos propuestos encuentran dificultades en el control de todas las variables que influyen en dicha determinación. En la presente investigación se delimitaron el número de variables a controlar y se

realiza por medio de dos métodos, el primero es el método del cilindro, y el segundo es el método del cono.



**Figura 4.19. a) Cono de plástico usado para el ensayo de cono; b) Vertido de material a través del cono; c) Pila formada al verter el material; d) Cilindro utilizado para realizar ensayo**

Para el primer método solo se utilizaron los tres materiales (la escoria de reducción, la laterita y la saprolita). En caso del método del cono, se registró el tiempo de vertido de material, la cantidad del mismo, y se determinó de forma visual y a través de fotografías el ángulo de reposo reportado.

#### **4.5.9 Procesamiento de la información y constitución de los modelos**

Como ya se dijo anteriormente, la información de campo sirvió para constatar el modelo geológico de la explotación mineral (ver figura 4.20). La información se presenta de acuerdo a las características encontradas en cada punto de muestreo, junto a sus coordenadas geográficas y cualquier otra característica resaltante.

La información obtenida a través de los ensayos de laboratorio permitió clasificar los especímenes, asociando las características obtenidas, con las observadas con anterioridad en campo. De esta forma se le pudo dar una descripción detallada a los materiales que conforman el perfil de la explotación, generando lo que se conoce como un modelo geomecánico (ver figura 4.20).

El efecto limitante para describir las características geotécnicas está dado por los valores asociados al ensayo de corte directo. Dicho ensayo se práctico solo en cinco especímenes, los cuales se clasifican de la siguiente forma:

- 1 Espécimen proveniente del sector 1, correspondiente al nivel 1260 (laterita ferruginosa).
- 1 Espécimen proveniente del sector 2, correspondiente al nivel 1250 (laterita ferruginosa).
- 1 Espécimen proveniente del sector 2, correspondiente al nivel 1240 (Saprolita).
- 1 Espécimen proveniente del sector 3, correspondiente al nivel 1195 (laterita ferruginosa).
- 1 Espécimen proveniente del sector 3, correspondiente al nivel 1175 (saprolita).

Para constituir los perfiles de taludes y poderlos evaluar por medio del método de Bishop en el programa Geoslope (versión estudiante), se utilizó la información proveniente de los cinco

especímenes a los cuales se les realizó ensayos de corte directo. La información suministrada en esta fase constituye el modelo geotécnico (ver figura 4.20).

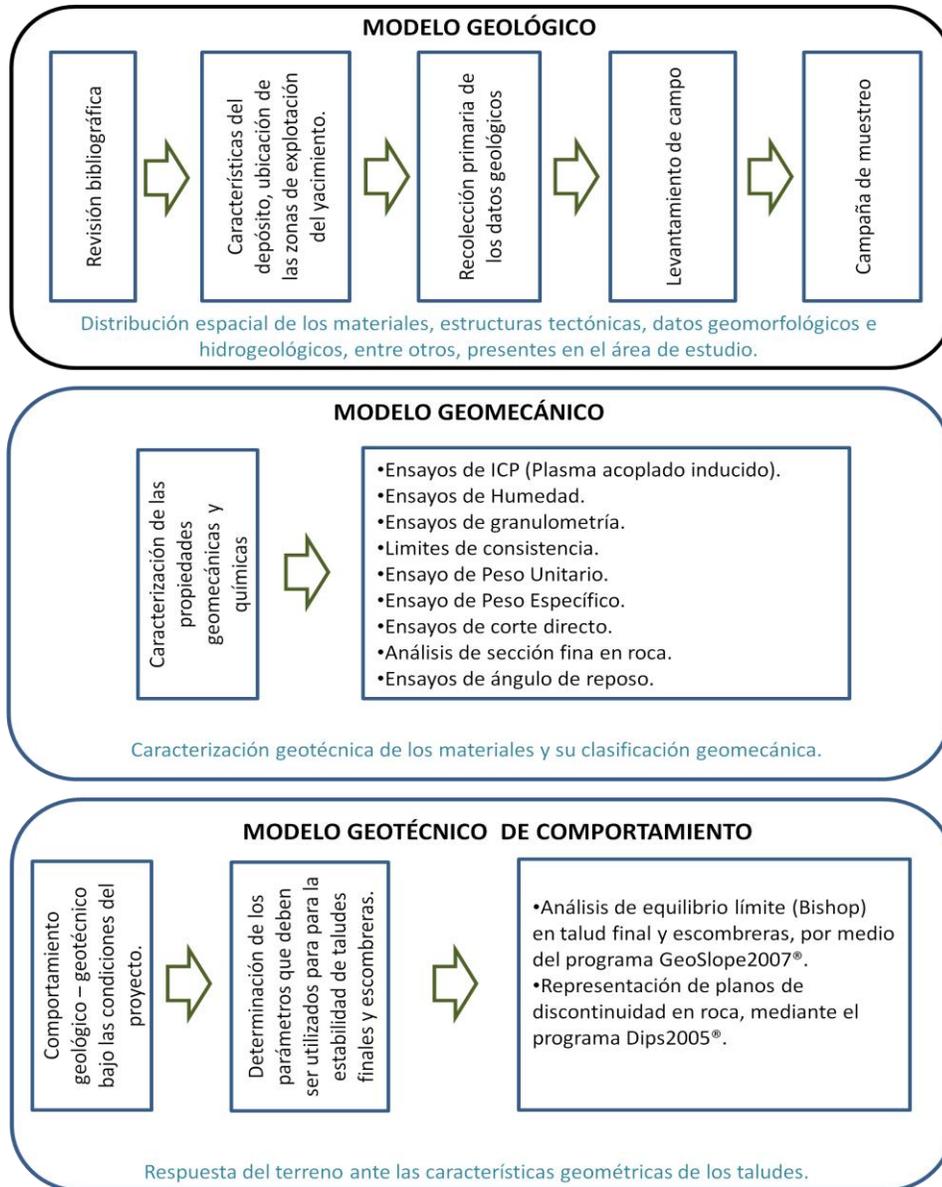


Figura 4.20. Esquema gráfico de los modelos generados a partir de la investigación

#### 4.5.10 Evaluación de la Superficie de Falla y Cálculo del Factor de Seguridad

Utilizando un software o programa de análisis por equilibrio límite se evaluó las condiciones de estabilidad de taludes para condiciones geométricas diferentes. Usando los parámetros obtenidos en los ensayos previos se introdujo en el programa el peso unitario, el ángulo de fricción y la cohesión encontrada para un espécimen en particular, el mismo procedimiento se aplicó para diferentes geometrías, donde las variables fueron el ángulo de talud, la altura de banco y ancho de berma. Cada geometría con los datos pertinentes constituyó un modelo individual, el cual tuvo su factor de seguridad asociado calculado bajo el método de Bishop simplificado.

La elección de las geometrías de los perfiles para realizar el análisis de estabilidad se hizo en base a las características del equipo de arranque de material, el cual es una retroexcavadora PC 750 CL con 5 metros de alcance del brazo. De esta forma se decide probar con alturas de banco de 5 y 10 metros, para no afectar la nomenclatura de los niveles de explotación, los cuales se designan en múltiplos de cinco.

La variación de los ángulos de inclinación de los bancos se hizo partiendo desde 65°, parámetro contemplado en el plan de explotación y con aumentos de 5° hasta llegar a 90°.

El análisis inicial se hizo constituyendo bancos individuales con las características antes definidas. Después de apreciar el comportamiento de los bancos individuales se realizó un perfil que incluyese varios bancos y representase cada sector; dicha representación se hizo tomando valores de los pesos unitarios de tres muestras distribuidas a lo largo del perfil real estudiado, es así que para el nivel 1 se tomaron los datos de los especímenes correspondientes a los niveles 1260, 1270 y 1290, para el sector 2 los correspondientes a los niveles 1220, 1240 y 1245; y para el sector 3 las muestras que representan los niveles 1180, 1190 y 1195. Para simplificar, se toman los datos más desfavorables de cohesión (y su ángulo de fricción asociado) obtenidos en especímenes de cada sector. La selección de solo 3 materiales es una limitación del propio programa.

#### 4.5.11 Generación de perfiles de talud usando Geoslope 2007

Primero se establecen las configuraciones de página, como tamaño y escala, luego se requiere trazar una escala, cuyos títulos de ejes pueden ser modificados de acuerdo a los requerimientos del usuario. Luego usando el comando de trazado de líneas, se dibuja la superficie a evaluar (ver Figura 4.21).

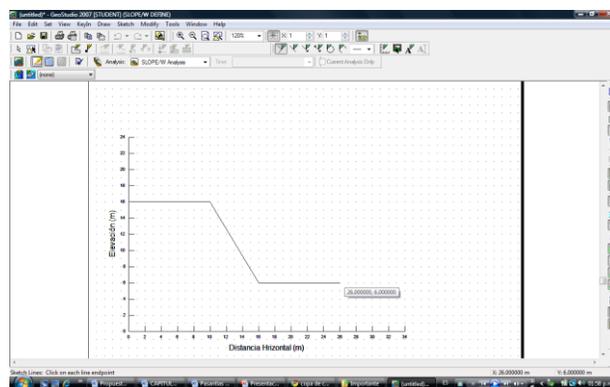
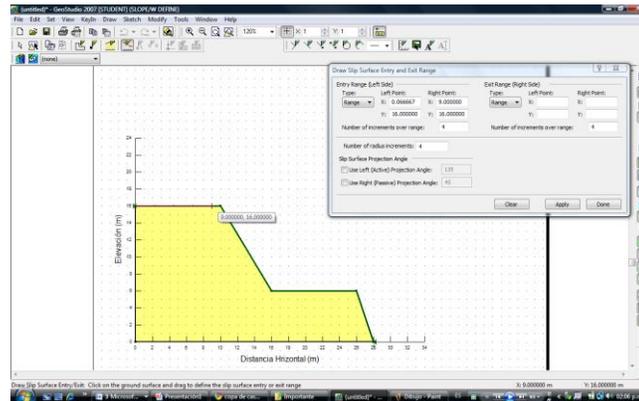


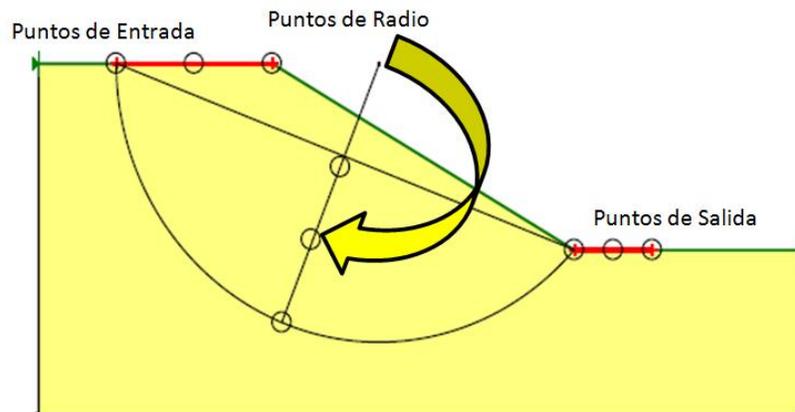
Figura 4.21. Vista de la pantalla durante el dibujo del talud

Posteriormente se crean contornos que permiten delimitar la región a ser afectada por las características del material que se introduzcan. La designación de materiales en la versión estudiantil solo permite designar bajo el ítem de Mohr Coulomb el peso unitario, la cohesión y el ángulo de fricción del material. Posteriormente se delimita la entrada y salida de los círculos críticos (ver Figura 4.22), utilizando el puntero para definir con una línea roja las zonas de entrada y salida; la versión estudiantil solo permite hacer evaluaciones con esta herramienta.



**Figura 4.22. Vista de la pantalla del ordenador al indicar la entrada de los círculos en la evaluación por el método de Bishop**

Los extremos de las zonas de entrada y salida así como tantos puntos como deseemos sobre esa zona, definirán una cuerda de la circunferencia (ver figura 4.23), y en el mismo cuadro de dialogo es posible establecer las variaciones del radio de dicha circunferencia.



**Figura 4.23. Representación del método de Entrada y Salida**

El análisis de estabilidad se completa al presionar el comando “Resolver Análisis”, luego se generará el factor de seguridad asociado al círculo crítico en el análisis y se podrá modificar la forma en que se presenta dicho resultado. La información proveniente de esta experiencia es el factor de seguridad asociado a la geometría planteada, el mismo se ordenó en tablas de modo que pudiese apreciarse la diferencia o variación entre ellos.

#### 4.5.12 Propuesta de los Parámetros de Estabilidad de Taludes

Se consideraron veinticuatro geometrías diferentes las cuales fueron resultado de combinar la longitud de la berma y altura de banco con el ángulo de inclinación del talud. Cada geometría fue combinada con los cinco valores de cohesión y ángulo de fricción (y su respectivo peso unitario) tomados de cinco muestras imperturbadas, pertenecientes a los tres sectores en explotación.

Se realizó una compilación inicial de geometrías de taludes por tipo de material y sector al que pertenece, y se utilizó como elemento discriminante el factor de seguridad asociado y las características de los materiales encontrados en dichos sectores, de esta forma se propone una geometría regional para todos los taludes cortados en suelo (bien sea laterita o saprolita).

Para los depósitos finales se realizó también un análisis de estabilidad pero esta vez con una geometría fija, se decide en base a la experiencia previa y a los resultados de los ángulos de reposo del material en dejar el ángulo de inclinación de los taludes en 30° mientras que la altura de banco será de cinco metros.

Los valores de cohesión en el caso de la laterita variaron desde el menor valor de cohesión obtenido en los ensayos de corte directo hasta cero, el peso unitario utilizado en el análisis de estabilidad fue el correspondiente a la muestra con dicho valor. Como ángulo de fricción se utilizó los valores obtenidos en el ensayo de ángulo de reposo, esto tanto para el análisis en depósitos de laterita ferruginosa, como para los de escoria o subproducto del proceso de refinación; en este último la cohesión fue tomada como cero mientras que el peso unitario del material fue de 3,13 gr/cm<sup>3</sup>, dato suministrado por la empresa y corroborado en el laboratorio a través de un ensayo simple de desplazamiento de volumen en un cilindro graduado.

En el caso de los depósitos temporales se reflejará la altura máxima de la pila asociada al ángulo de reposo del material, siendo en este caso solamente la saprolita el único material que se apila en estas estructuras.

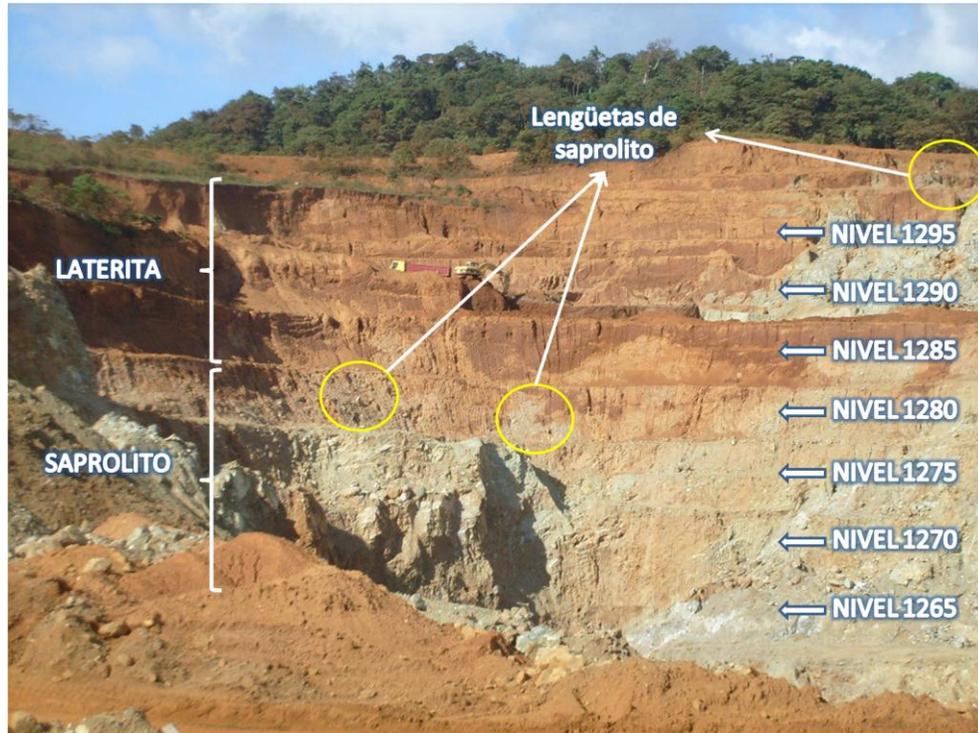
**CAPITULO V**  
**RESULTADOS Y ANÁLISIS**

**5.1 Reconocimiento en Campo**

El área de explotación mineral de la Empresa Minera Loma de Níquel C.A., está dividida en tres sectores, en cada uno de los cuales existe una serie de taludes que constituyen el frente de excavación. Las secuencias estudiadas comprenden los niveles descritos en las Tablas 5.1, 5.2 y 5.3. para los sectores 1, 2 y 3 respectivamente.

Puede observarse en las Figuras 5.1, 5.2 y 5.3. que los taludes para cada sector presentan en sus niveles superiores un suelo laterítico alto en hierro, debido a su color rojo intenso y seguidamente, el saprolito de color amarillento a pardo que nos indica estar ante la presencia de la "laterita níquelífera" o zona de interés para la explotación, en algunos casos suelen presentarse "lengüetas" de este material dispersos en niveles de laterita, lo que indica la marcada irregularidad del yacimiento.

Seguidamente se puede observar encuentra una zona de roca serpentizada, con colores que varían del verde al gris, se encuentra constituido por peridotitas serpentizadas y se presenta en forma de bloques de dimensiones variadas, se observa un fracturamiento avanzado de la roca hacia esta zona. Los fragmentos de roca también pueden observarse embebidos en la matriz saprolítica, a estos se les da el nombre de "boulders".



**Figura 5.1. Niveles 1265 al 1290, Sector 1**

Tabla 5.1. Levantamiento y descripción de campo del Sector 1

Ubicación con coordenadas locales					
Muestra	Coordenadas		Altura	Observación Visual	
	Norte	Este			
SECTOR 1 (Figura 5.1)	S1 1340	4782,85	1070,92	1343,9	Orientación N30°W, ángulo de talud de 85°, buzando al Sur. Secuencia monótona de laterita de color rojo. Cercano a la capa vegetal, se aprecian costras de mineral de hierro. Presencia de ópalo, en forma de vetas de espesor aproximado 2 cm, y fragmentos más grandes atrapados en la matriz de suelo.
	S1 1300	5110,86	886,97	1305,8	
	S1 1290 (2)	5111,47	878,96	1304,88	Taludes con dos orientaciones principales N58°E y N30°W. El ángulo de Talud es de 81° a 84° aproximadamente, con inclinación Sur. El color característico es rojo intenso que se extiende monótonamente a lo largo de la cara del talud. Presencia de pequeños fragmentos de roca serpentínizada con tamaños variables entre 2 a 4 centímetros, envueltas en una matriz de grano fino. Presenta un contacto hacia el sur con roca (peridotita serpentínizada).
	S1 1290	5128,04	863,92	1302,44	
	S1 1285	5088,49	807,48	1281,5	
	S1 1270	5076,41	805,25	1273,75	Direcciones N26°W y N28°W, inclinaciones hacia el sur de 84° y 81°. Ambos bancos son productos de cortes en suelo, prevalece un color pardo amarillento, la granulometría es fina, sin embargo, existe una proporción de fragmentos de roca muy importante ( <i>boulders</i> ) de tamaño apreciable, entre los 0,30 y 0,50 m Existe humedad al tacto, sin goteo, que provee el aspecto pastoso al material. Se observan fragmentos de serpentinita de tamaños que oscilaban entre 3-4 milímetros hasta 5-10 centímetros. Brechas de garnierita.
	S1 1265	5062,88	801,34	1264,92	
	S1 1260	5053,424	777,09	1260,72	



Figura 5.2. Nivel 1245, Sector 2

Tabla 5.2. Levantamiento y descripción de campo del Sector 2

Ubicación con coordenadas locales					
Muestra	Coordenadas		Altura	Observación Visual	
	Norte	Este			
SECTOR 2 (Figura 5.2)	S2 006 1245	5761,229	862,592	1239,423	Orientación N72°W85°S. Se identificó un saprolito color marrón amarillento, con rocas de gran tamaño dentro de la matriz de suelo (0,20 – 0,40 m), correspondientes a peridotitas serpentizadas altamente meteorizadas; la humedad observada es elevada, aunque sin goteo. Hacia el Sur existe un contacto con suelo color rojo intenso, que corresponde a laterita.
	S2 1240 (3-1245)	5701,319	806,369	1228,981	
	S2 1240 (2-1245)	5703,851	824,978	1231,930	
	S2 1220	5826,154	859,648	1216,483	Dirección N42°W86°S. Presenta un color rojo oscuro que se extiende en toda la cara del talud y hasta los niveles superiores, la granulometría es fina, con pequeños fragmentos de roca entre 1 y 2 cm identificados como serpentina y fragmentos de sílice amorfo, disgregados en la matriz de suelo. Existe humedad al tacto, sin goteo. Hacia el Oeste se observó contacto con roca.
S2 GRD 1250	5758,923	880,425	1248,462	Dirección N63°E 72°S, donde se recuperó la muestra se apreció un corte con aproximadamente 20 centímetros de capa vegetal, el espesor de la laterita es variable, la granulometría es fina, no hay granos de diámetro superior a 1 cm, el color rojo intenso, hacia el Sur se observaron grandes fragmentos de roca en la matriz de suelo.	



Figura 5.3. Niveles 1180 al 1195, Sector 3

**Tabla 5.3. Levantamiento y descripción de campo del Sector 3**

Ubicación con coordenadas locales					
Muestra	Coordenadas		Altura	Observación Visual	
	Norte	Este			
SECTOR 3 (Figura 5.3)	S3 1195	8747,759	1032,394	1200,942	Prevalece el color rojo intenso, con pequeñas lengüetas de mineral entre los niveles 1180 y 1185, hacia el noreste en la intersección entre los bancos se aprecia un contacto de peridotita serpentizada conformada por roca de tamaños que varían entre 0,20 y 1 m. Se aprecia dentro de la laterita cambios de tonalidad, notando como las paredes de los niveles inferiores al 1180 toman una coloración marrón oscuro y donde predomina la presencia de serpentinas y ópalo en forma de grandes masas amorfas de hasta 10 centímetros de diámetro.  Saprolito con grandes fragmentos de roca serpentizada de 0,3 a 0,5 m, el color varía de marrón a pardo amarillento, se observó roca altamente serpentizada, se aprecian fragmentos de crisotilo y vetas de ópalo con alturas aproximadas de 2 a 3 m y espesor de 2 a 5 cm que persisten en la extensión de los frentes del talud.
	S3 1195 IZQ	8702,478	1028,401	1197,421	
	S3 1190	8771,580	947,798	1201,952	
	S3 1180	8748,359	1015,552	1183,220	
	S3 1185	8647,061	1023,420	1190,920	
	S3 1180 TRANS	8758,851	1013,658	1182,658	
	S3 1175	8739,517	1009,872	1172,243	

## 5.2 Análisis Químico

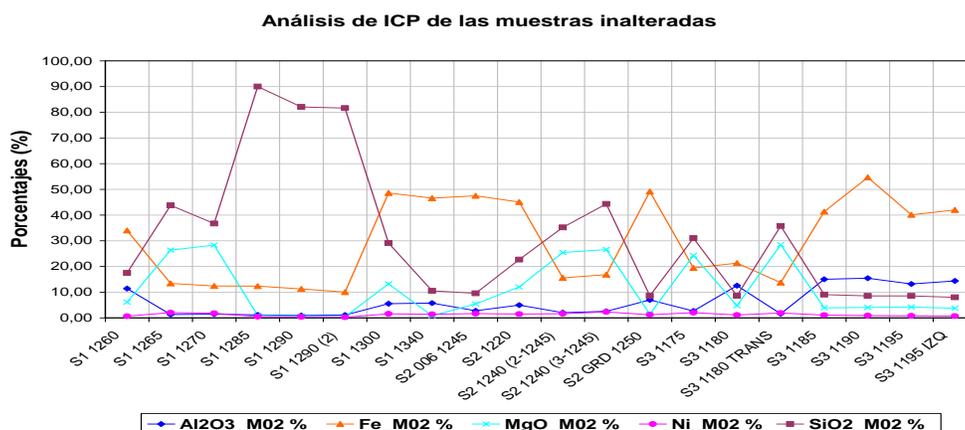
La caracterización visual del suelo correspondiente a cada talud coincide con los resultados del análisis de espectroscopia de plasma inducido (ICP-MS) ya que para las zonas descritas como laterita se halló un porcentaje de hierro superior al 40% que puede observarse en la Tabla 5.4; los valores en color rojo corresponden al porcentaje de hierro mayores a 40%. Por otra parte, las zonas descritas como saprolito, presentan un contenido de hierro inferior al 40%, lo que les hace concordante con la descripción visual, mostrada en las Tablas 5.1 a la 5.3. Por otra parte, la zona explotable debe ser saprolito con porcentaje de níquel superior al 0,8. En la Figura 5.4 puede apreciarse el gráfico de variación entre hierro y níquel, así como el resto de los elementos determinados mediante el análisis descrito anteriormente.

Es importante señalar que el yacimiento es bastante irregular con relación a los niveles explotables de suelo y los no aptos para el procesamiento mineral. Esto se aprecia en la variación de los contenidos de hierro y níquel entre los sectores para cada nivel de talud, por ejemplo, en el nivel 1185 y 1195 del sector 3 existe laterita con alto contenido de hierro que no es apto para la explotación y pertenece a la zona I del yacimiento, mientras que los niveles 1265 y 1270 del Sector I son de alto contenido de níquel a pesar de estar 100 ms.n.m de diferencia, esto corresponde a que la formación del yacimiento se debe, entre otras cosas, a la lixiviación de los elementos conformadores de la roca base, observaciones como las "lengüetas" de saprolito descritas para los Sectores 1 y 3 de las Figuras 5.1 y 5.3, se repiten con frecuencia en diversos lugares del yacimiento.

De acuerdo a esto es impráctico emplear configuraciones para estabilidad de taludes para cada material, por lo que el análisis final dará como resultado características geométricas únicas para toda la fosa de explotación.

**Tabla 5.4. Porcentajes de hierro y níquel según análisis de ICP-MS**

MUESTRA	Fe_M02 (%)	Ni_M02 (%)	Caracterización Visual	Exigencias de Planta
S1 1260	33,97	0,62	Laterita	No explotable
S1 1265	13,38	2,02	Saprolito	Explotable
S1 1270	12,40	1,81	Saprolito	Explotable
S1 1285	12,36	0,45	Saprolito	No explotable
S1 1290	11,22	0,35	Saprolito	No explotable
S1 1290 (2)	10,02	0,25	Saprolito	No explotable
S1 1300	48,59	1,57	Laterita	No explotable
S1 1340	46,55	1,36	Laterita	No explotable
S2 006 1245	47,49	1,66	Laterita	No explotable
S2 1220	45,03	1,46	Laterita	No explotable
S2 1240 (2-1245)	15,57	1,59	Saprolito	Explotable
S2 1240 (3-1245)	16,78	2,28	Saprolito	Explotable
S2 GRD 1250	49,14	1,17	Laterita	No explotable
S3 1175	19,41	2,02	Saprolito	Explotable
S3 1180	21,29	1,12	Saprolito	Explotable
S3 1180 TRANS	13,71	1,87	Saprolito	Explotable
S3 1185	41,34	1,06	Laterita	No explotable
S3 1190	54,62	0,85	Laterita	No explotable
S3 1195	40,07	0,78	Laterita	No explotable
S3 1195 IZQ	41,98	0,67	Laterita	No explotable



**Figura 5.4. Porcentajes obtenidos del análisis de ICP para las muestras inalteradas**

De igual forma, el análisis de ICP permitió obtener porcentajes de aluminio, magnesio y silicio presentes; la Tabla 5.5 indica estos valores por muestra.

El porcentaje de estos elementos influye directamente en el tipo de arcilla que pudiese estar presente en estos materiales, la presencia de un contenido superior de magnesio en las muestras en relación con el de aluminio, que se puede observar en la Figura 5.4., sugiere mayores probabilidades de formación de arcillas pertenecientes al grupo de las esmectitas, premisa justificada de acuerdo a la génesis del yacimiento, tomando en cuenta que a este grupo corresponden minerales como el talco ( $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ ) y saponita ( $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4H_2O$ ) entre otros, formados en yacimientos de silicatos hidratados, entre ellos, *lateritas níquelíferas* (Ferré et al., 2008). La alta plasticidad y carácter expansivo de este grupo de minerales arcilla, provee de características similares al suelo que le contiene.

**Tabla 5.5. Porcentajes de aluminio, magnesio y silicio según análisis ICP-MS**

MUESTRA	Al2O3_M02 %	MgO_M02 %	SiO2_M02 %
S1 1260	11,36	6,09	17,50
S1 1265	1,28	26,34	43,76
S1 1270	1,41	28,30	36,72
S1 1285	1,15	0,92	90,02
S1 1290	0,92	0,68	82,05
S1 1290 (2)	1,12	0,42	81,61
S1 1300	5,51	13,21	29,07
S1 1340	5,72	0,80	10,52
S2 006 1245	2,75	5,40	9,55
S2 1220	4,97	12,04	22,67
S2 1240 (2-1245)	2,01	25,41	35,20
S2 1240 (3-1245)	2,54	26,56	44,32
S2 GRD 1250	6,97	1,41	8,59
S3 1175	2,65	24,27	31,01
S3 1180	12,53	4,76	8,56
S3 1180 TRANS	1,58	28,46	35,73
S3 1185	14,98	3,88	9,03
S3 1190	15,42	4,05	8,54
S3 1195	13,18	4,22	8,51
S3 1195 IZQ	14,36	3,72	7,96

### 5.3 Caracterización de Suelos

La identificación del tipo de suelo se resume en el Anexo 2 de esta investigación, donde se pueden observar los resultados de la clasificación granulométrica mecánica y de hidrómetro, así como la determinación de los límites de consistencia obtenidos para cada una de las muestras analizadas. El tratamiento de la zona laterítica y el saprolito es la caracterización de suelos, debido a que los niveles de descomposición de la roca son tan elevados que esta roca adquirió el comportamiento de un suelo, lo que permite obtener valores como la granulometría y límites de consistencia entre otros.

La distribución granulométrica de los especímenes revela que se está ante la presencia de un material esencialmente de grano fino, lo cual corrobora las observaciones de campo. Las curvas granulométricas se disponen para cada sector en las Figuras 5.5, 5.6 y 5.7.

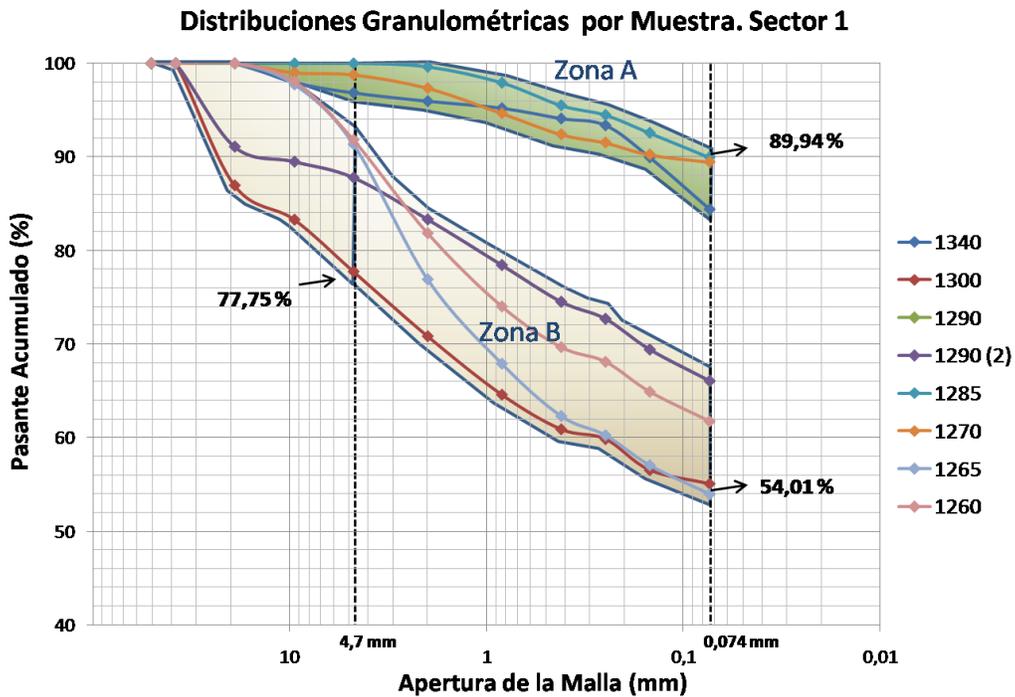


Figura 5.5. Distribución granulométrica para las muestras del Sector 1

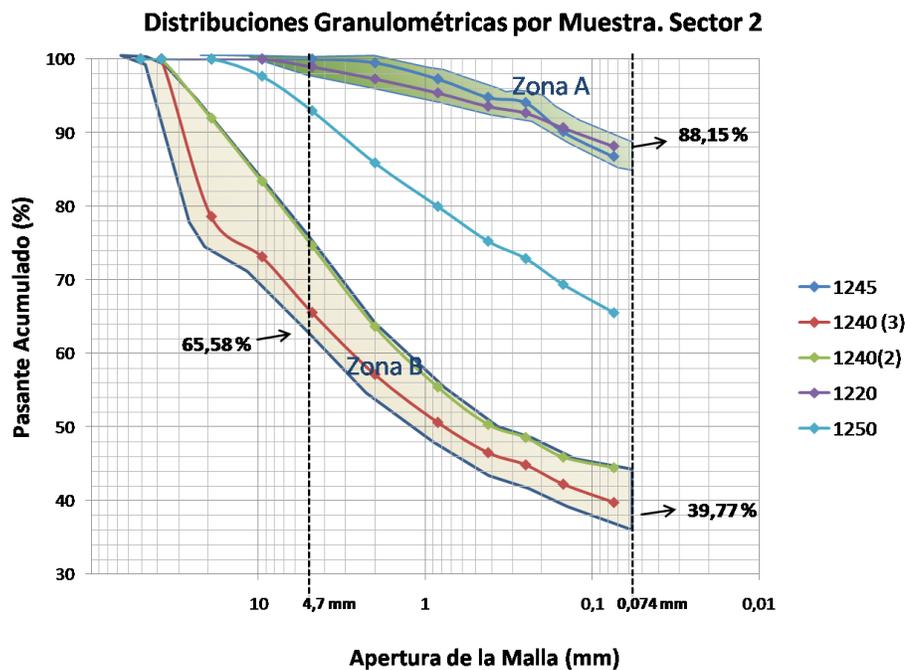
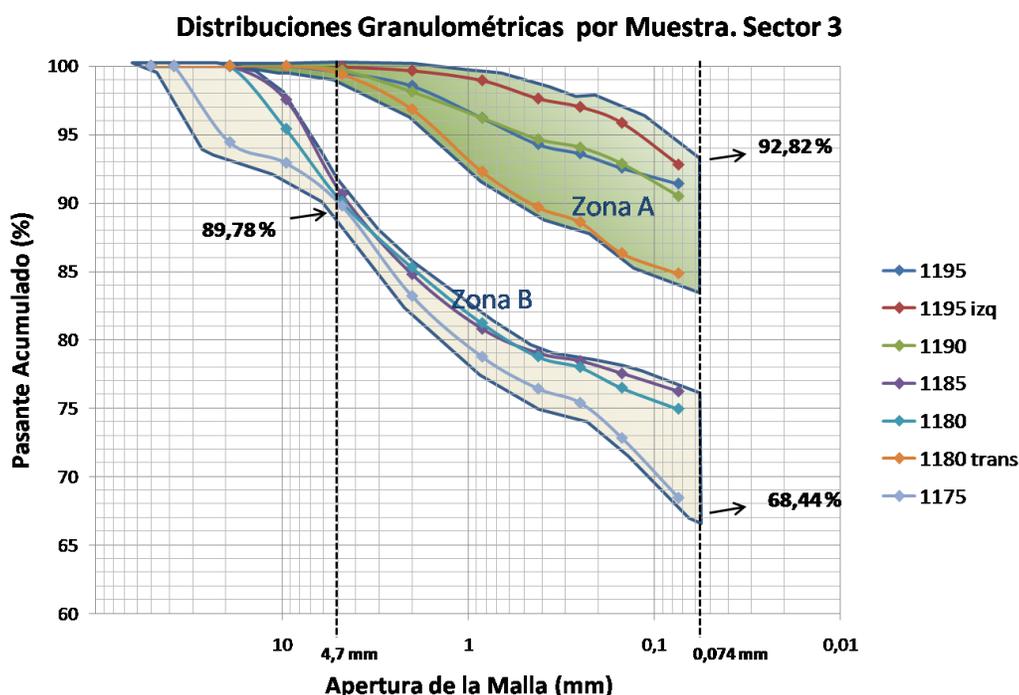


Figura 5.6. Distribución granulométrica para las muestras del Sector 2

Puede observarse que solo dos muestras presentaron un porcentaje pasante de la malla numero 200 (0,074 $\mu$ m) menor al 50%, siendo estas las muestras S2-2140(2) y S2-1240 (3), correspondientes a niveles saprolíticos en el sector 2.

Sin hacer distinción entre el tipo de material (laterita o saprolito) se aprecia que existen dos tipos de distribuciones típicas, la primera posee una fracción gruesa que oscila entre 0 y 16% y otra que oscila entre 30 y 60%. No se aprecia una relación de dependencia entre el tipo de material y su distribución, así como tampoco de acuerdo a la cota o a la cual fue recuperado el espécimen.

Lo antes mencionado encuentra una explicación en la génesis del depósito mineral, ya que los materiales que hasta ahora se vienen diferenciando, inicialmente fueron los mismos, pero debido a la acción de la meteorización y cambios en el nivel freático, la alteración de la roca basal se produjo en diferentes grados y de forma irregular con respecto a la topografía, generando los estratos de laterita ferruginosa y saprolito estudiados.



**Figura 5.7. Distribución granulométrica para las muestras del Sector 3**

Es comprensible esperar que el saprolito tuviese una distribución con fracciones más gruesas, y de hecho muchos de los especímenes catalogados como saprolito se encuentran en la zona "B" representada en los Figuras 5.5, 5.6 y 5.7, esta contiene a las distribuciones con fracción gruesa más grande. Sin embargo existen excepciones como es el caso de la muestra S1-1270 (ver figura 1), quien a pesar de ser catalogada como saprolito presenta esencialmente granos finos, siendo el 89,94% menor a 0,074 $\mu$ m

En la Figura 5.6 se puede apreciar como las muestras S2-2140(2) y S2-1240 (3) representan la excepción entre todos los especímenes, estas poseen respectivamente 44,51% y 39,77% pasante la malla numero 200, permitiendo catalogarlos como arena y grava respectivamente. La muestra S2-1250 presenta un comportamiento intermedio con respecto al de los mostrados en las zonas A y B de la figura.

La Figura 5.7 correspondiente a la distribución granulométrica del sector 3. Muestra que el comportamiento, aunque posee similitudes a los presentados por los especímenes del sector 1 y 2, parece haber una relación inversa con respecto a los intervalos de variación en especial.

A partir del pasante de la malla #200, analizado mediante hidrómetro, que puede apreciarse en detalle en el Anexo 2, se pudo cuantificar la cantidad de material arcilloso correspondiente a cada muestra, como se observa en la distribución porcentual de arcillas de la Figura 5.8. La muestra S1 1290 (2), es la que tiene el mayor porcentaje de arcillas con 23%; esta fracción granulométrica debe contener a las arcillas del grupo de las esmectitas. Mientras que el resto de la fracción fina pasante #200 debe estar compuesta por los granos más pequeños de limonita, producto de la descomposición de la roca.

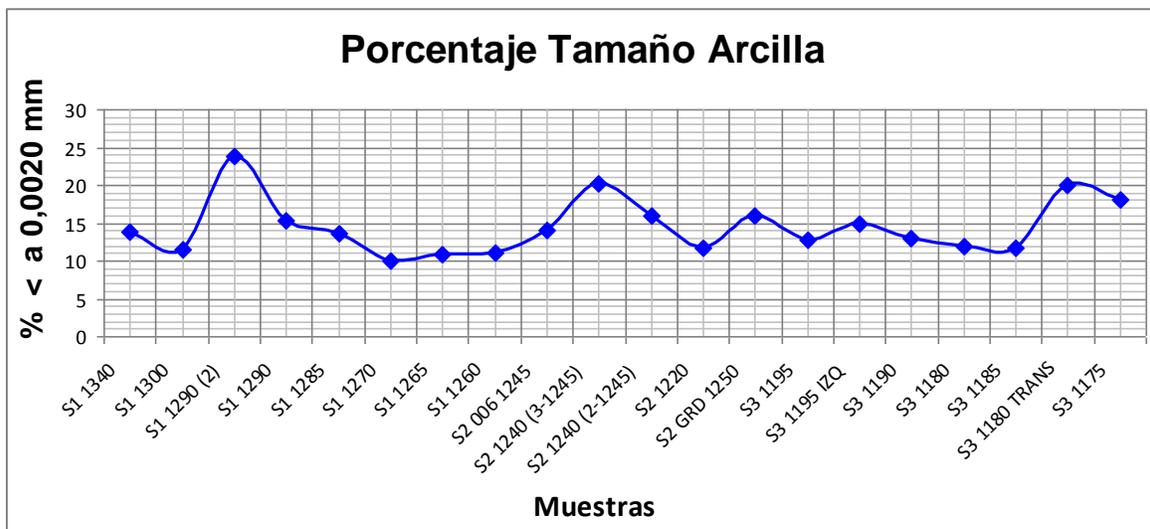


Figura 5.8. Porcentajes de arcillas contenidos en cada muestra inalterada

Los límites de consistencia de los materiales ensayados mostraron un índice de plasticidad promedio de 13,53; mientras que el límite líquido obtenido en las muestras ensayadas es elevado, con un promedio de 63,07%. La Figura 5.9 muestra los valores porcentuales obtenidos de los ensayos de Límites Líquido y Plástico, que exceden en su mayoría el 50% de humedad; la diferencia entre ambos porcentajes (el área azul oscura visible) corresponde al Índice de Plasticidad de cada muestra.

Ambos porcentajes de humedad indican la facilidad de los suelos a absorber el agua. Para entender el fenómeno es necesario remitirnos nuevamente a la composición química de los minerales formadores del suelo y saprolito. En primer lugar, la limonita ( $\text{FeO}\cdot\text{OH}\cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), que conforma un porcentaje elevado del material presente en ambas zonas del yacimiento estudiadas, tiene la capacidad de absorber el agua. Durante el ensayo de Índice Plástico se procura la pérdida de  $n\text{H}_2\text{O}$  en el material, y seguidamente la rehidratación del mismo, acción que promueve el aumento de los límites de consistencia. En segundo lugar, los minerales de arcilla pertenecientes al grupo de las esmectitas y que oscilan entre el 10 y 23% permiten la absorción de grandes cantidades de agua y son altamente plásticos.

### Límites de consistencia

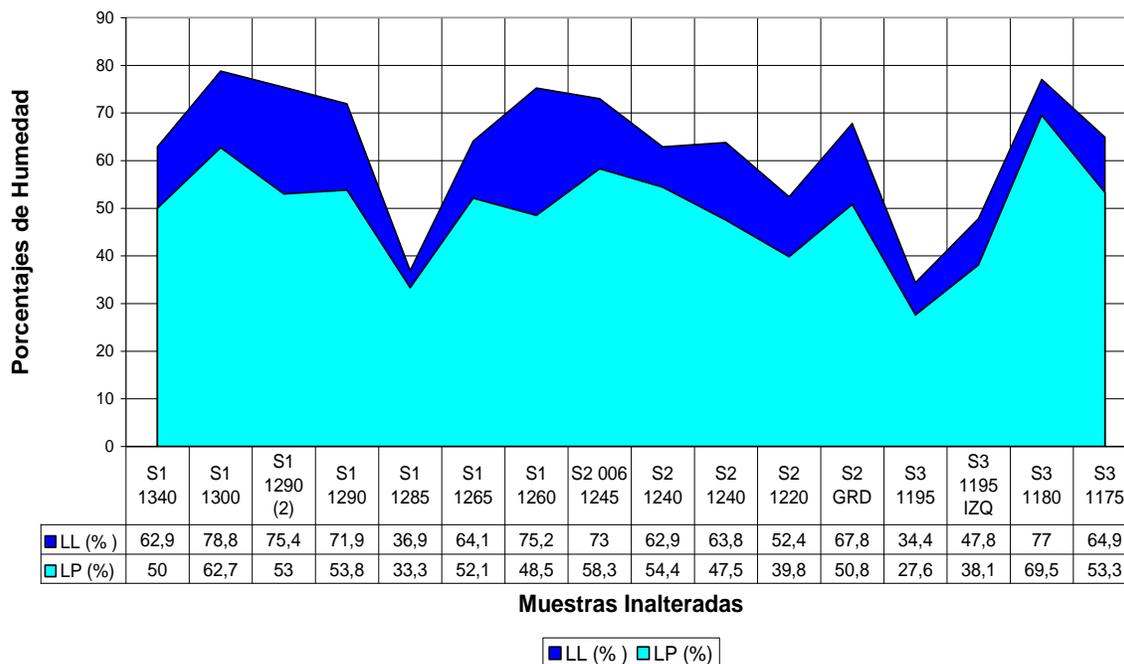


Figura 5.9. Límites de consistencia (%LL y %LP). El Índice Plástico corresponde a la diferencia entre estos

De acuerdo con estos ensayos, pudimos caracterizar las muestras de laterita y saprolito como se muestra en la Tabla 5.6. Donde se observa que la mayoría de los materiales son limos, principalmente de alta plasticidad.

Tabla 5.6. Clasificación de suelos S.U.C.S.

Muestra	Clasificación	Muestra	Clasificación
S1 1340	Limo de alta plasticidad arenoso (MH)	S2 1240	Arena limosa con grava (SM)
S1 1300		S2 1220	Limo de alta plasticidad (MH)
S1 1290 (2)		S2 GRD	Limo de alta plasticidad arenoso (MH)
S1 1290		S3 1195	Limo baja plasticidad (ML)
S1 1285	S3 1195 IZQ		
S1 1270	Limo de baja plasticidad (ML)	S3 1190	Limo de baja plasticidad (ML)
S1 1265	Limo de alta plasticidad arenoso (MH)	S3 1185	
S1 1260		S3 1180	Limo de alta plasticidad arenoso (MH)
S2 006 1245	Limo de alta plasticidad (MH)	S3 1180 T	Limo de baja plasticidad (ML)
S2 1240	Grava limosa con arena (GM)	S3 1175	Limo de alta plasticidad arenoso (MH)

#### 5.4 Humedad Natural

Las humedades naturales de las muestras estudiadas, expresadas como porcentaje en peso oscilan entre 19 y 58 %. Dichos valores tan altos corresponden al almacenamiento de agua principalmente como agua de hidratación y capilar. El análisis de ICP indica la presencia elevada de hierro en forma oxidada, sobre todo en los niveles correspondientes a laterita ferruginosa, que hidrata con facilidad. Por otro lado la fracción arcillosa encontrada influye en la absorción de cantidades elevadas de agua. Además, la lixiviación de los elementos conformadores de la roca, durante la formación del yacimiento, crearon espacios vacíos que permiten la absorción de cantidades importantes de agua.

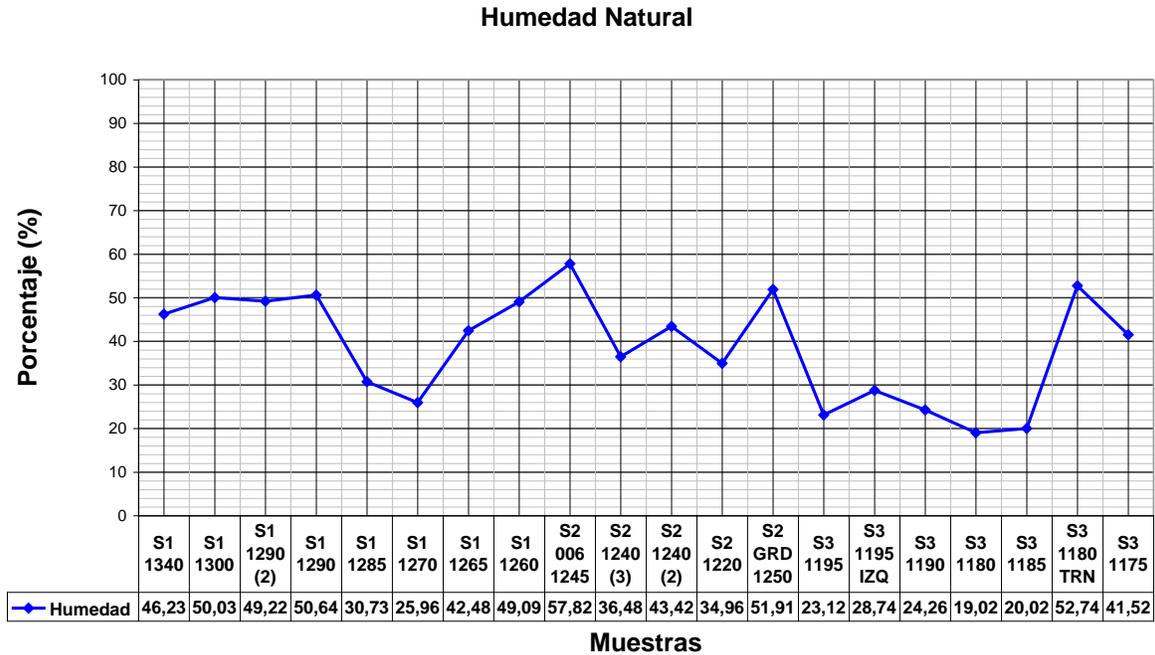


Figura 5.10. Porcentajes de Humedad Natural

#### 5.5 Pesos Unitario y Específico

Los pesos unitario y específico varían según las muestras estudiadas, esto puede deberse a la irregularidad del yacimiento, que en su génesis produjo el descenso paulatino de la densidad de la roca hasta descomponerla a laterita y saprolito. Aunque existe cierta diferencia entre los pesos encontrados para laterita y saprolito, se decidió mostrarlos unidos contra los valores del estudio químico de ICP como puede observarse en la Figura 5.11., en los que puede apreciarse que los porcentajes de los metales hierro y magnesio influyen en los pesos unitario y específico, ya que son metales con peso atómico elevado y en mayor cantidad encontrados en los ensayos.

Valores importantes de hierro y magnesio generalmente constituyen pesos específico y unitario elevados, mientras que los porcentajes bajos de estos metales implican los menores valores obtenidos para los ensayos de PU y Pe.

### Comparación Pesos Unitario y Específico Vs. %ICP

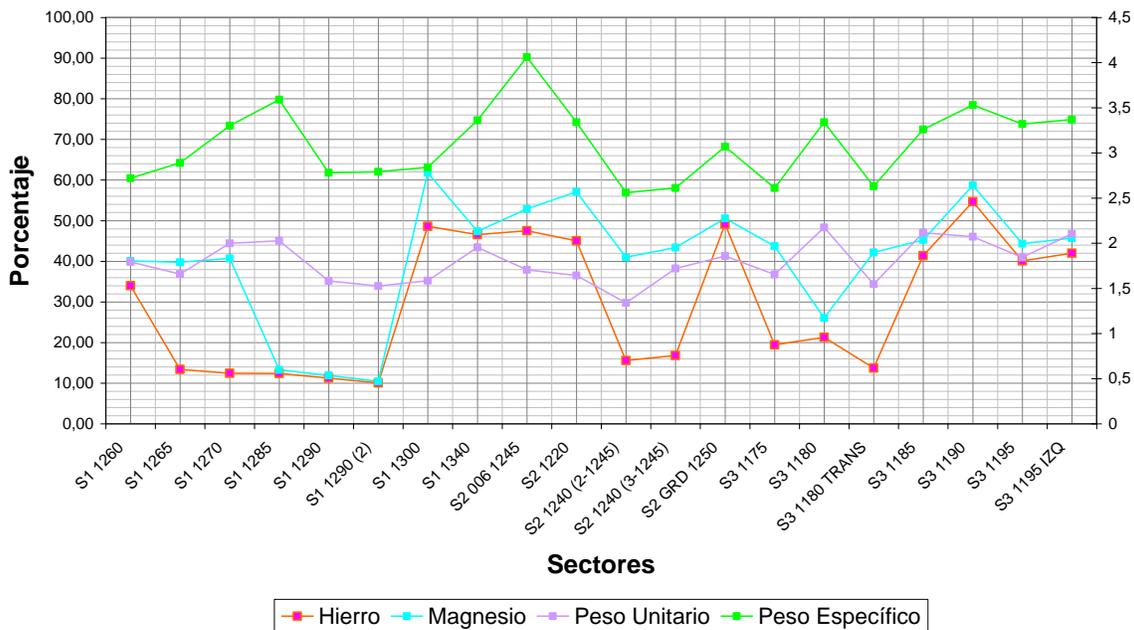


Figura 5.11. Peso Unitario, Peso Específico, Hierro y Magnesio

### 5.6 Ensayos de Corte Directo

Estos ensayos fueron realizados sobre quince muestras inalteradas, tres por cada muestra, se obtuvieron los resultados de cohesión y ángulo de fricción mostrados en la Tabla 5.7. Los resultados detallados de los ensayos son incluidos en el Anexo 3.

Tabla 5.7. Cohesión y Ángulo de Fricción. Ensayo de Corte Directo

Muestra	Cohesión (c)	Ángulo de Fricción ( $\varphi$ )	Material
S1-1260	0,40 kg / cm <sup>2</sup> (39,22 kPa)	25,17 °	Laterita
S2-GRD	0,32 kg / cm <sup>2</sup> (31,38 kPa)	25,58 °	Laterita
S2-1240	0,62 kg / cm <sup>2</sup> (60,80 kPa)	30,33 °	Saprolito
S3-1195	0,10 kg / cm <sup>2</sup> (17,65 kPa)	31,51 °	Laterita
S3-1175	0,31 kg / cm <sup>2</sup> (30,40 kPa)	32,30 °	Saprolito

La tabla anterior refleja los valores de cohesión y fricción, que son elevados para todos los materiales, sin embargo, puede observarse una disminución de estos valores para los materiales caracterizados como laterita, lo que sugiere una estabilidad menor para estos.

Pudo observarse durante los ensayos, que la muestra de saprolito cortada, contenía fragmentos de roca que al ser ensayados oponían una resistencia al corte mayor que las muestras de laterita, que no

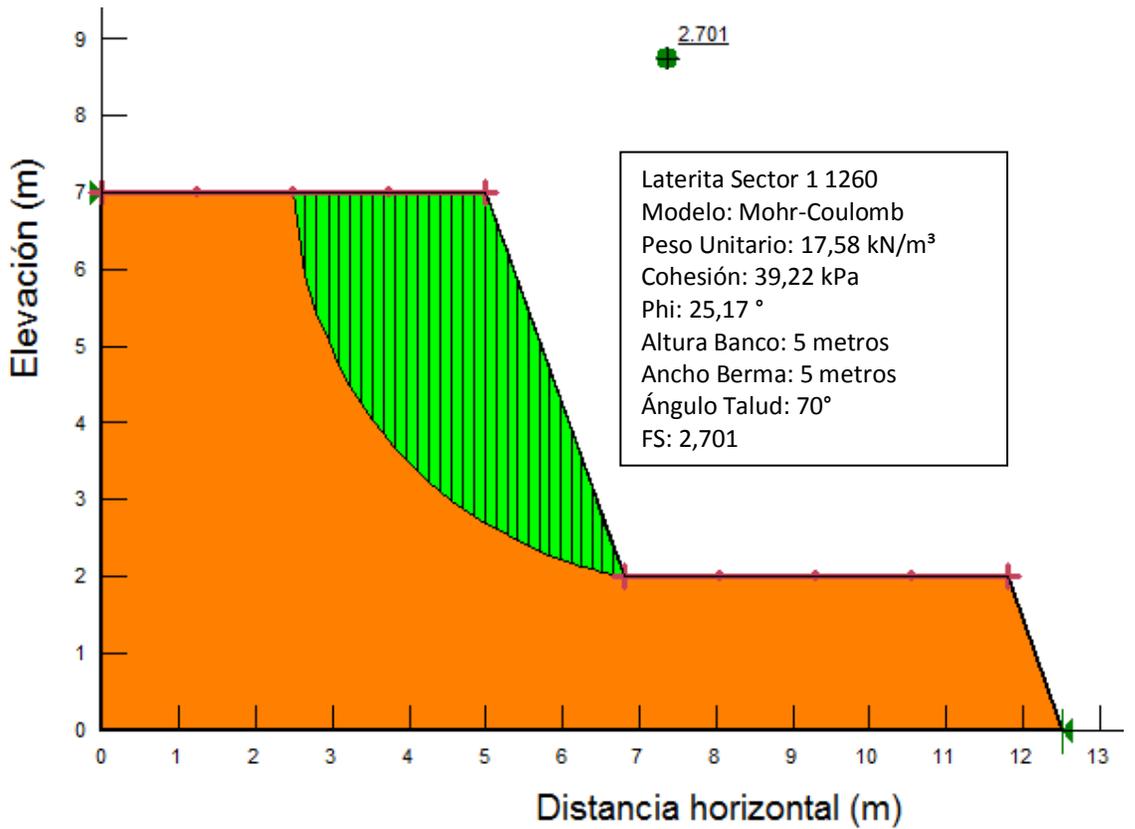
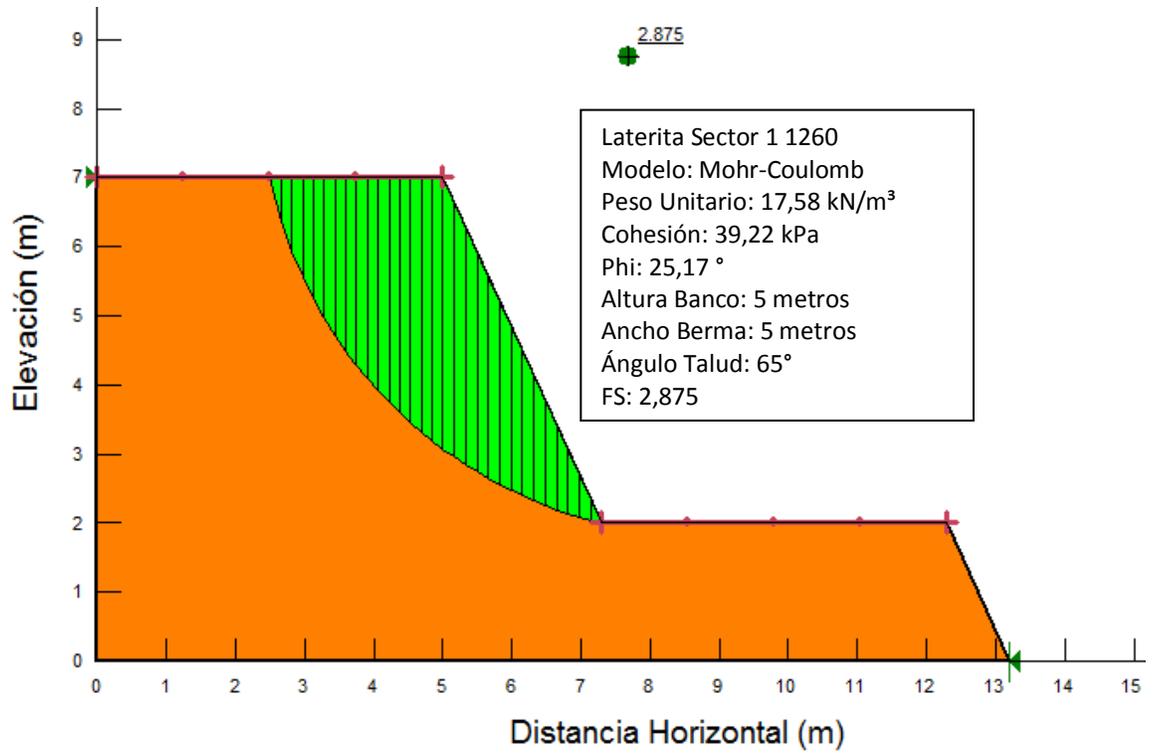
contenían estos fragmentos. Toda la masa fina esta complementada por las masas rocosas, que promueven el aumento cohesión y fricción, y en consecuencia la estabilidad del material.

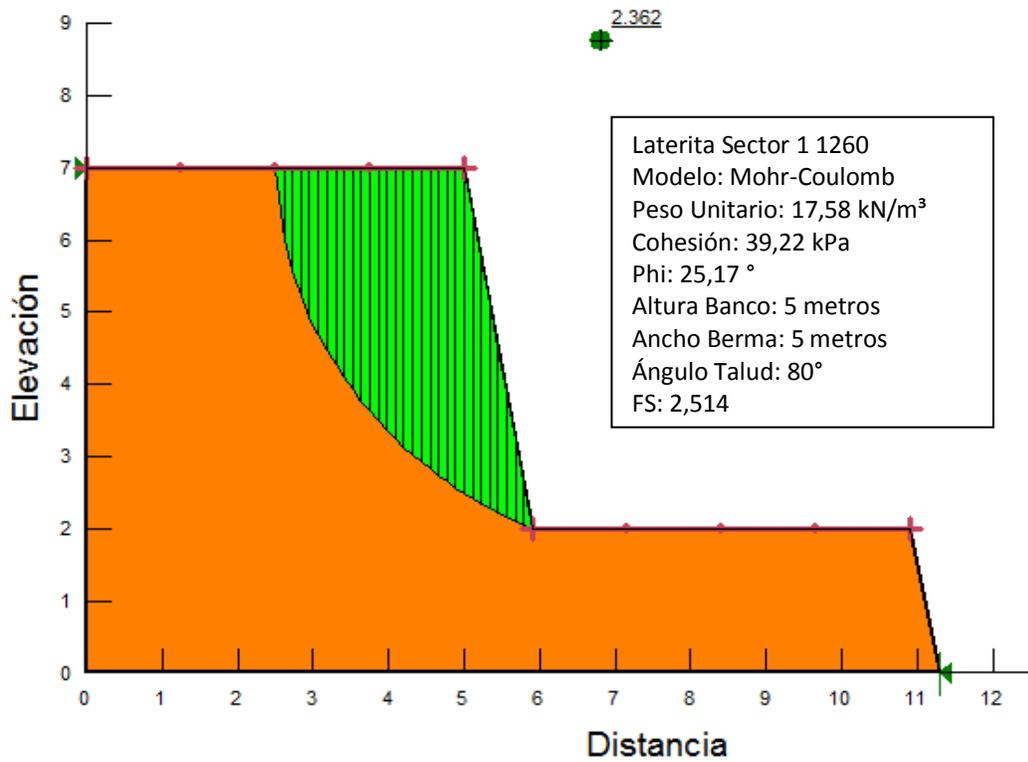
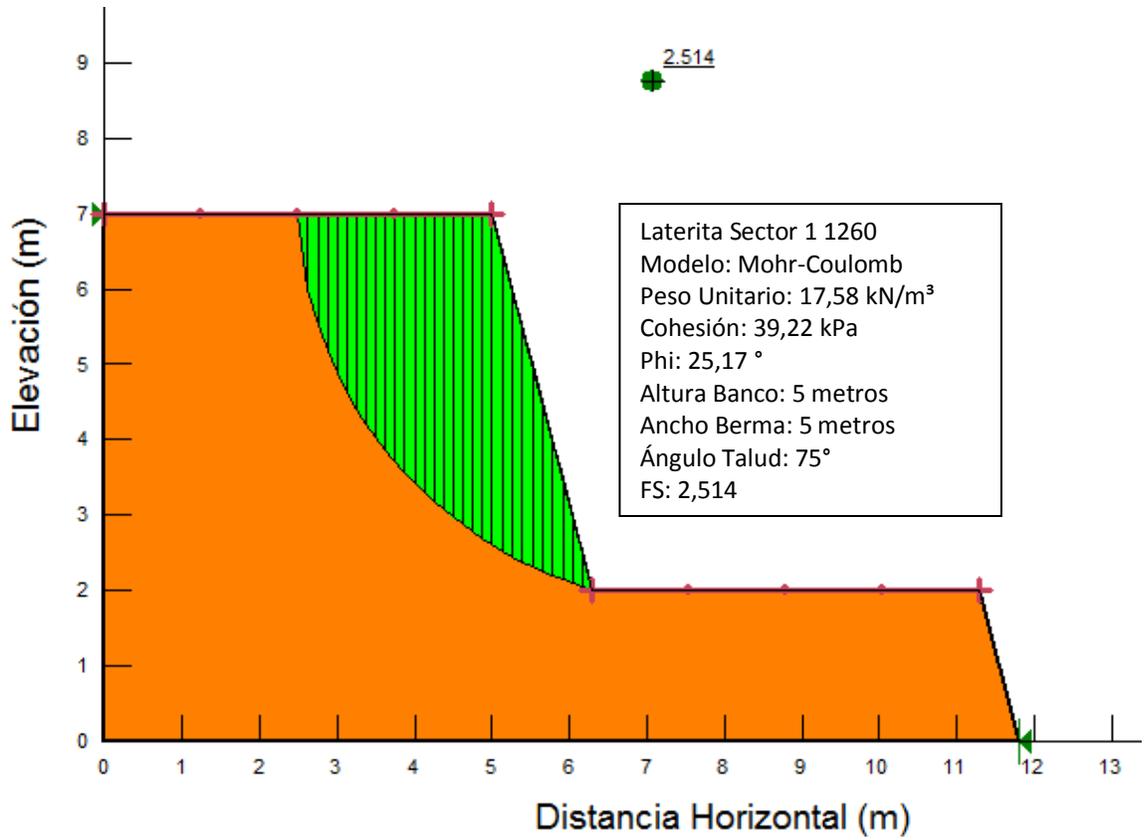
Adicionalmente, la competencia de los materiales está garantizada por la uniformidad de la distribución de granos, lo que hace que los espacios intergranulares sean menores y promuevan la cohesión.

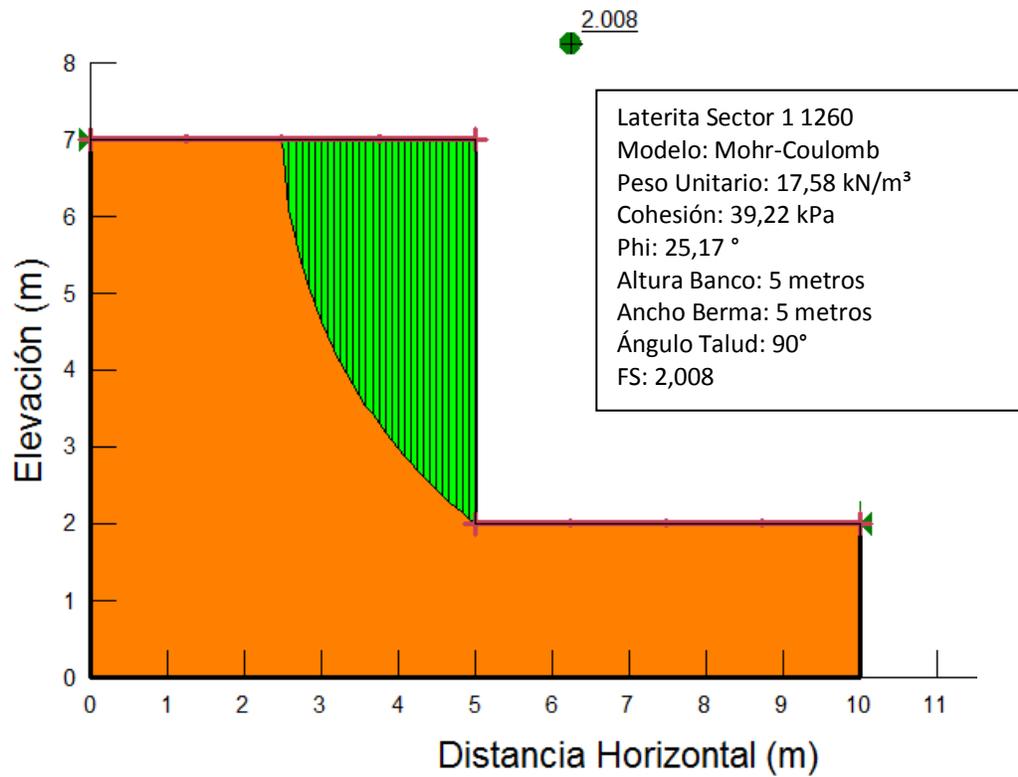
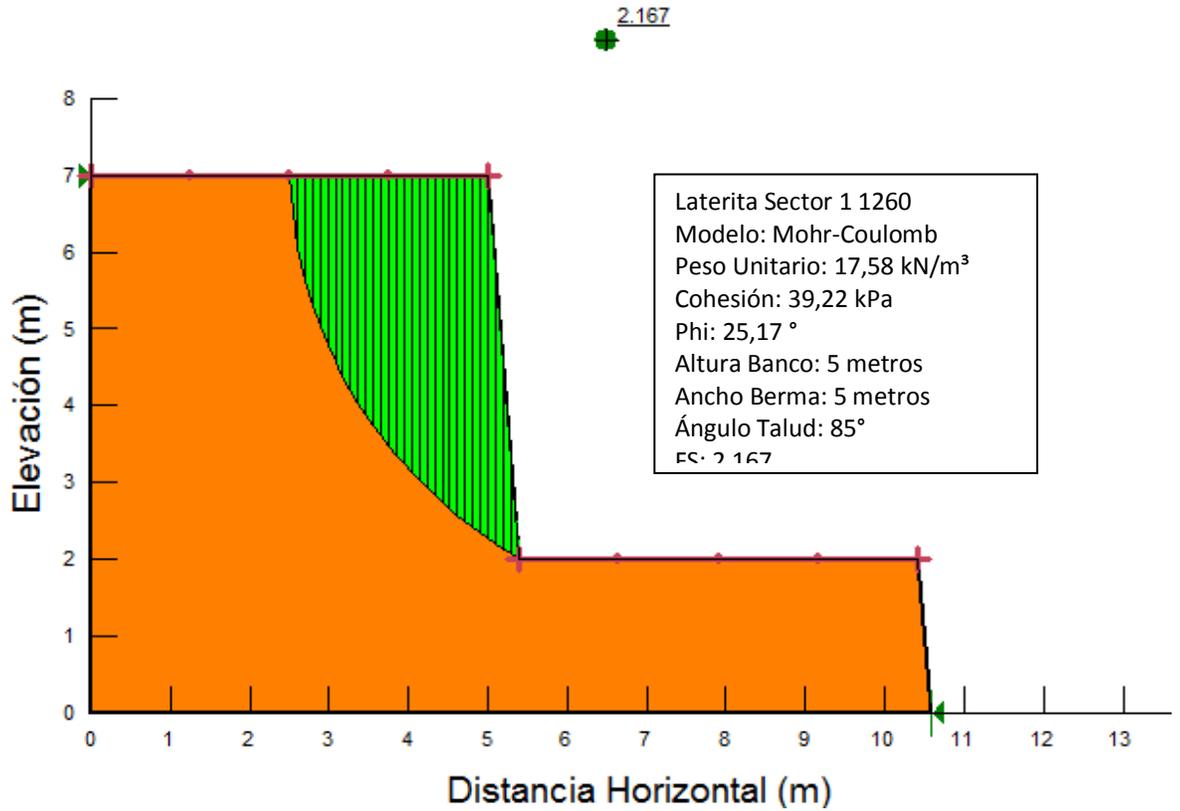
### **5.7 Análisis de Estabilidad**

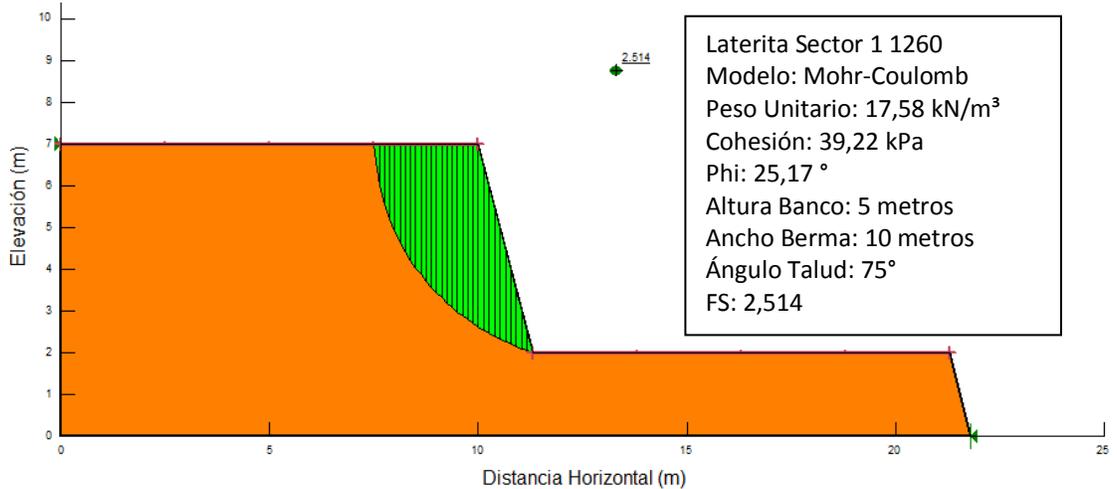
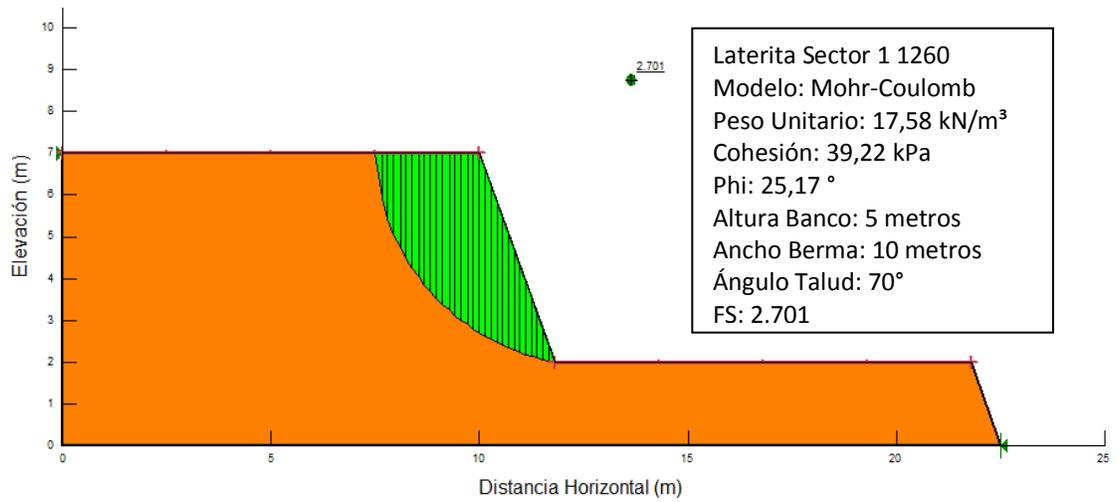
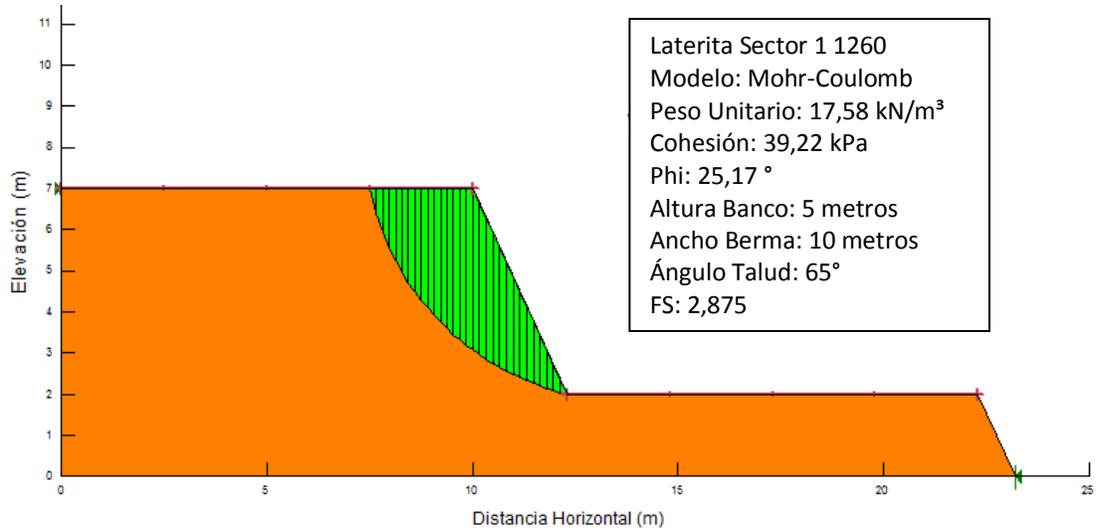
El análisis de estabilidad para 24 configuraciones geométricas diferentes, mediante el programa GeoSlope 2007® (versión estudiante), permitió observar como el factor de seguridad asociado, varía de acuerdo a los parámetros de entrada establecidos. Los factores de seguridad obtenidos se encuentran entre 0,718 y 5,474, el primero asociado a la muestra S3-1195 y el segundo a la muestra S2-1240; siendo estas las muestras que presentaron los valores de cohesión mínimo y máximo respectivamente, entre las 5 muestras ensayadas bajo corte directo.

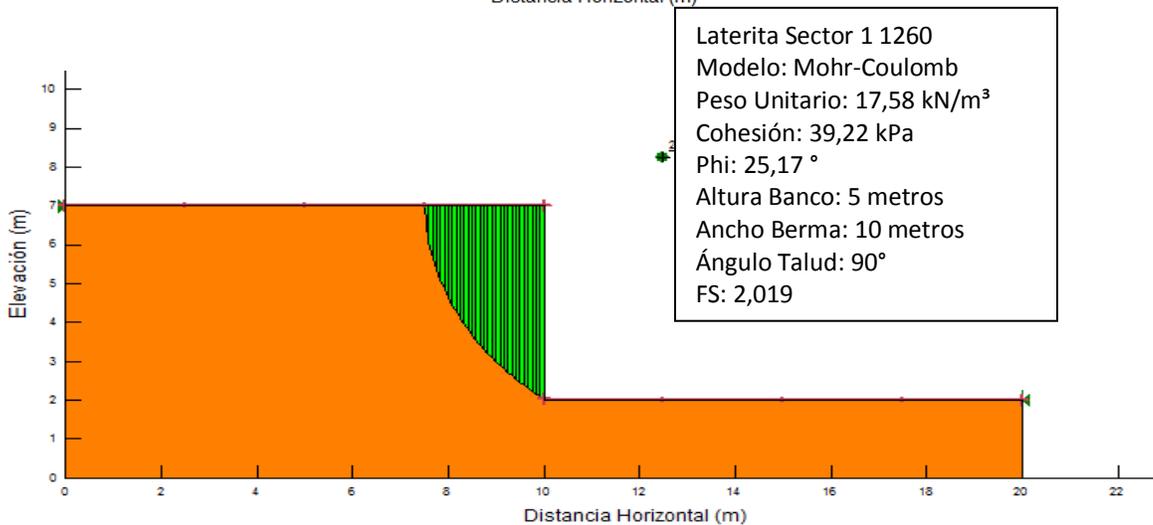
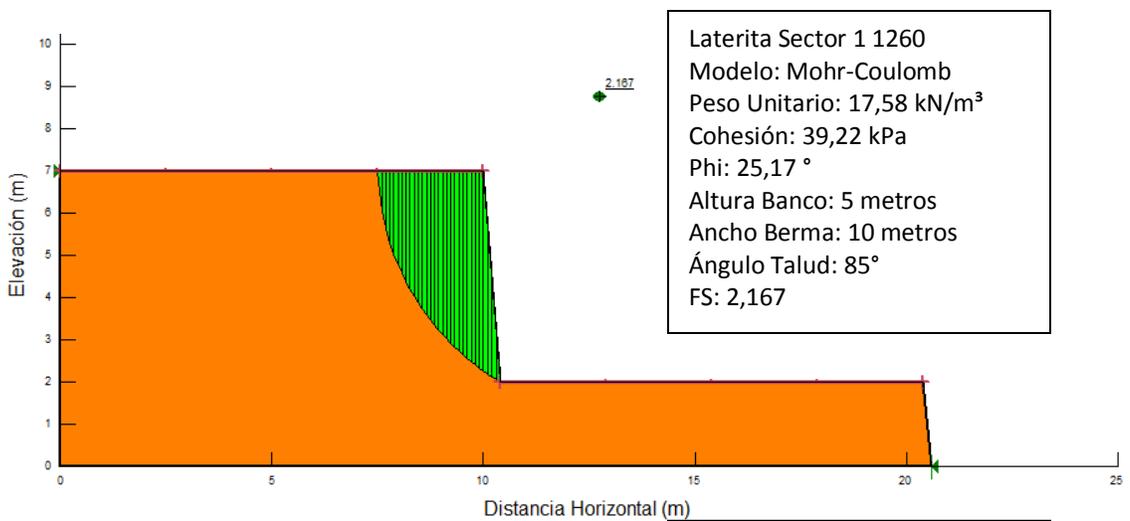
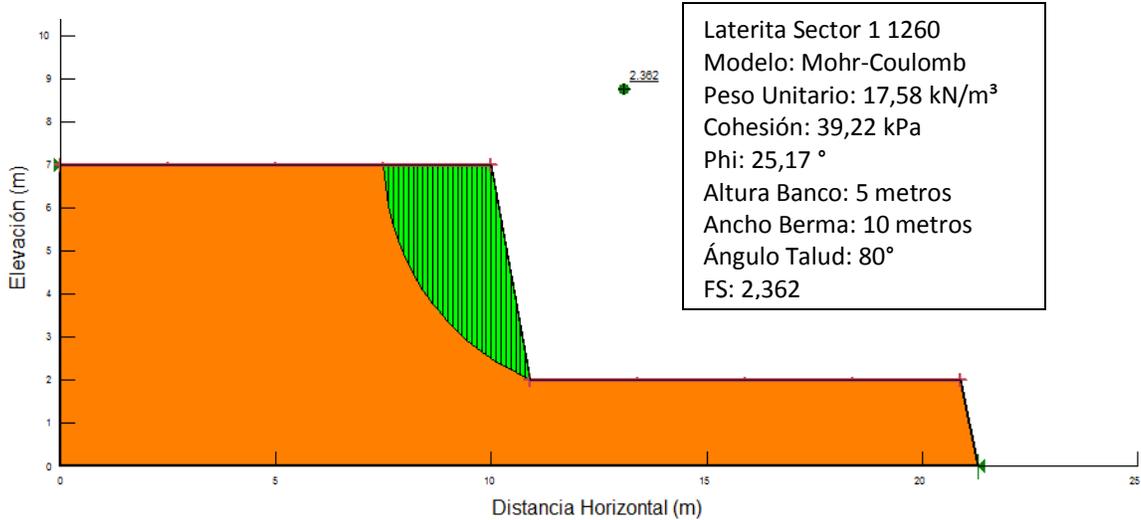
A continuación se presentan todos los perfiles o cortes realizados, resaltando las características geométricas de los mismos así como el ángulo de fricción, la cohesión y el peso unitario utilizado. Las imágenes que representan los perfiles se presentan de la siguiente forma: primero las correspondientes al sector 1, luego el sector 2 y por último el sector 3; además si las características de cohesión y ángulo de fricción dadas a un corte determinado corresponden a lo que se define como laterita, éste se presenta de color anaranjado, y en caso de corresponder a saprolito el corte se presenta amarillo.

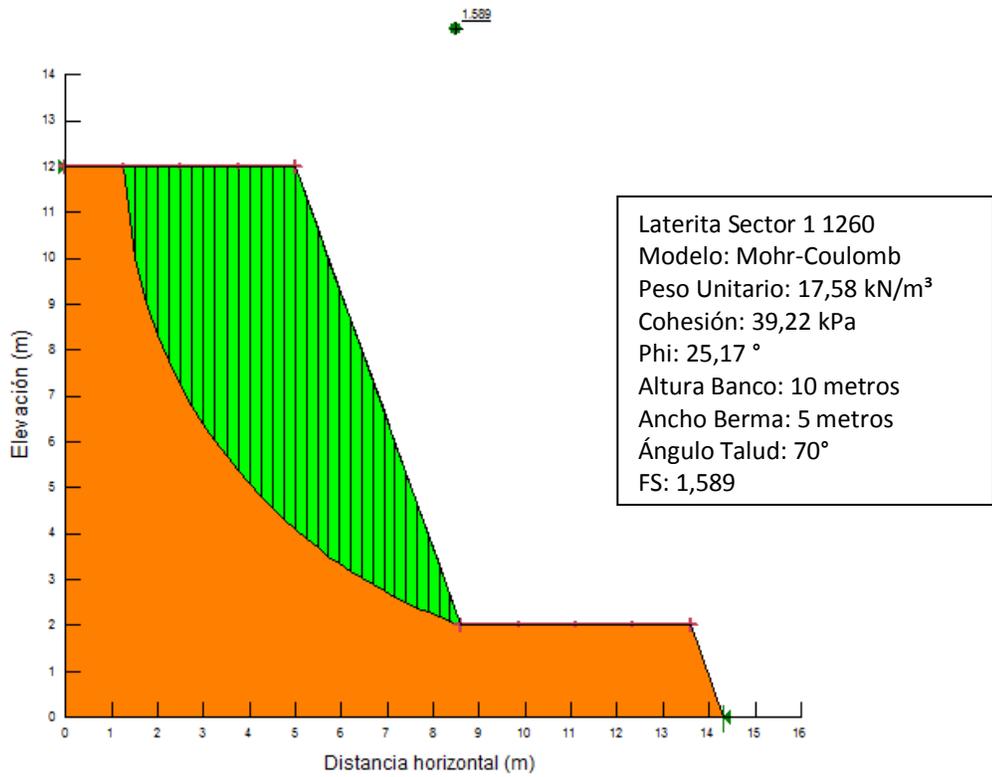
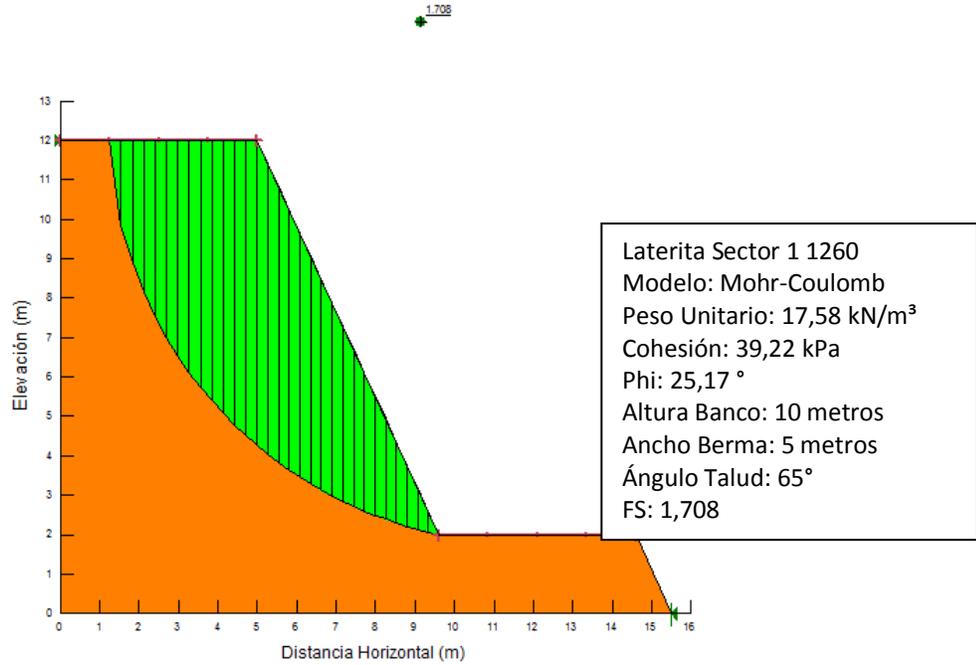


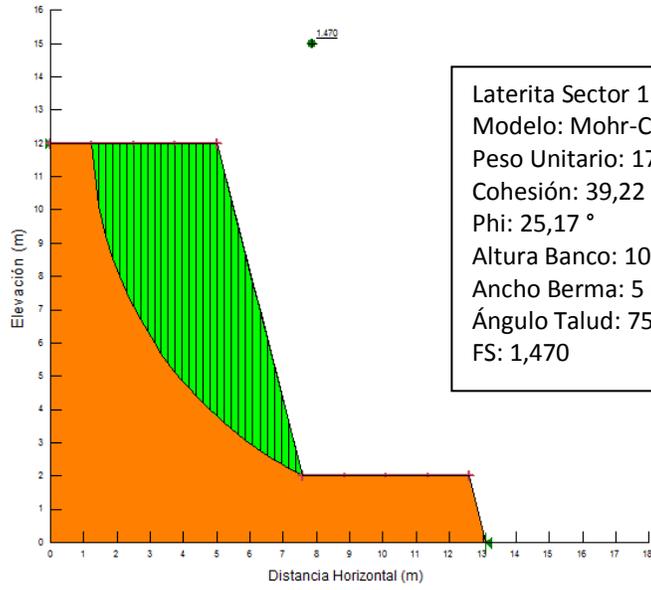




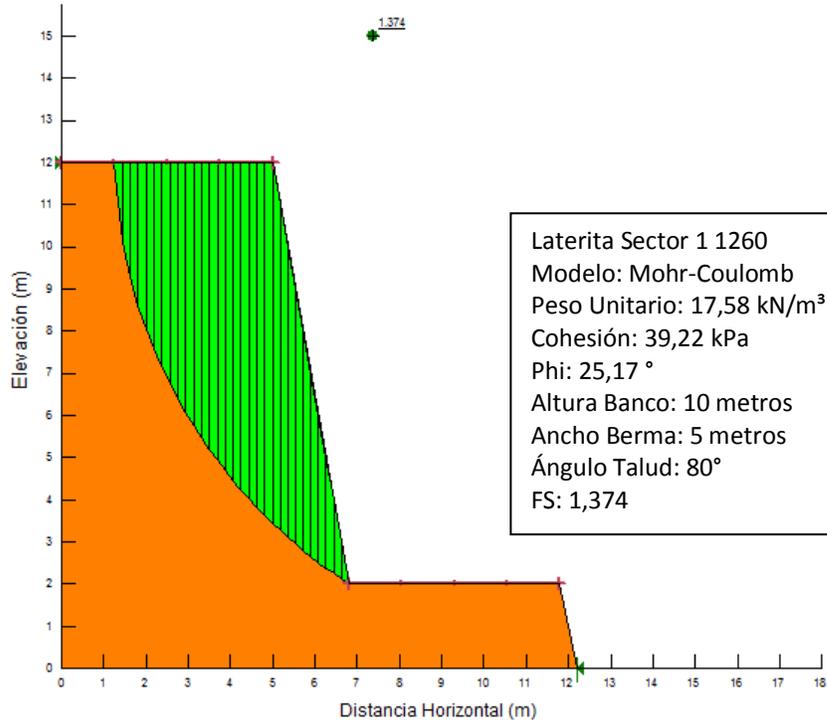




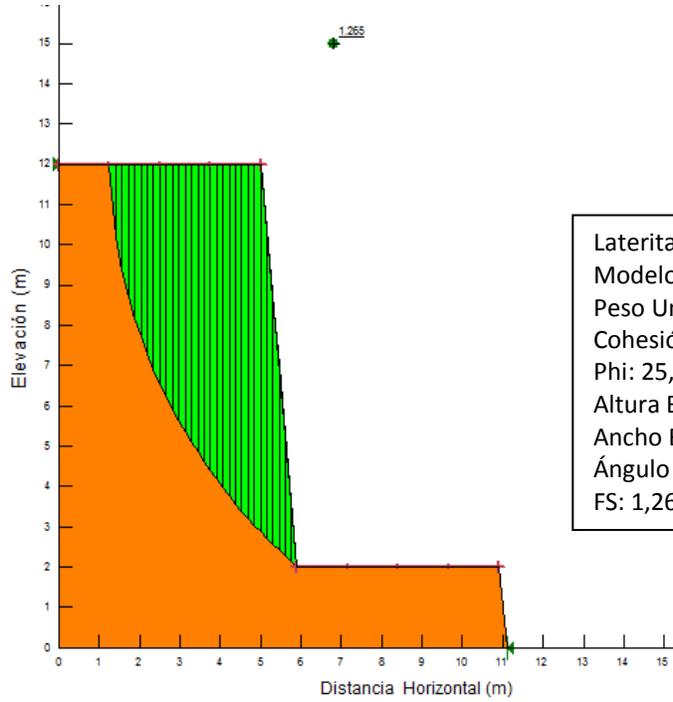




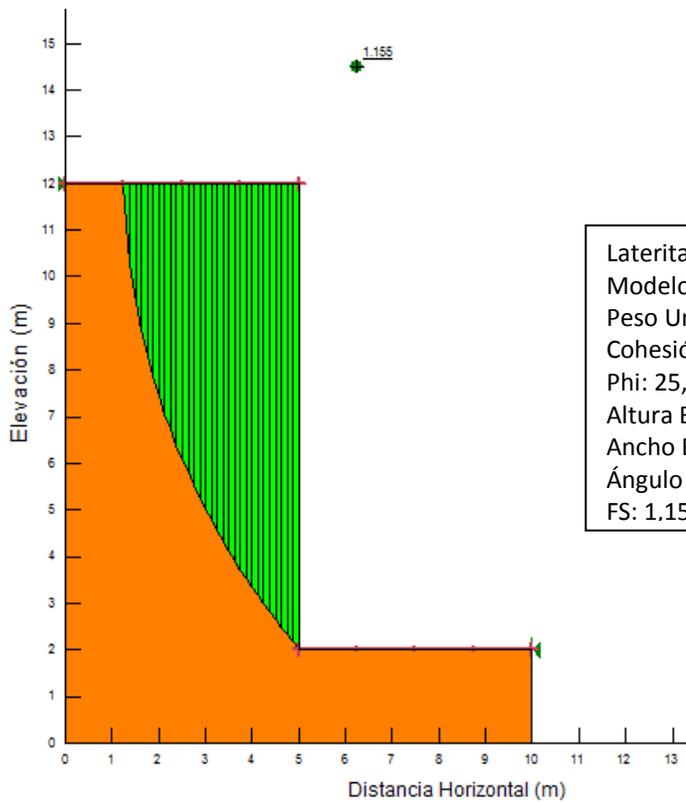
Laterita Sector 1 1260  
 Modelo: Mohr-Coulomb  
 Peso Unitario: 17,58 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesión: 39,22 kPa  
 Phi: 25,17 °  
 Altura Banco: 10 metros  
 Ancho Berma: 5 metros  
 Ángulo Talud: 75°  
 FS: 1,470



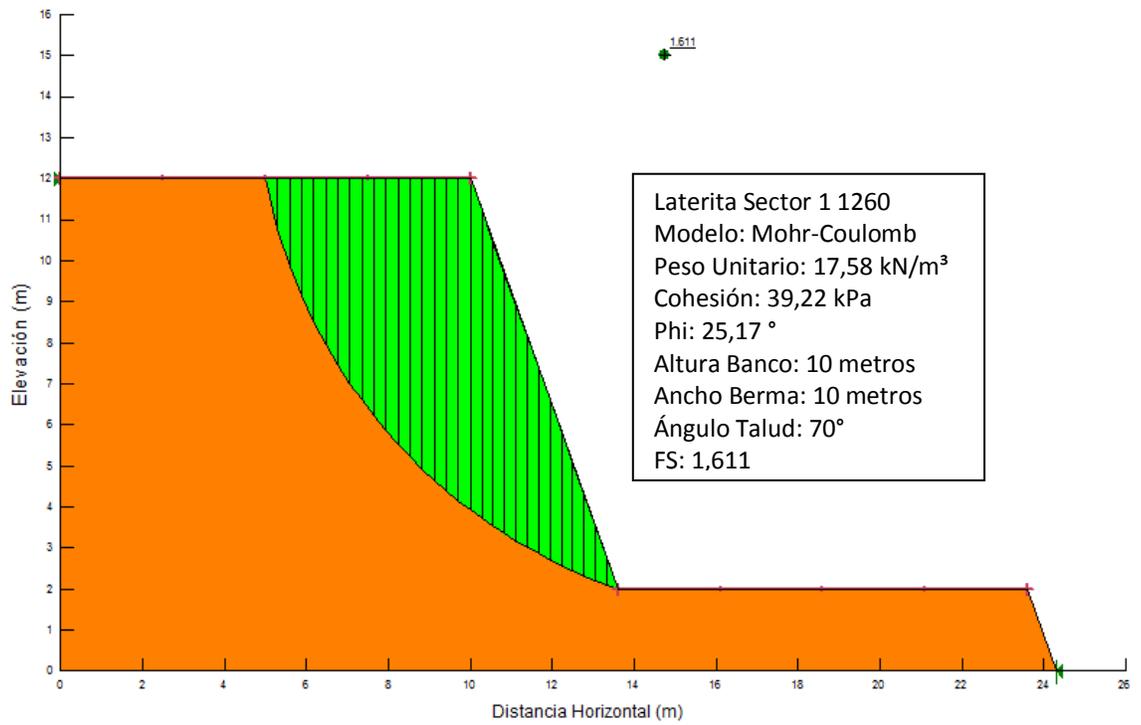
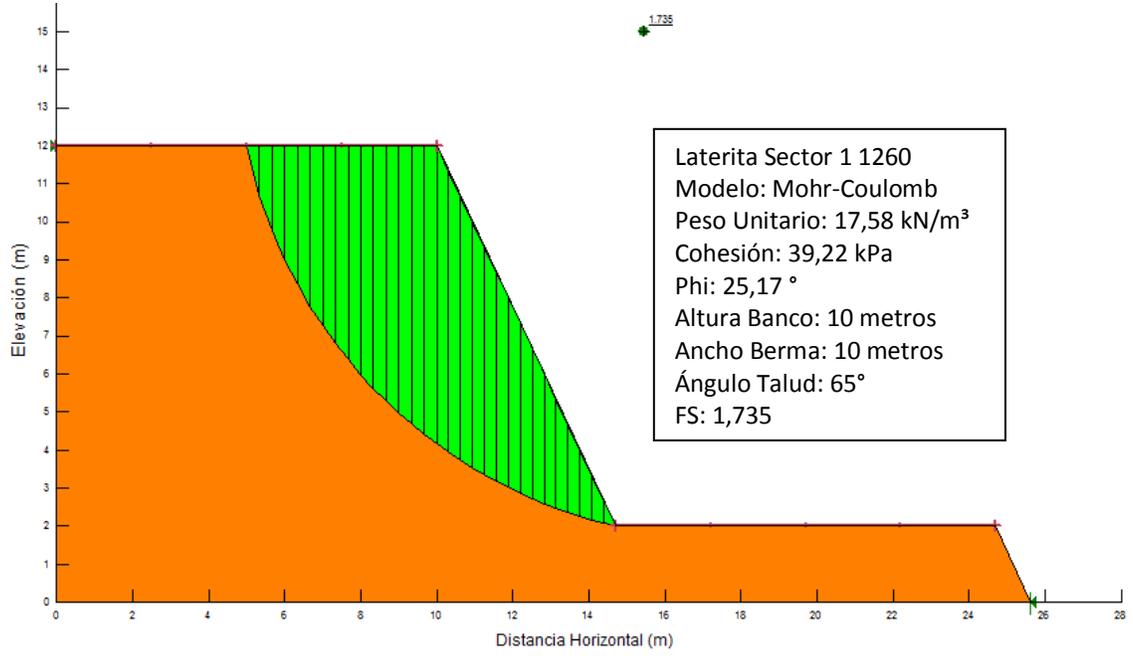
Laterita Sector 1 1260  
 Modelo: Mohr-Coulomb  
 Peso Unitario: 17,58 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesión: 39,22 kPa  
 Phi: 25,17 °  
 Altura Banco: 10 metros  
 Ancho Berma: 5 metros  
 Ángulo Talud: 80°  
 FS: 1,374

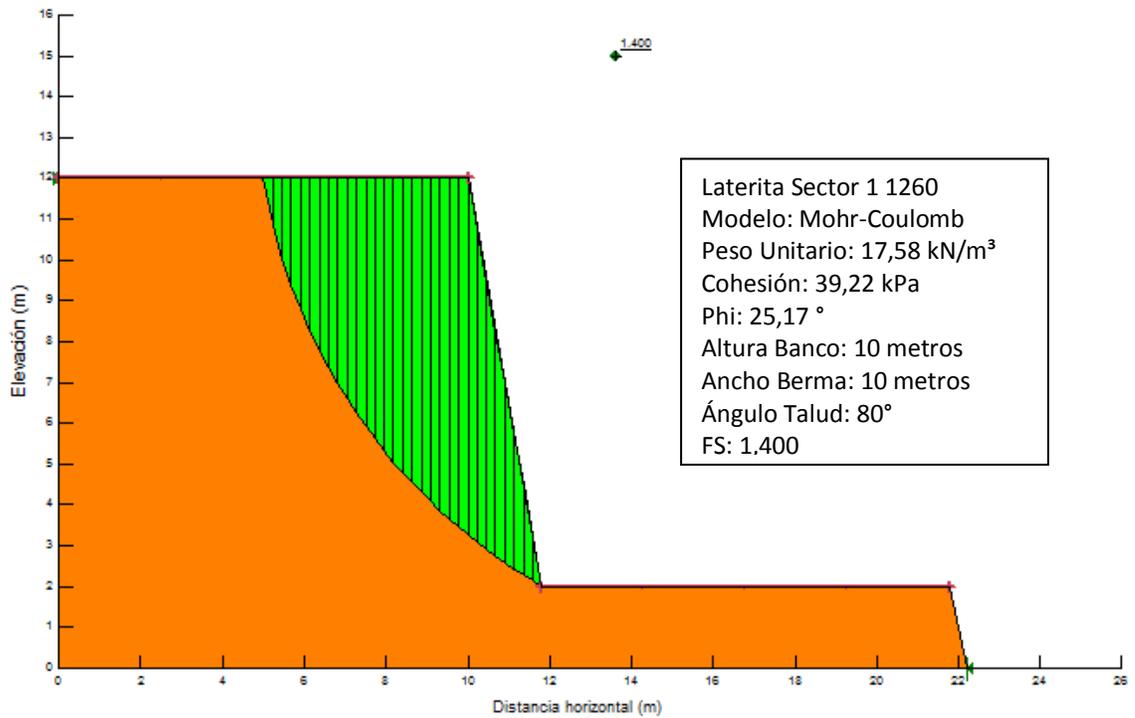
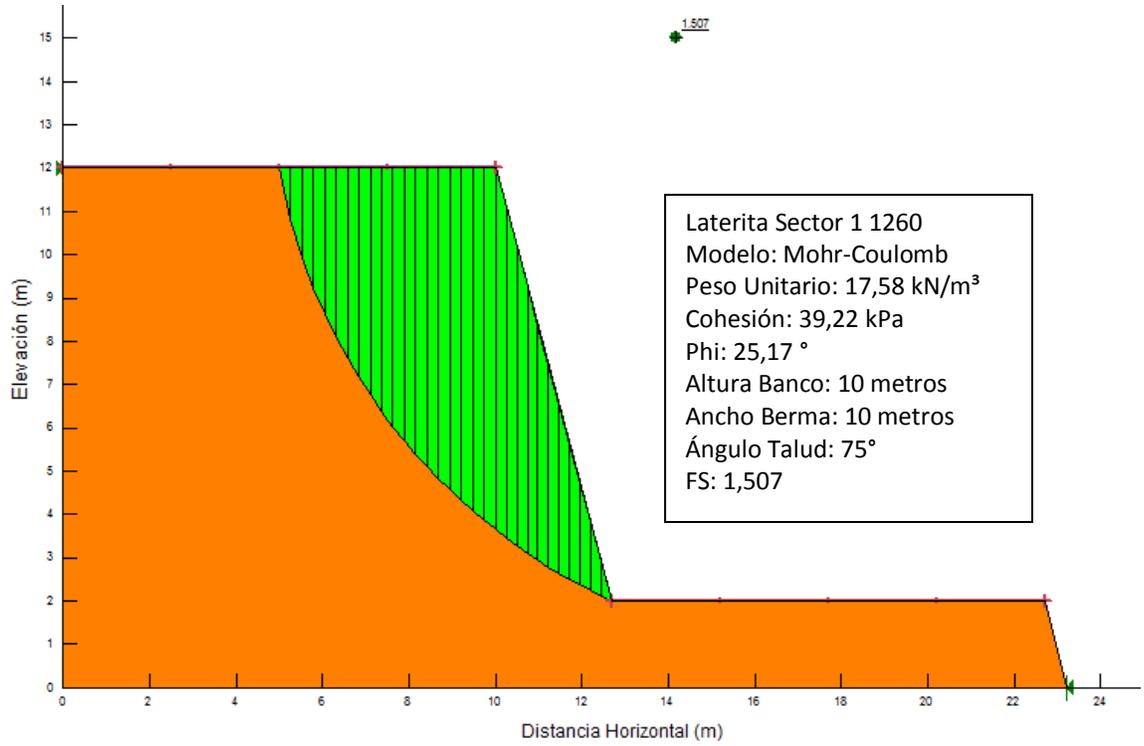


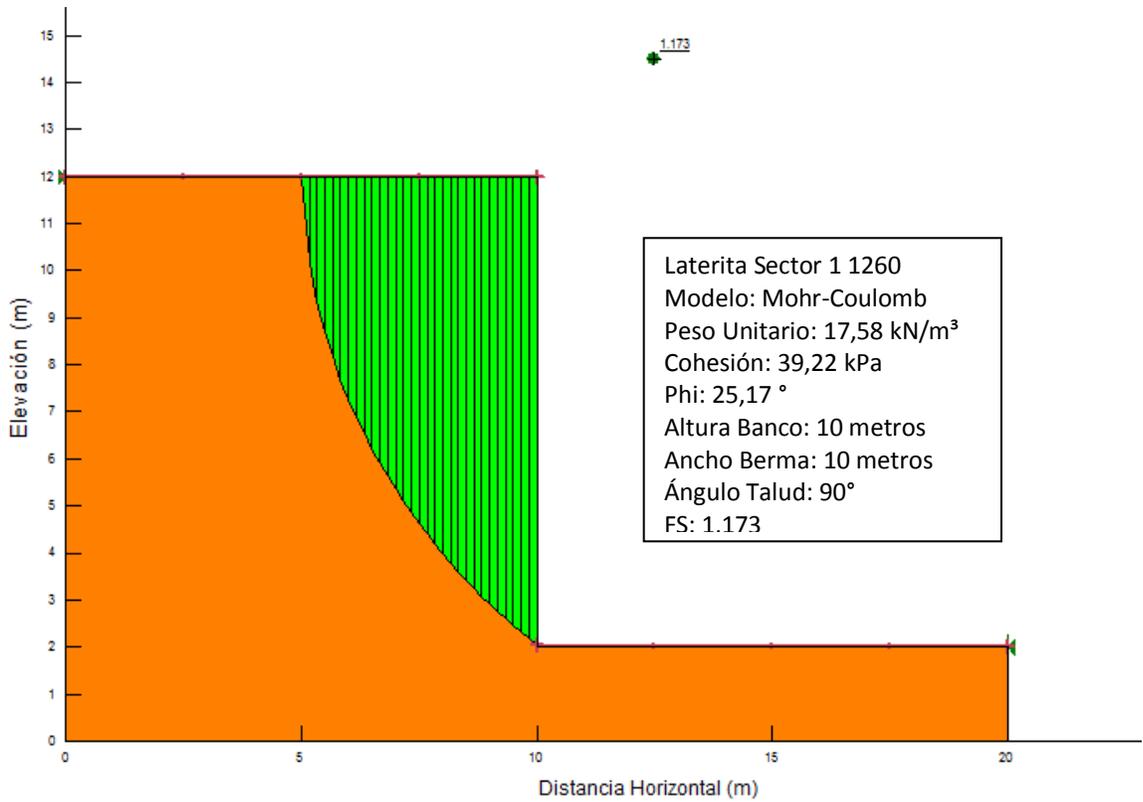
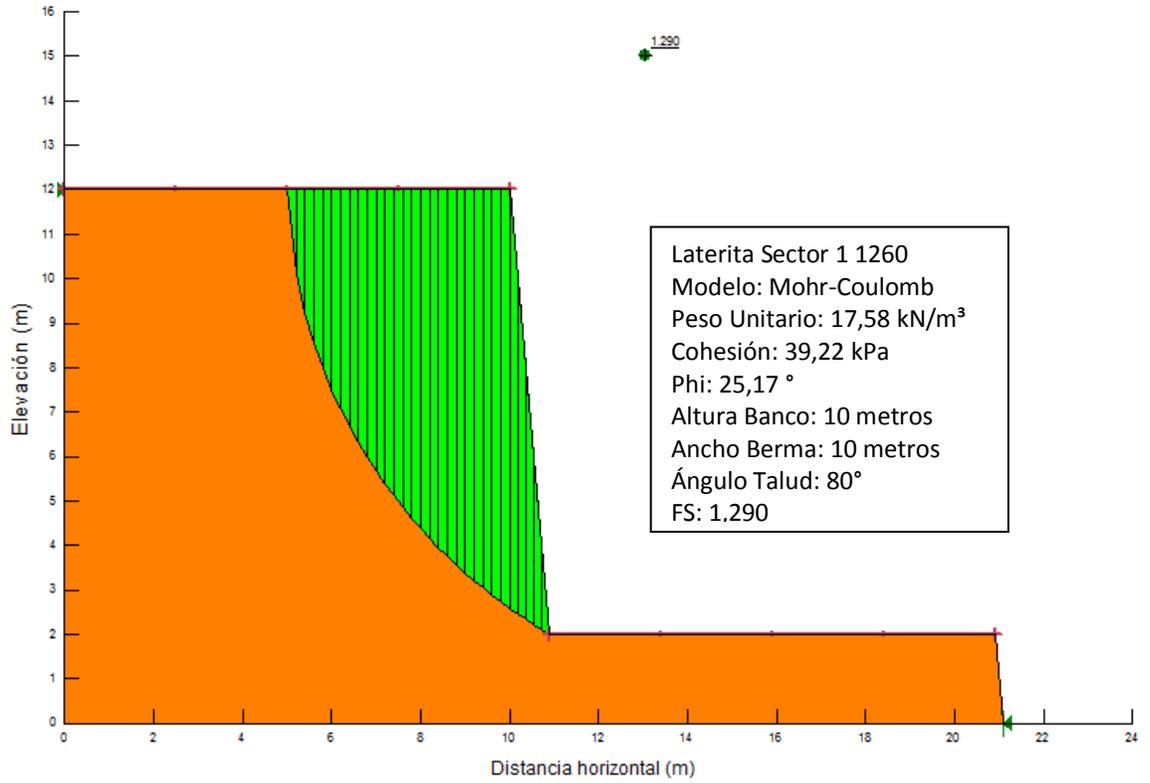
Laterita Sector 1 1260  
 Modelo: Mohr-Coulomb  
 Peso Unitario: 17,58 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesión: 39,22 kPa  
 Phi: 25,17 °  
 Altura Banco: 5 metros  
 Ancho Berma: 5 metros  
 Ángulo Talud: 85°  
 FS: 1,265

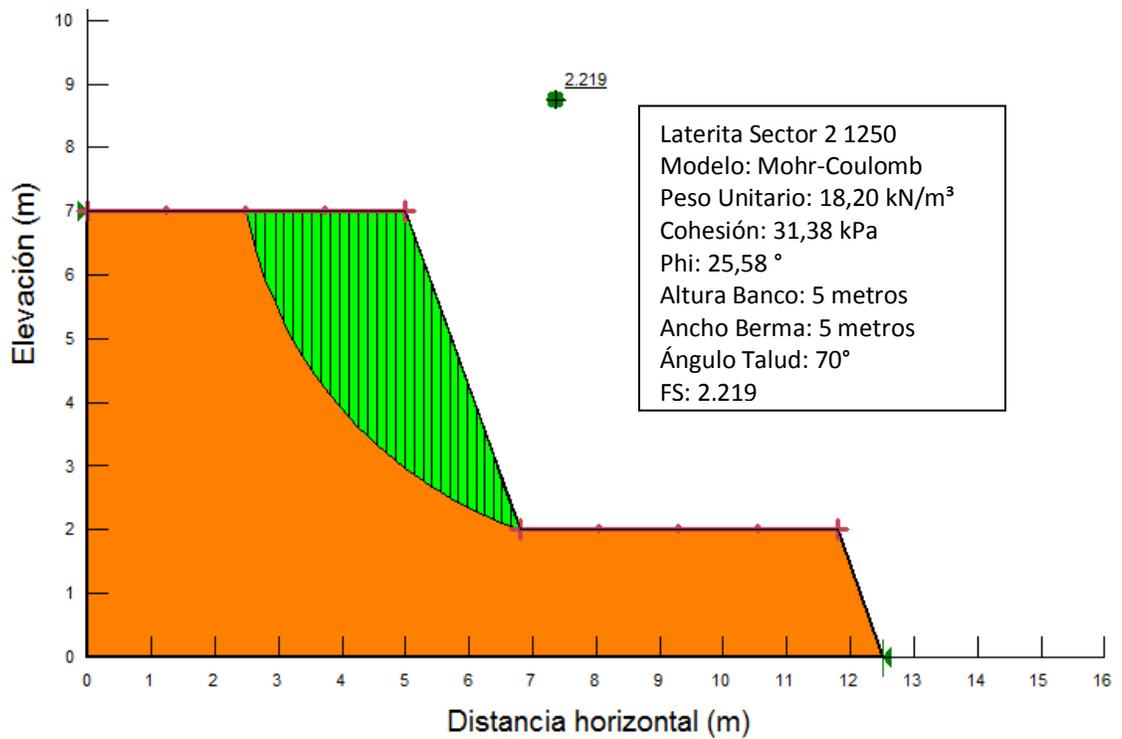
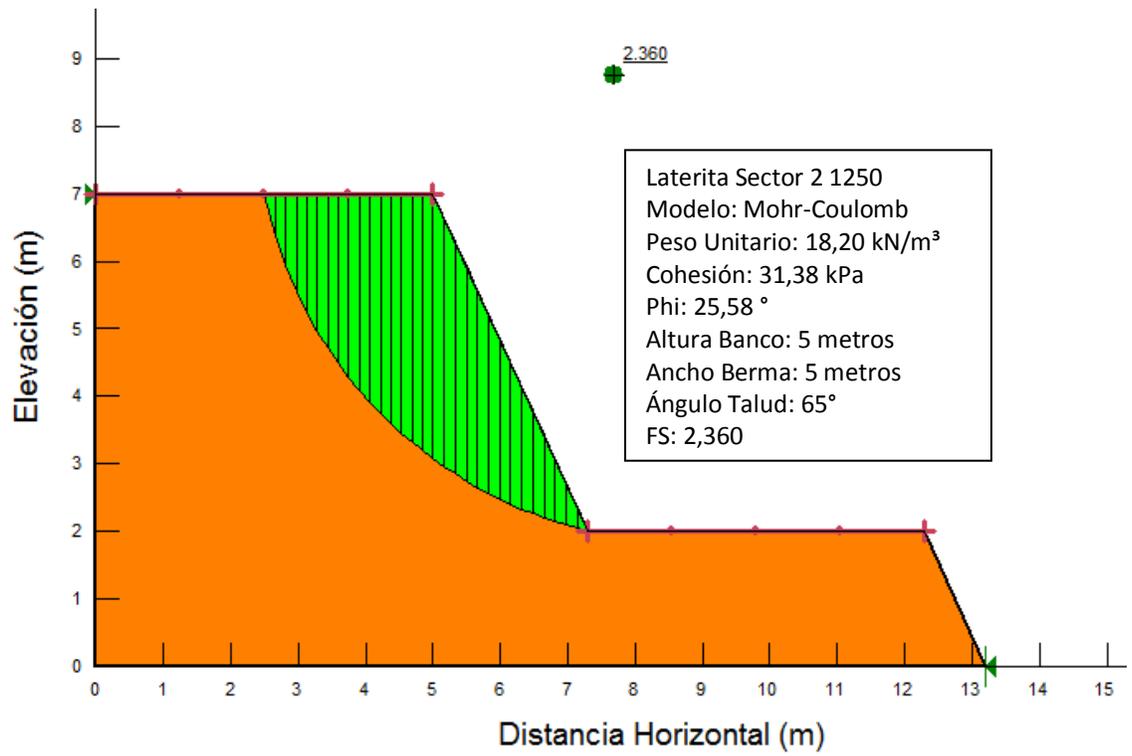


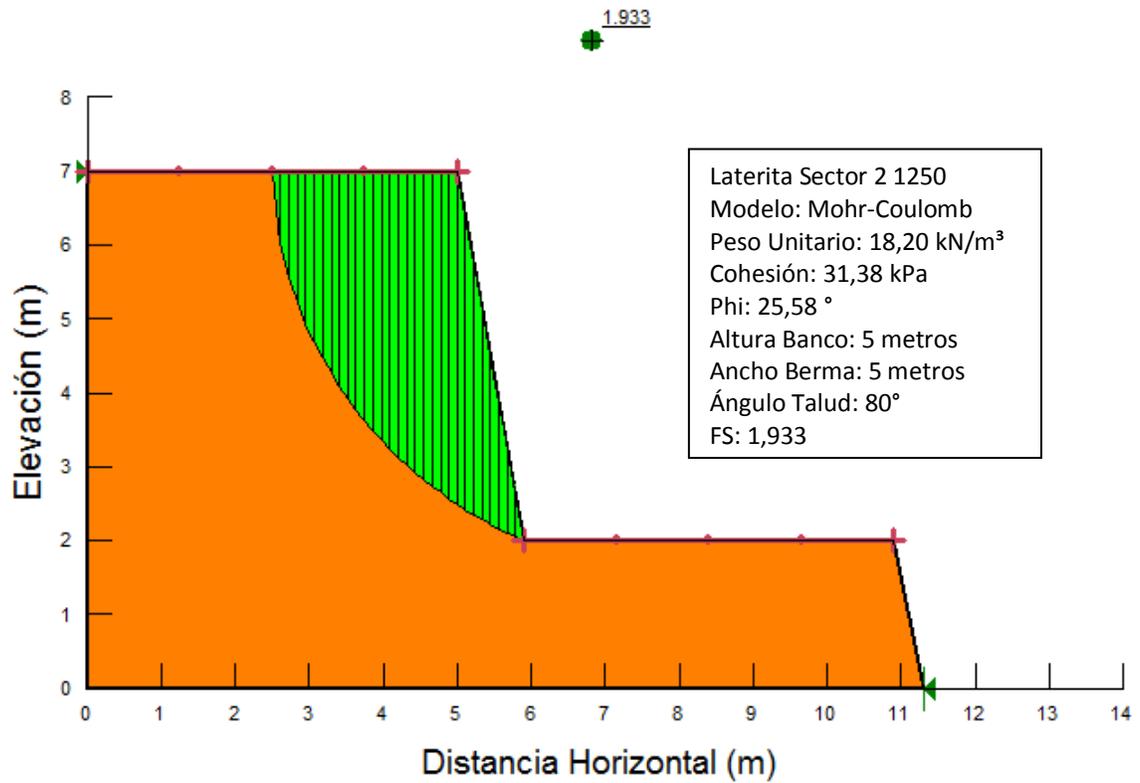
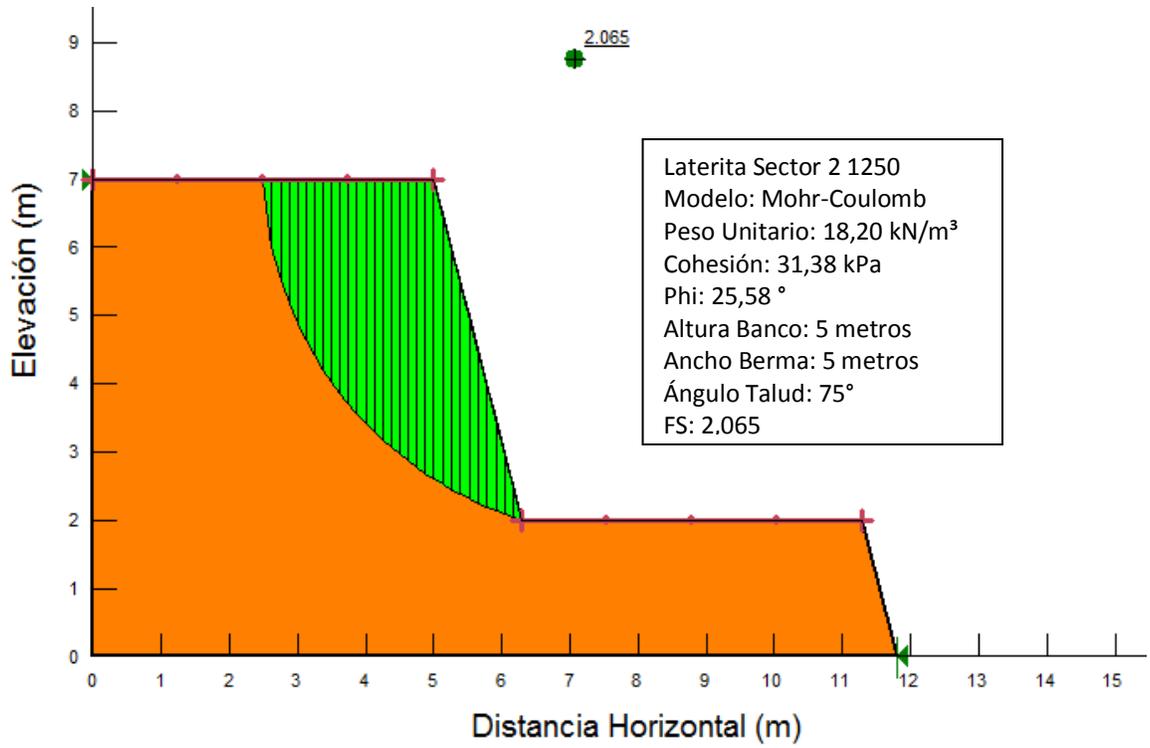
Laterita Sector 1 1260  
 Modelo: Mohr-Coulomb  
 Peso Unitario: 17,58 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesión: 39,22 kPa  
 Phi: 25,17 °  
 Altura Banco: 10 metros  
 Ancho Berma: 5 metros  
 Ángulo Talud: 90°  
 FS: 1,155

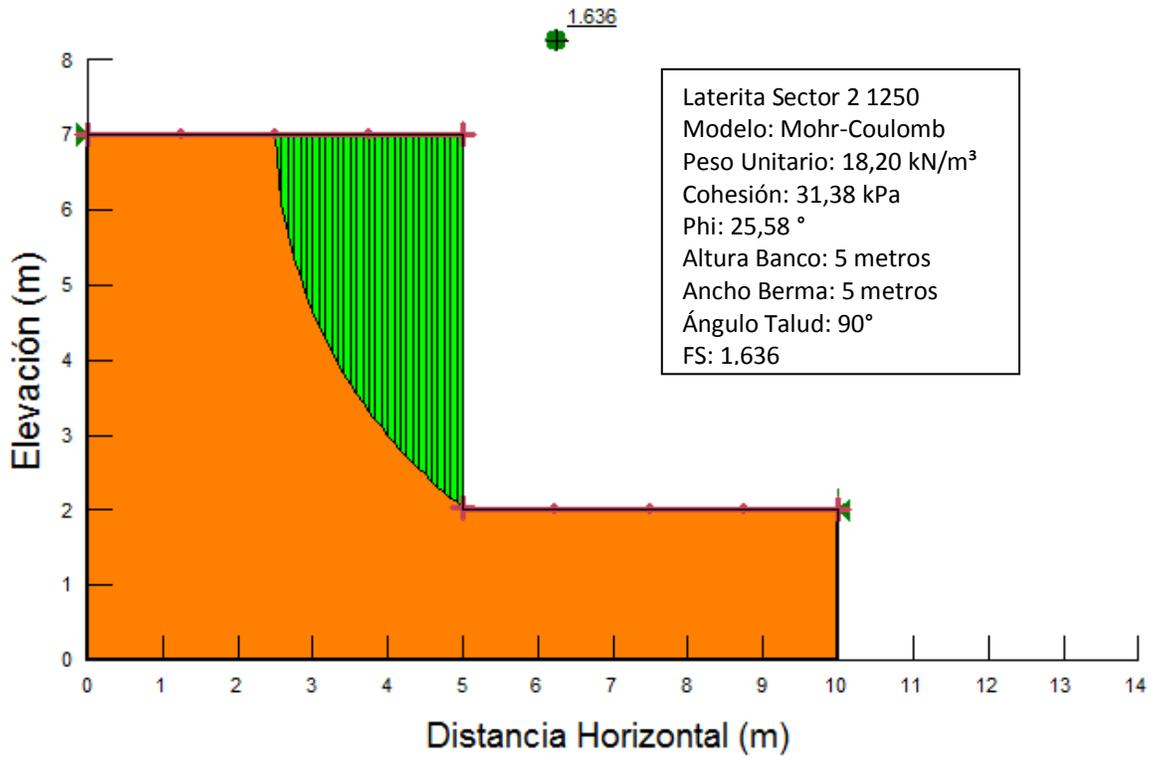
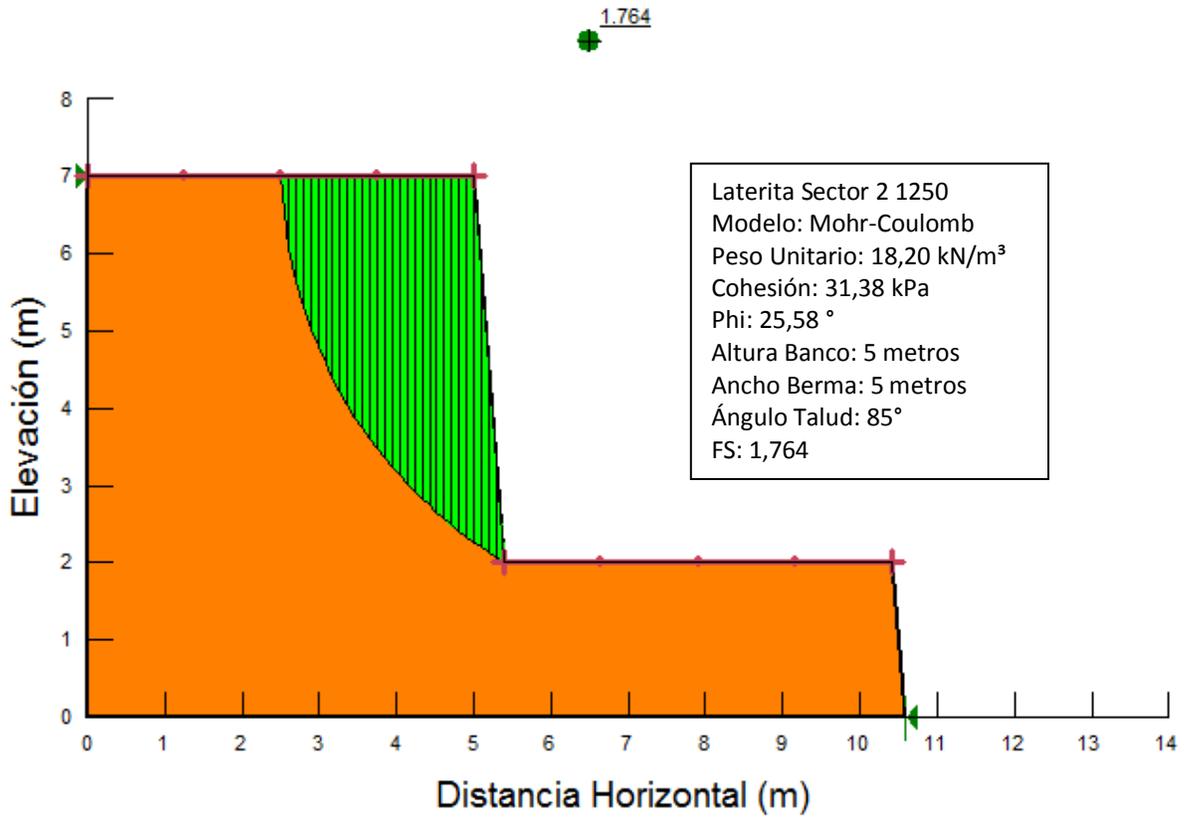


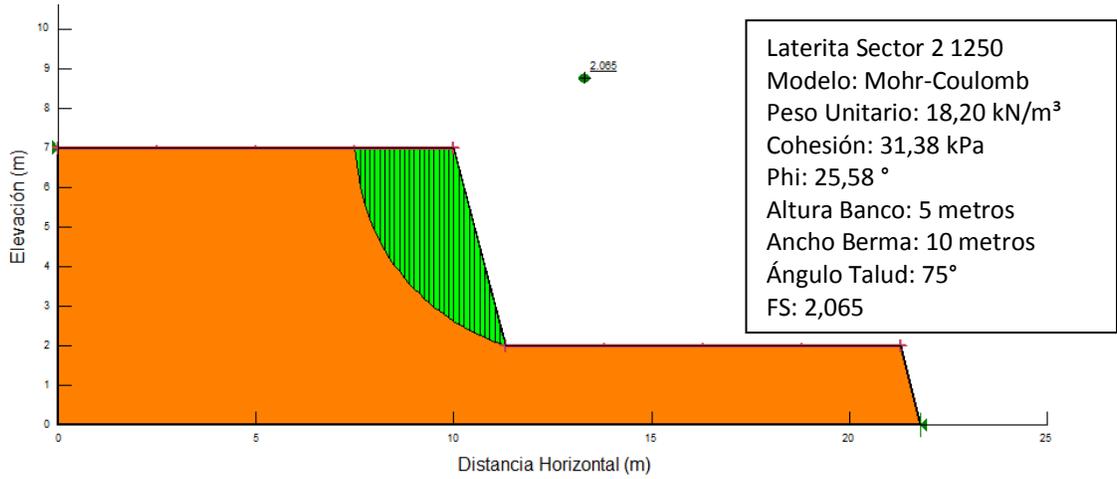
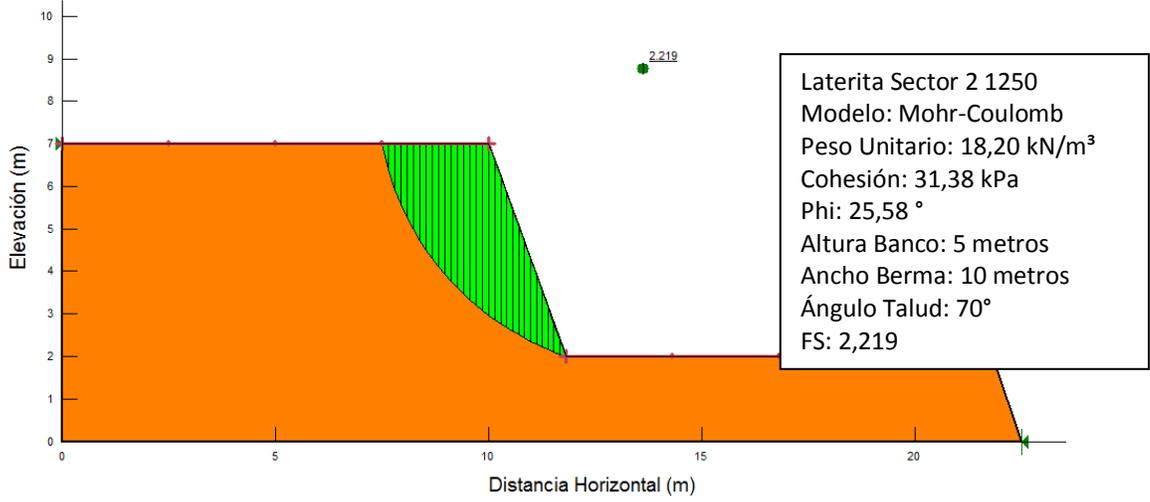
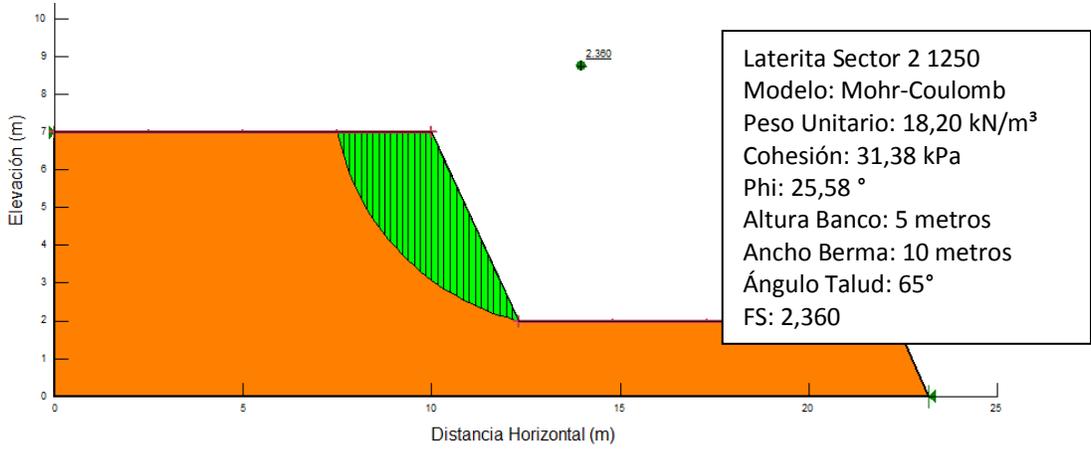


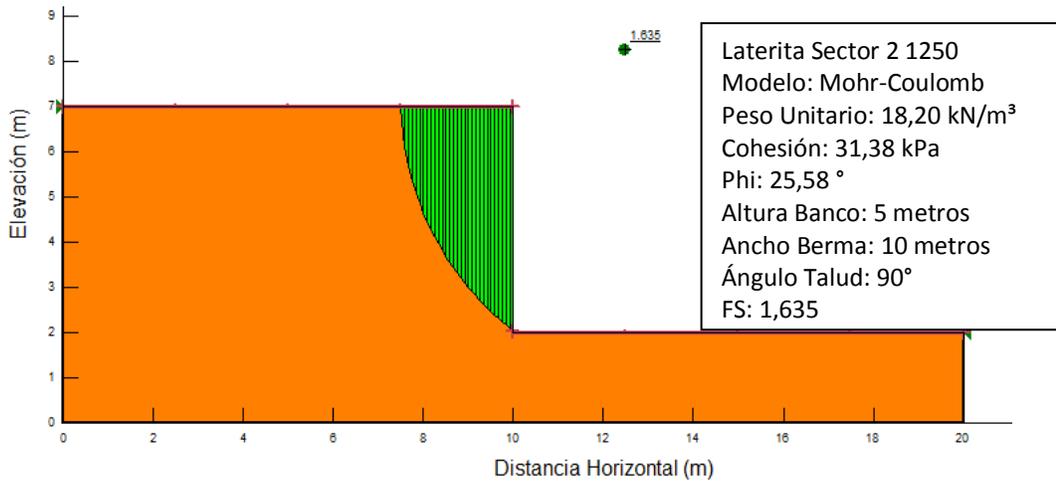
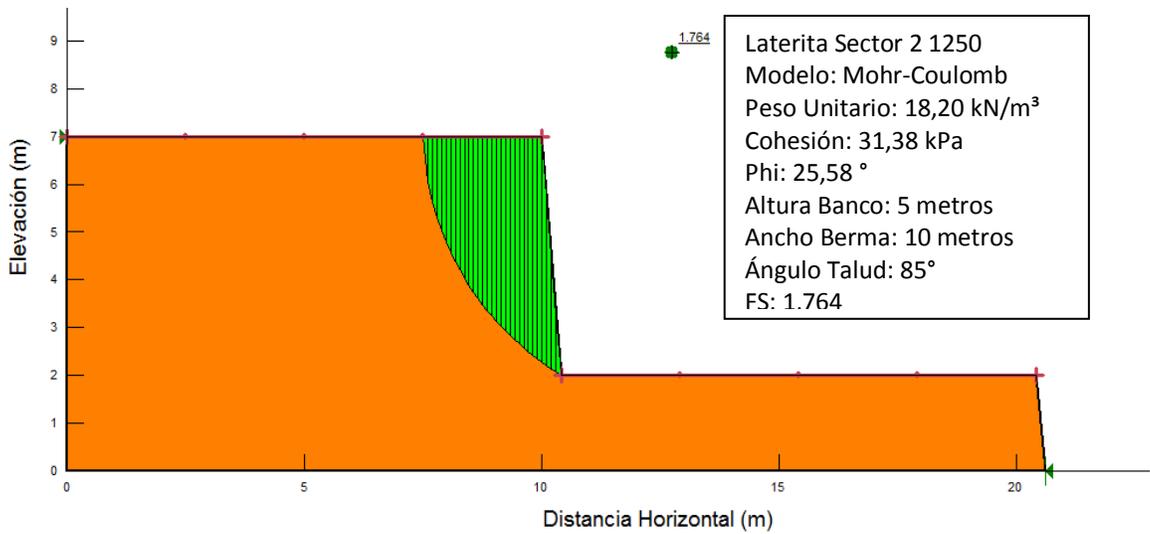
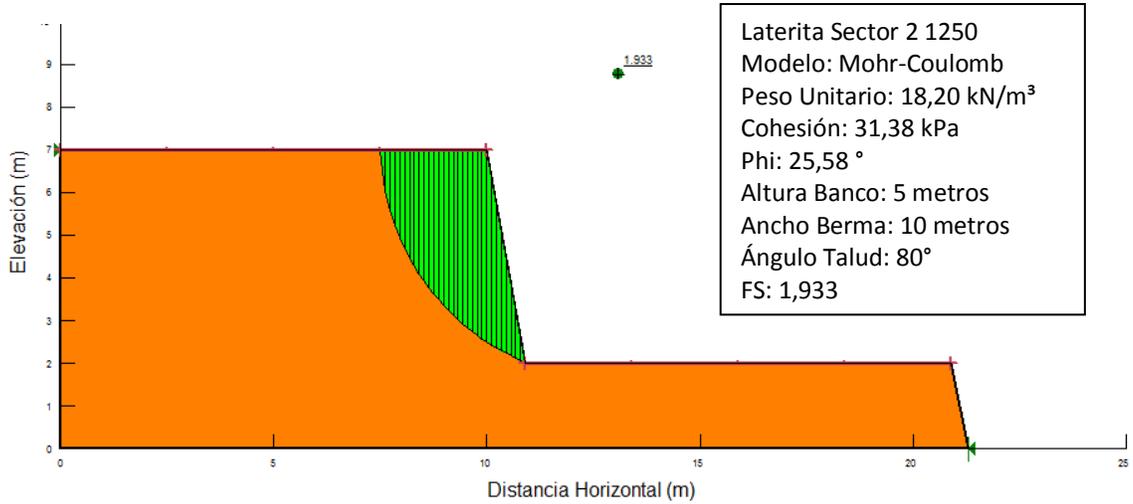


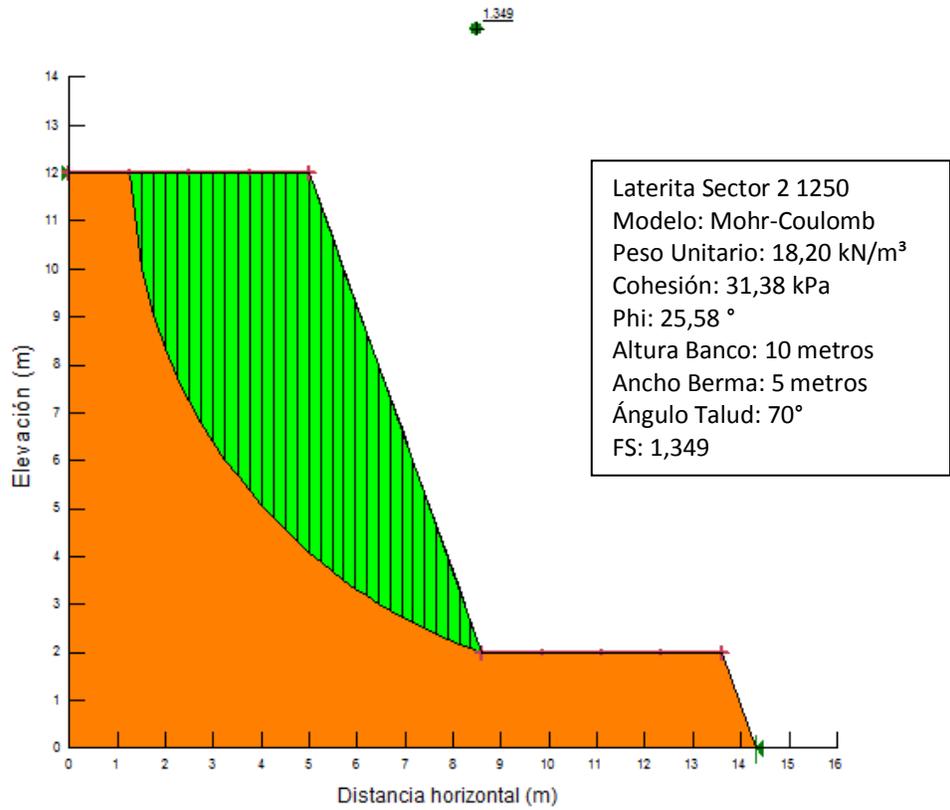
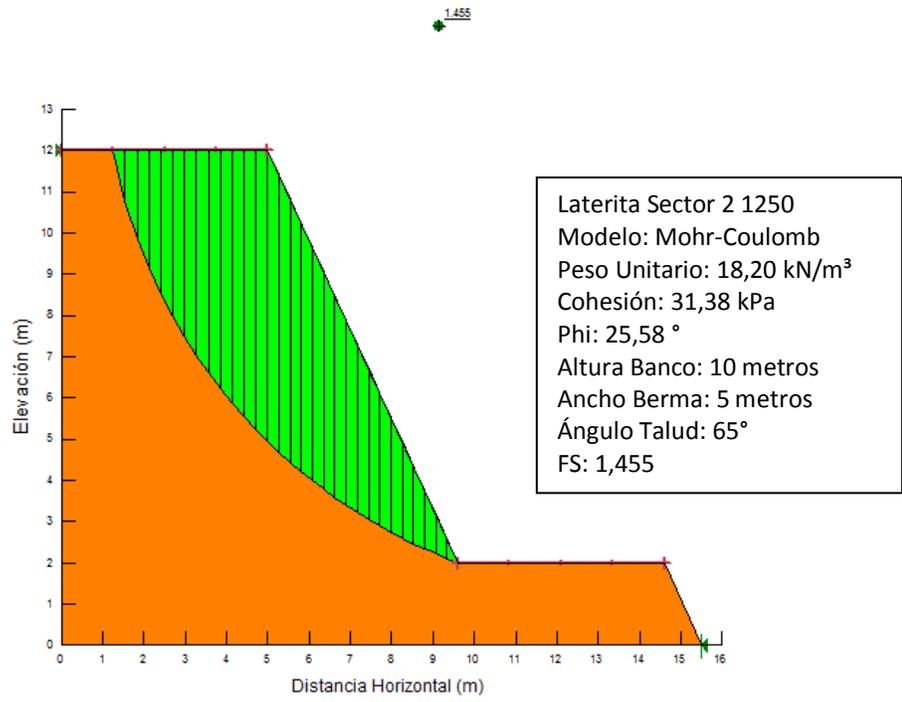


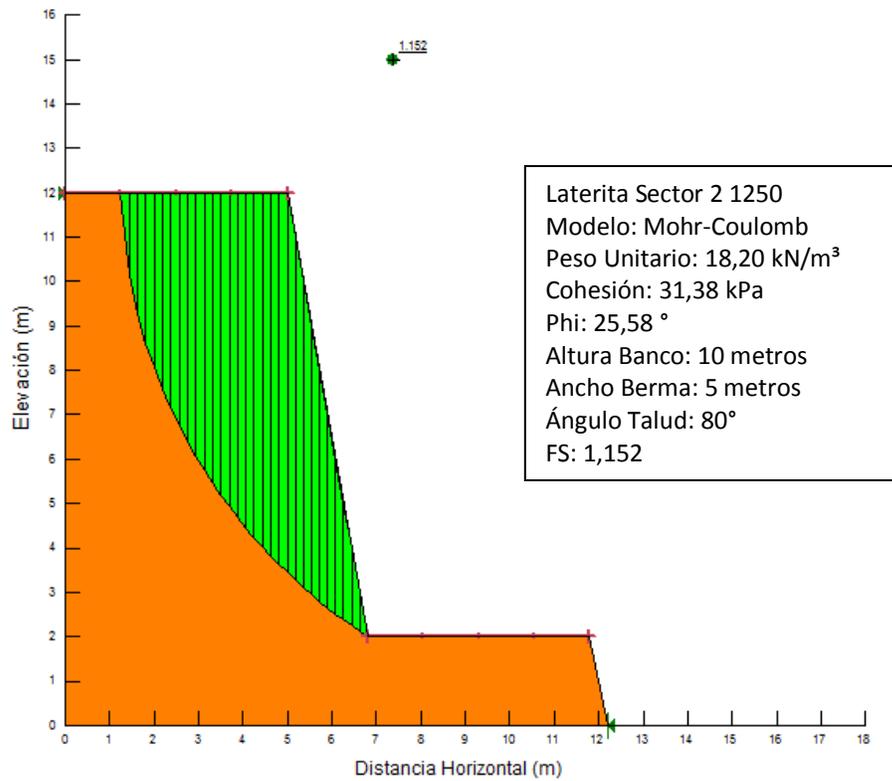
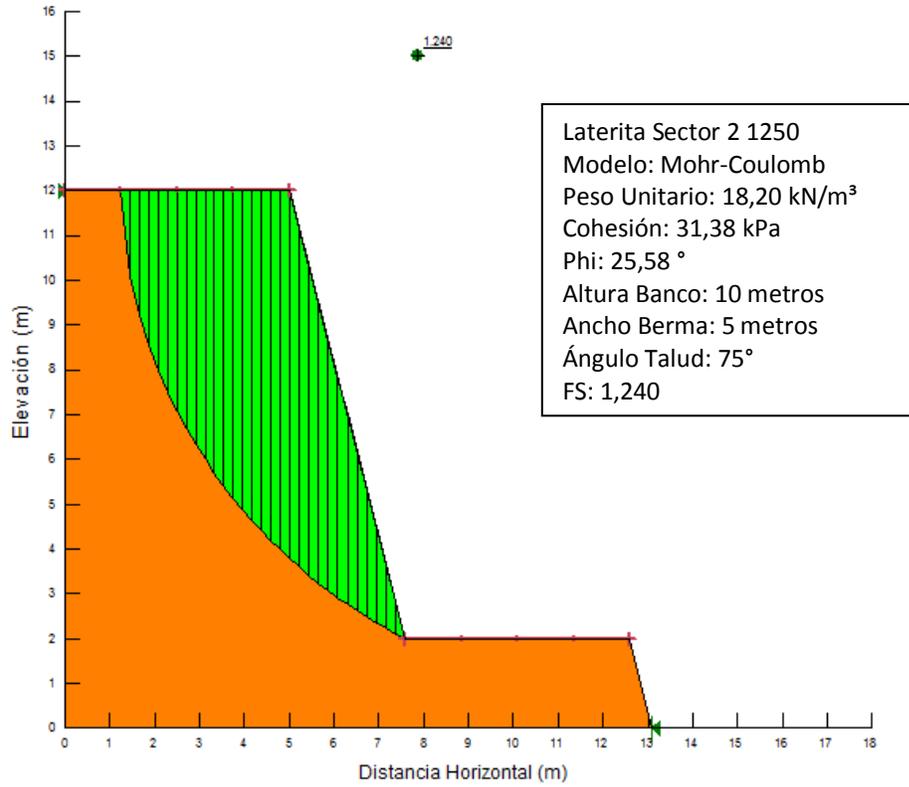


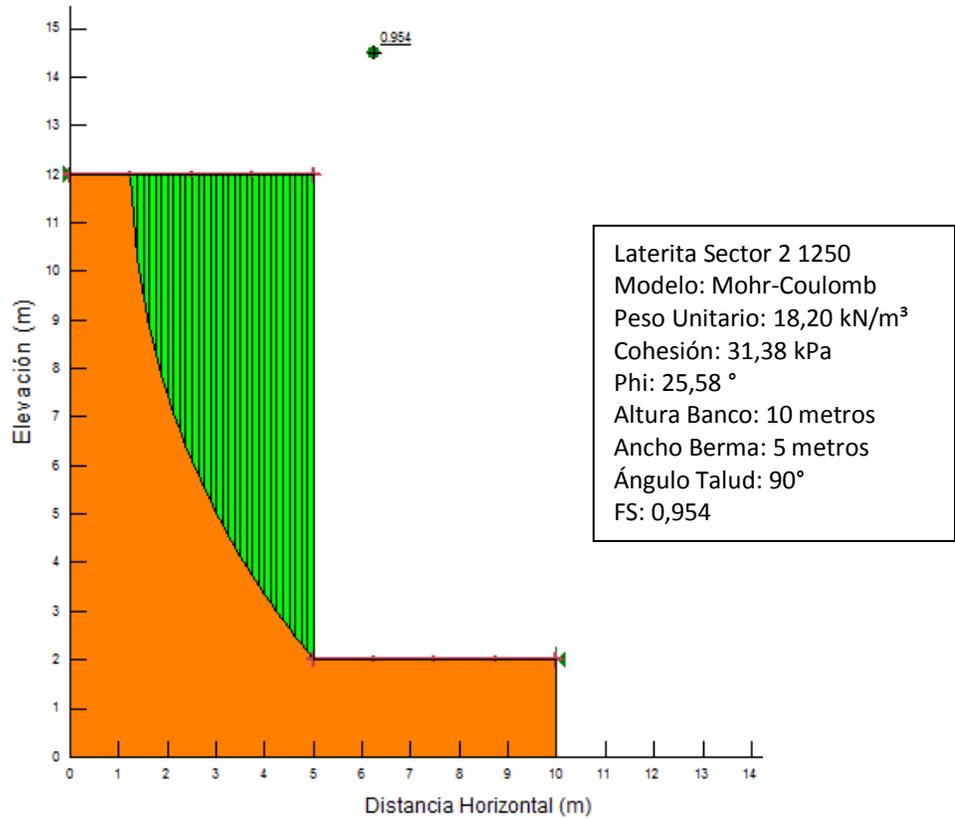
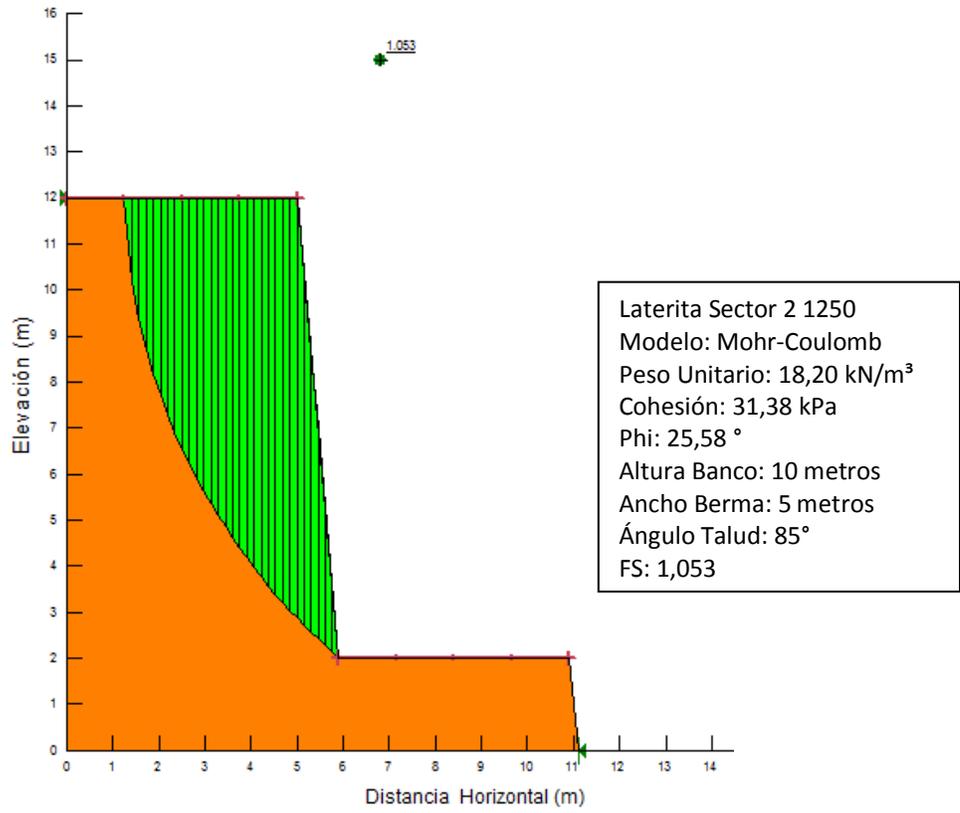


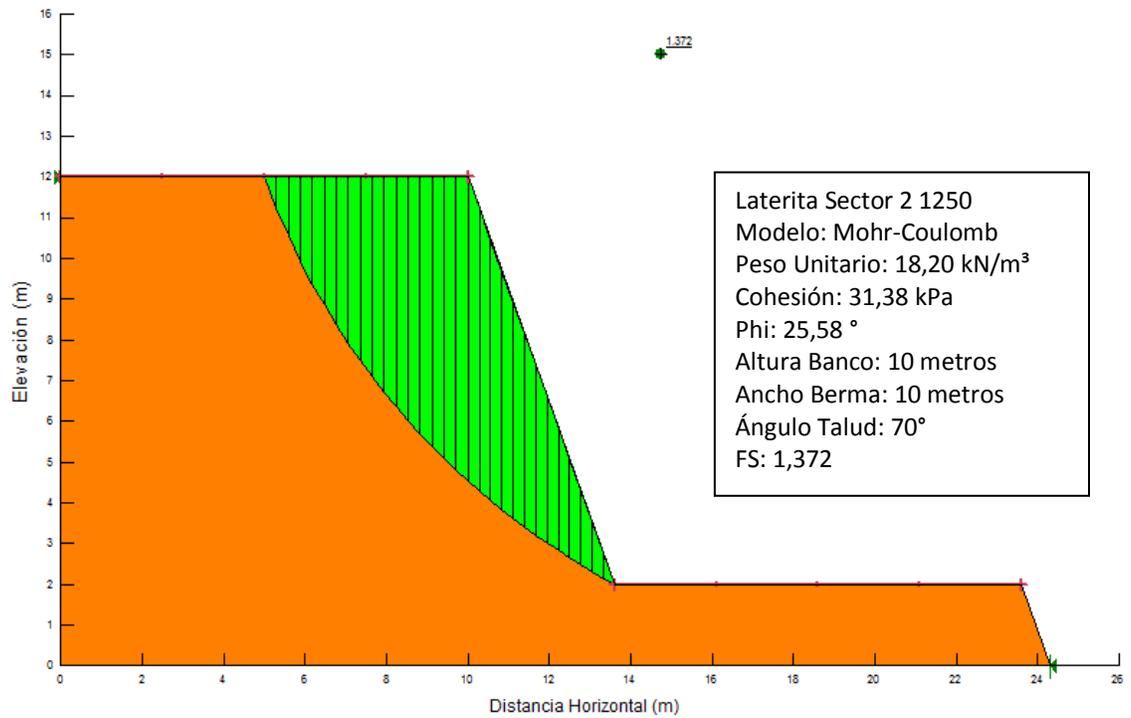
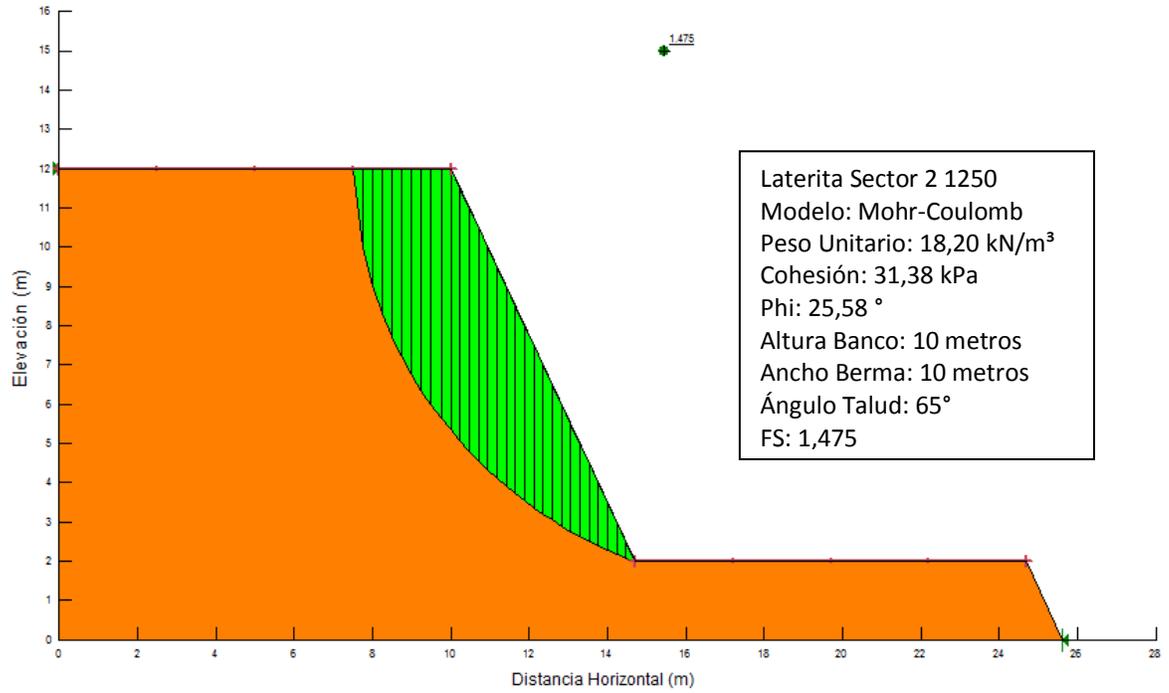


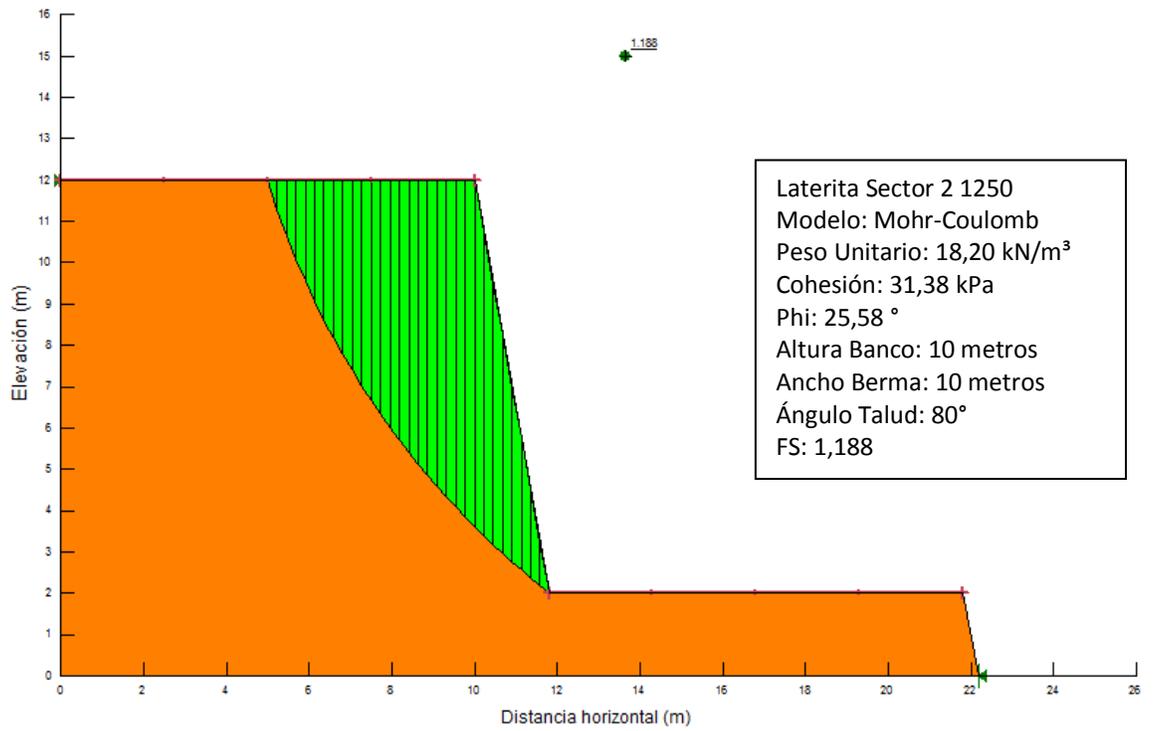
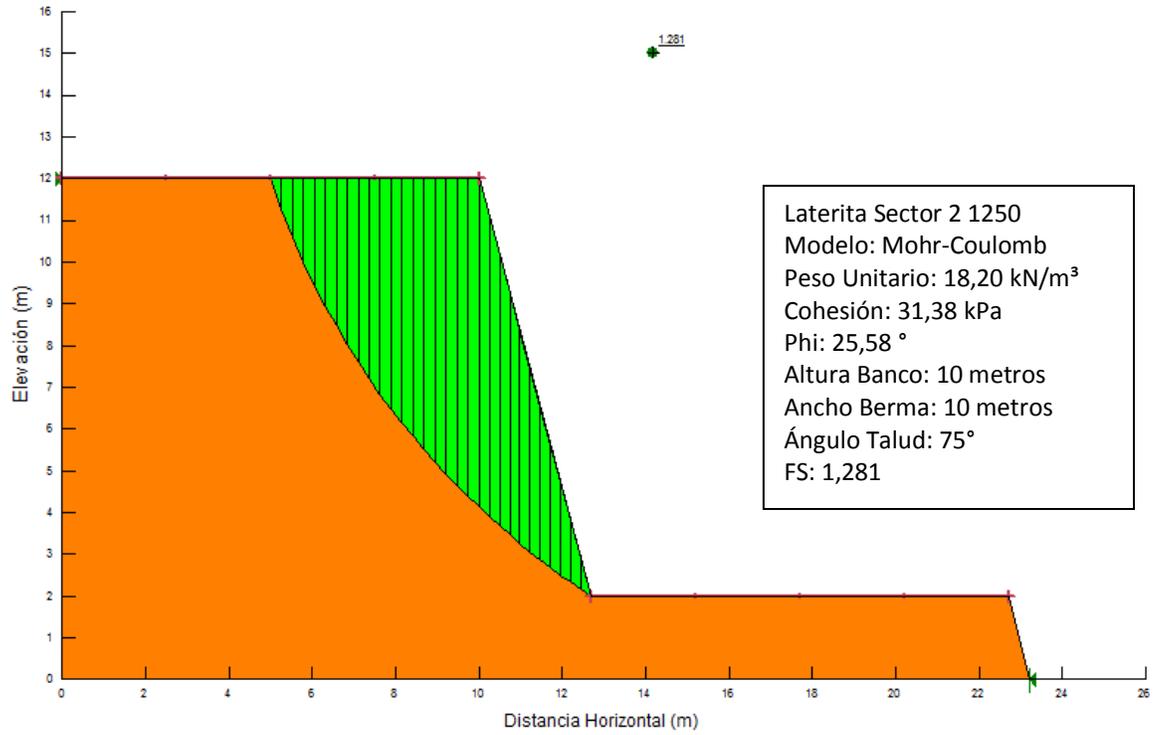


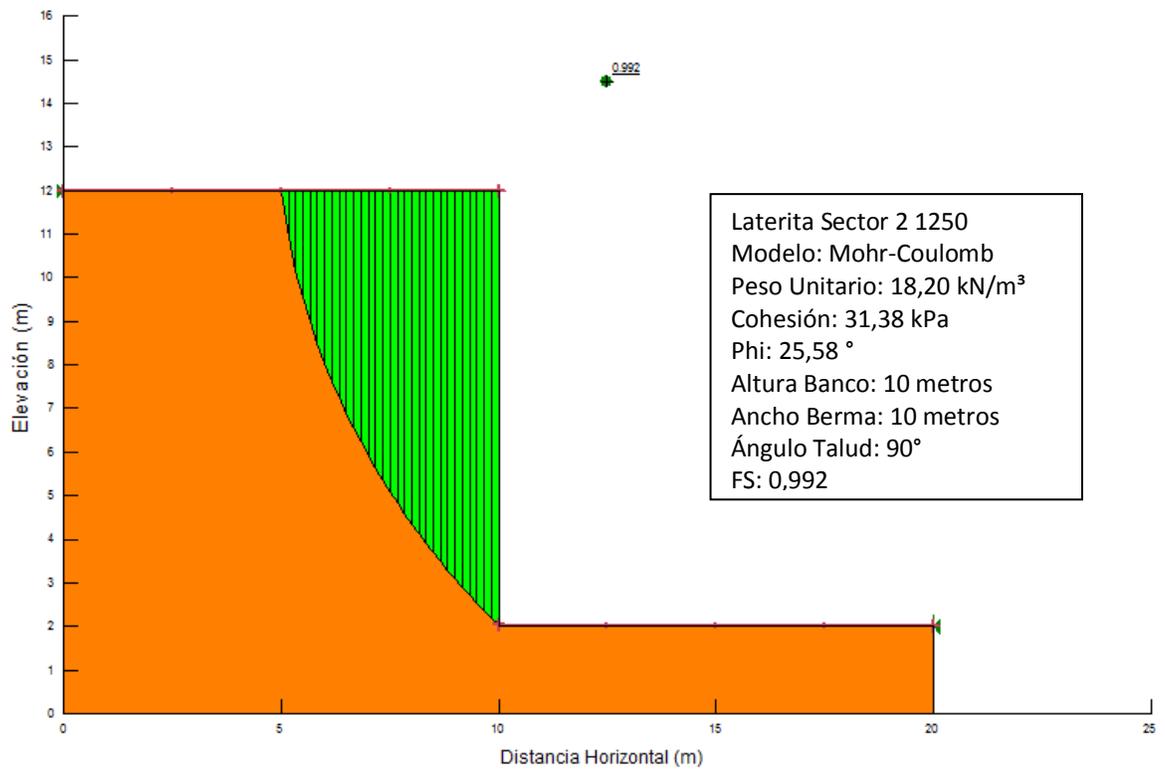
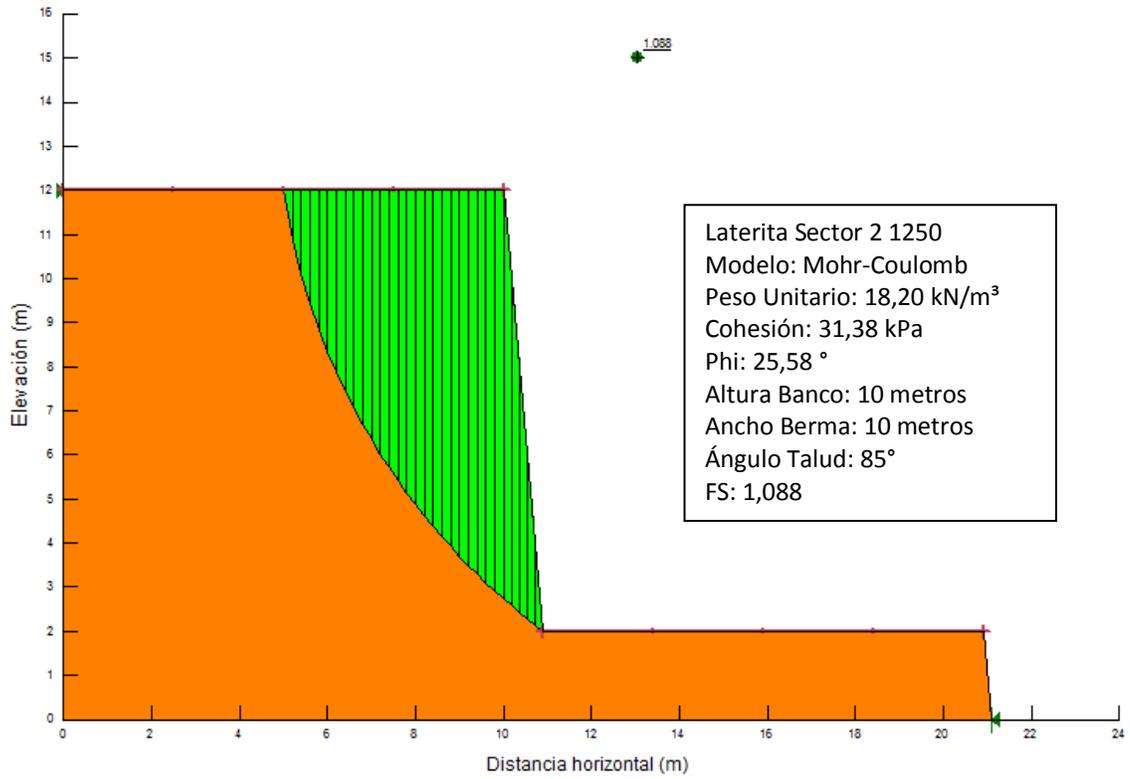


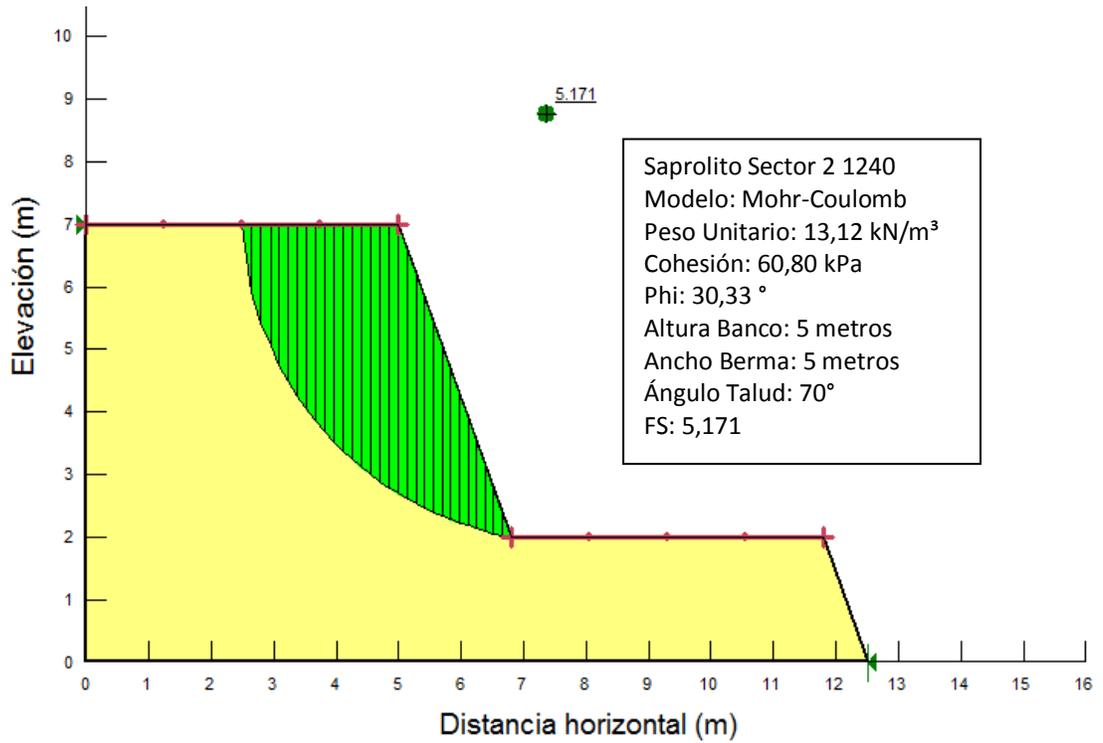
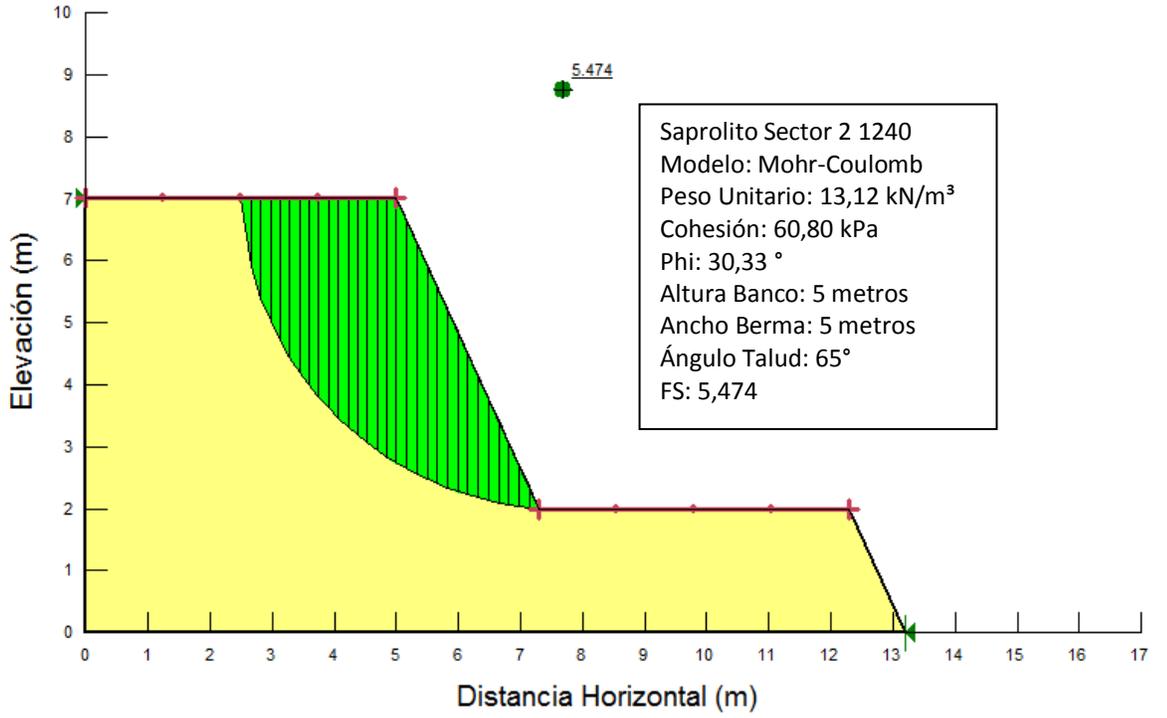


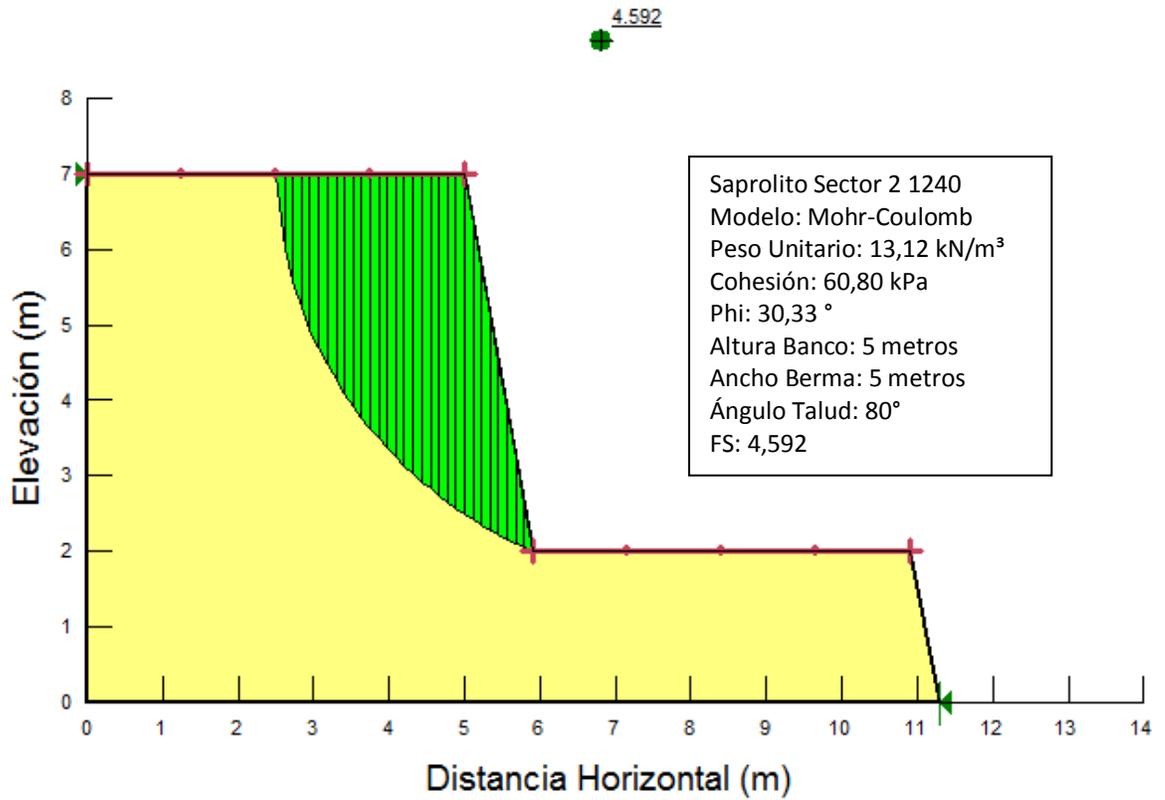
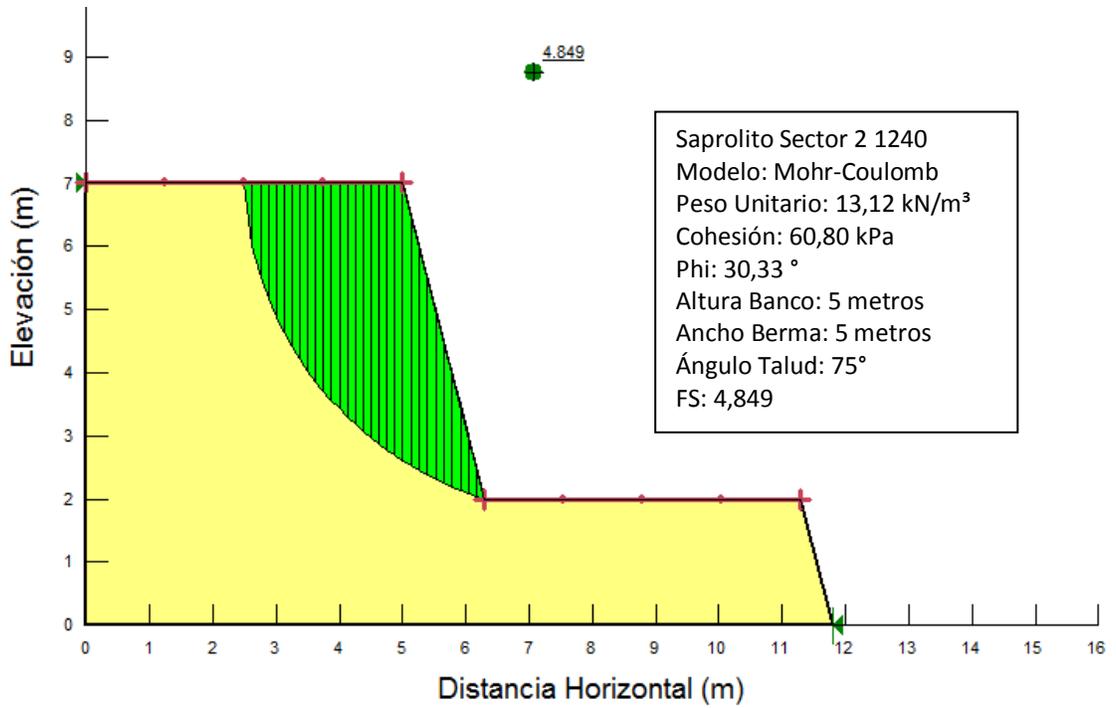


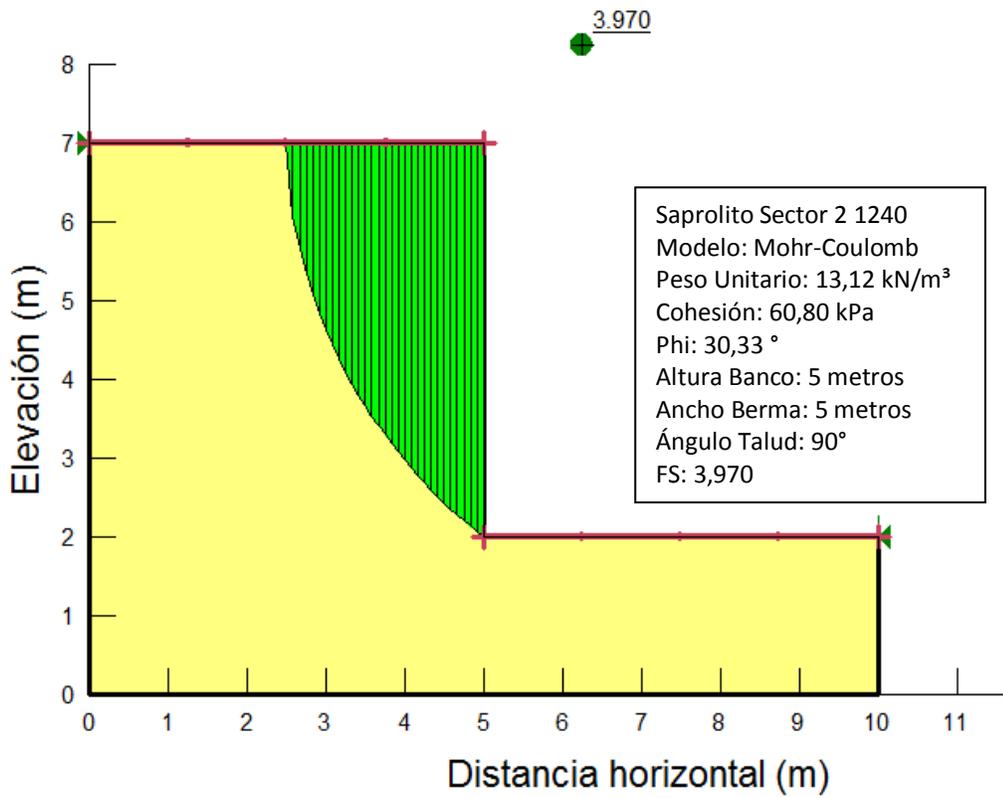
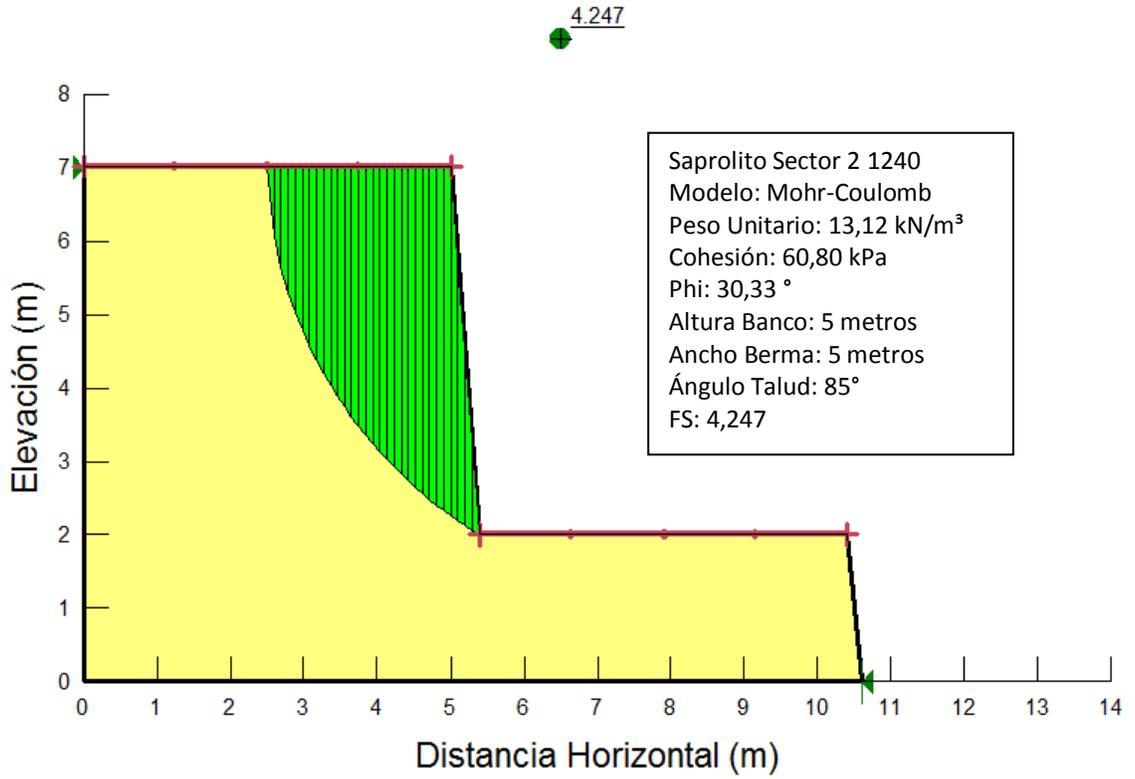


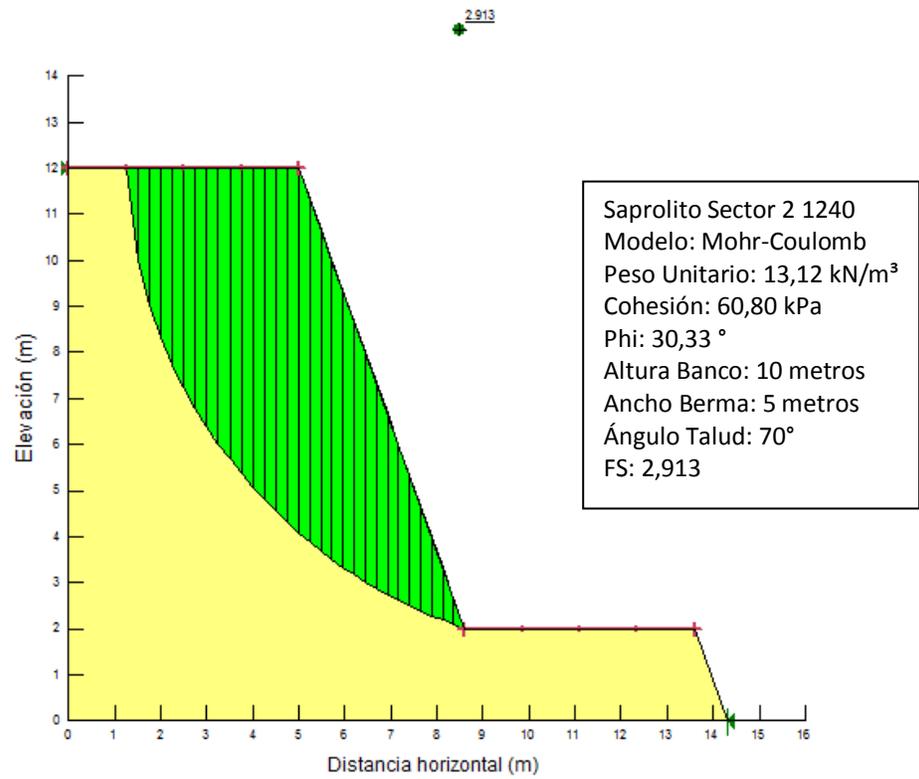
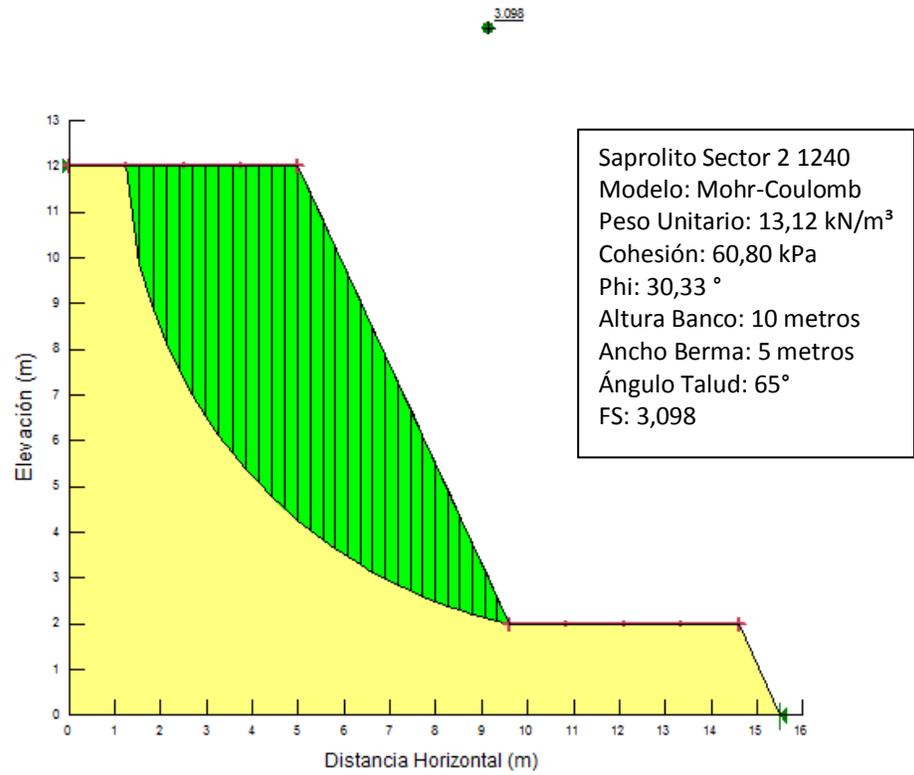


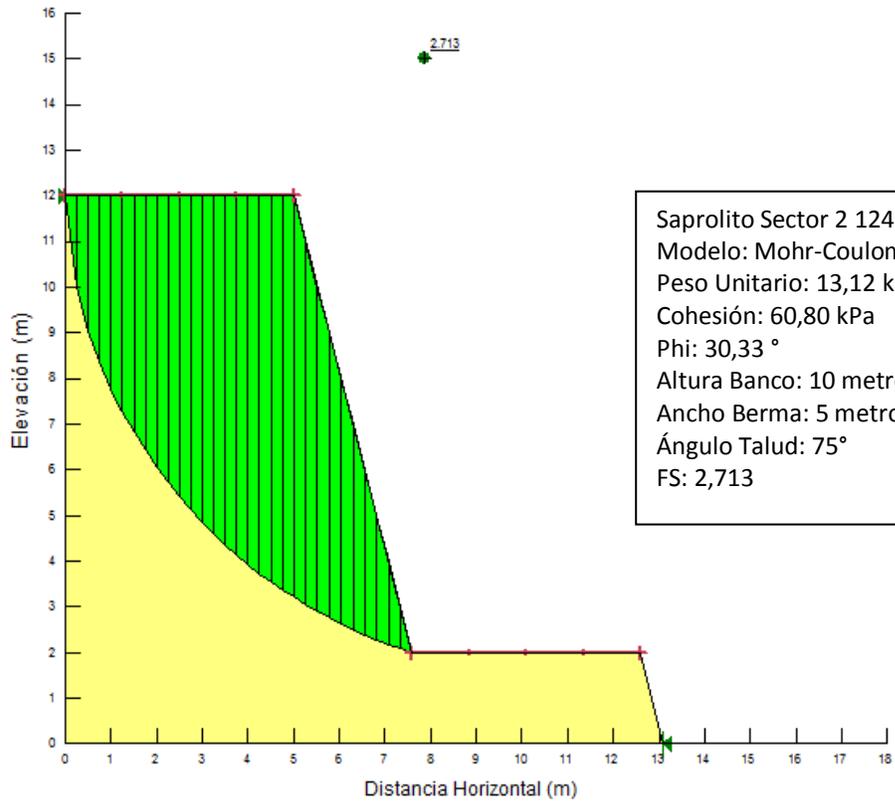




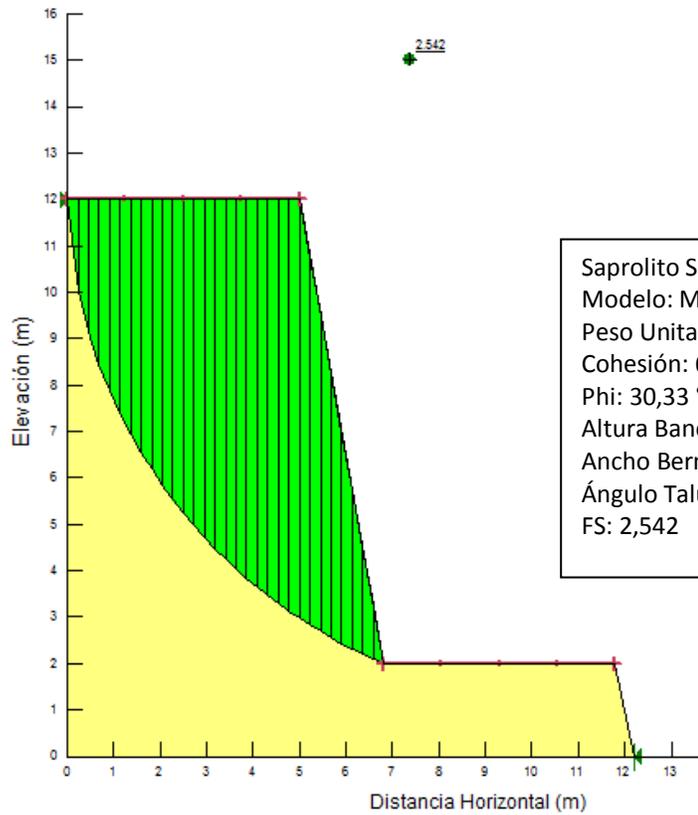




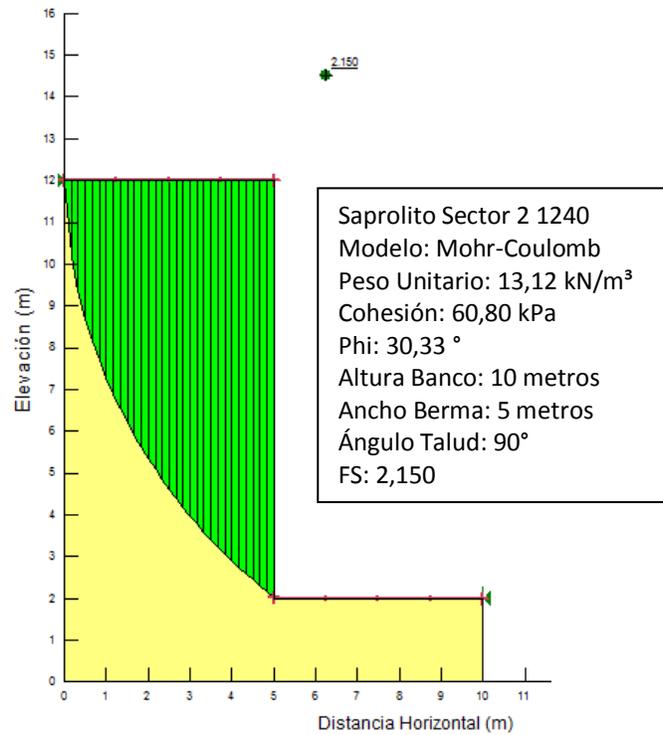
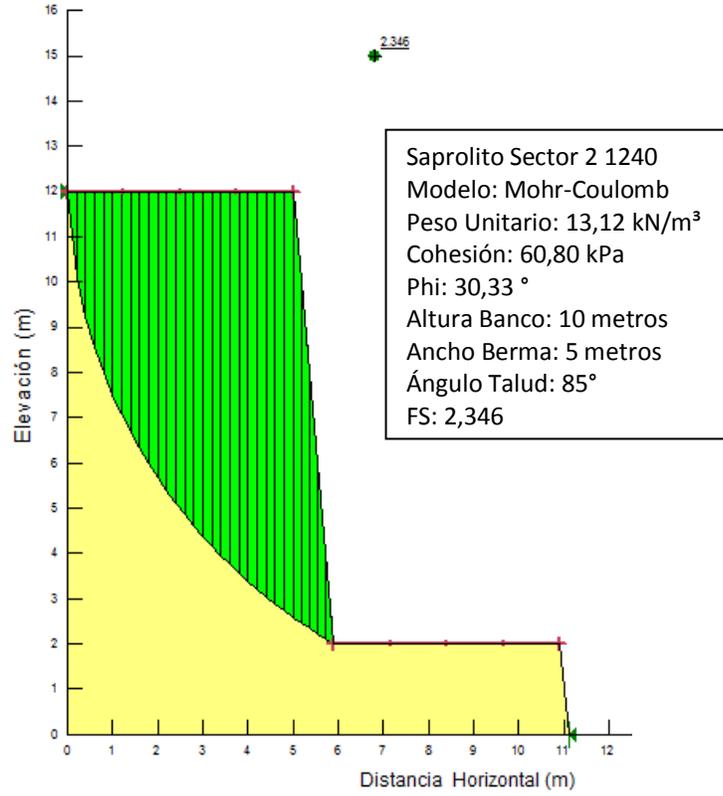


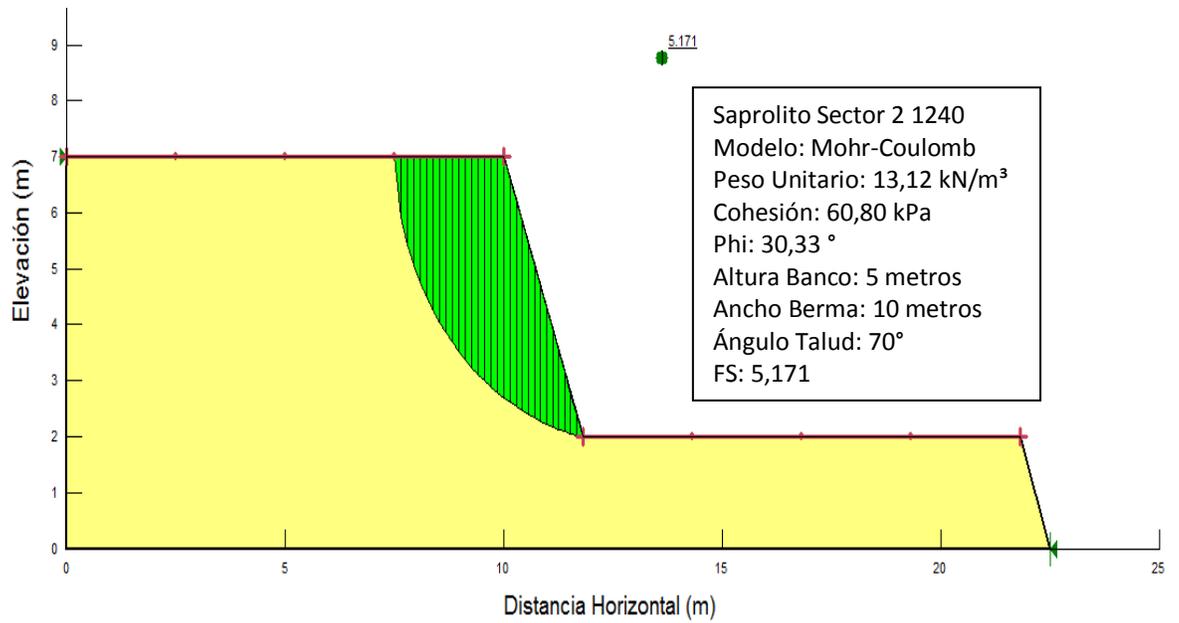
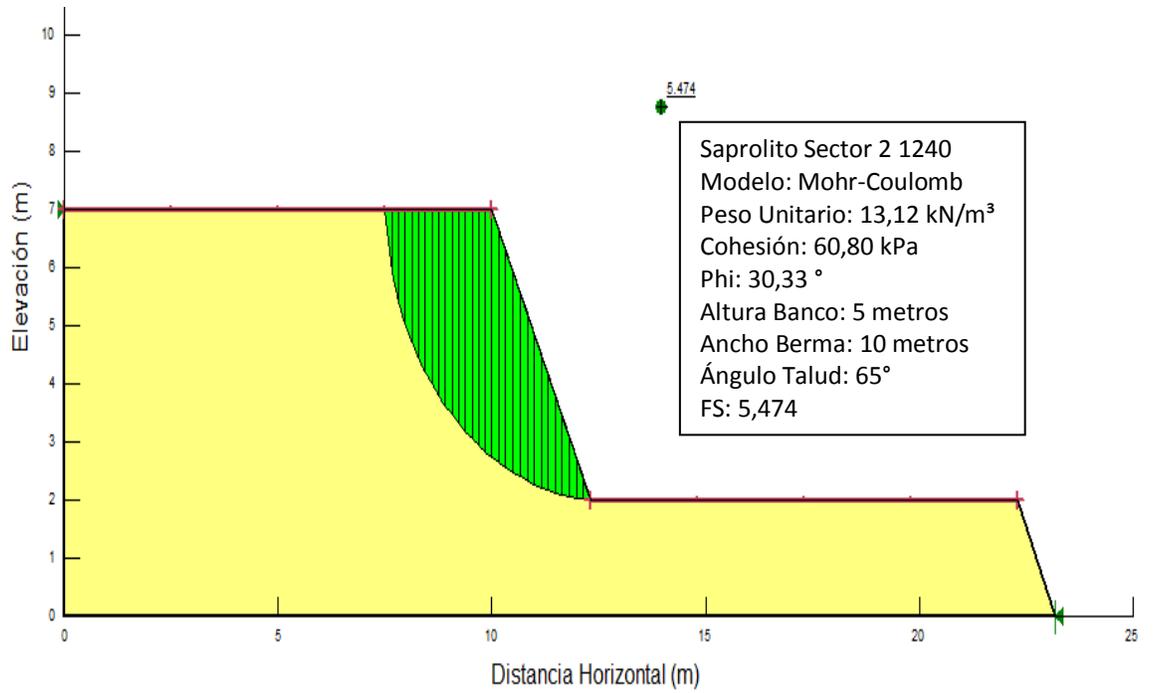


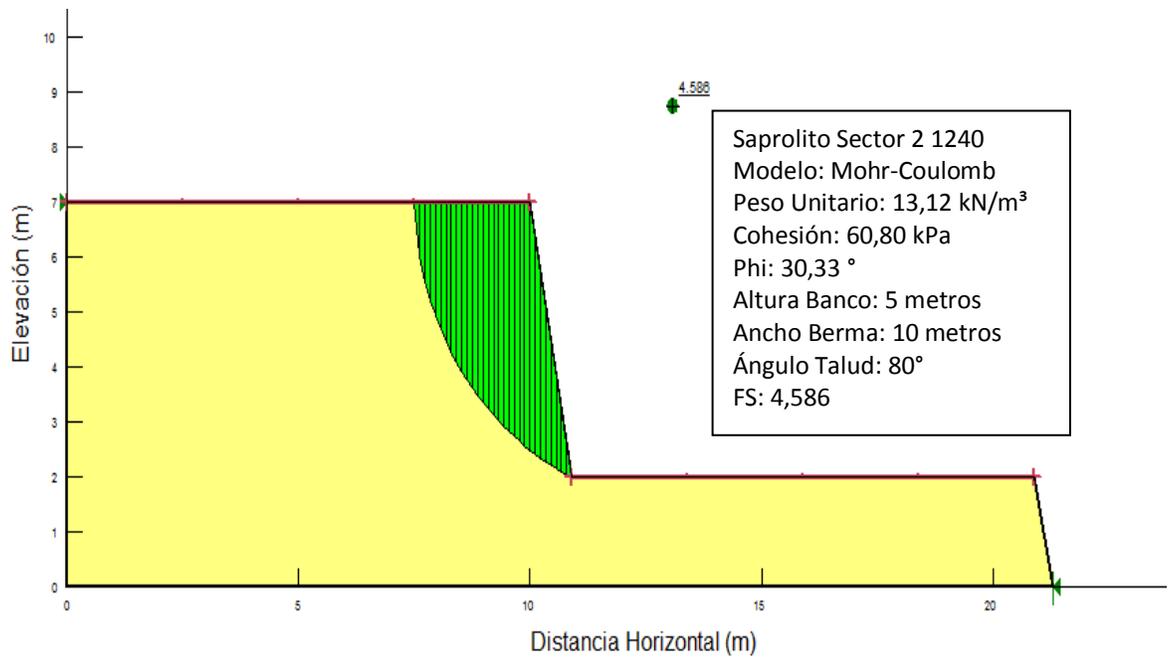
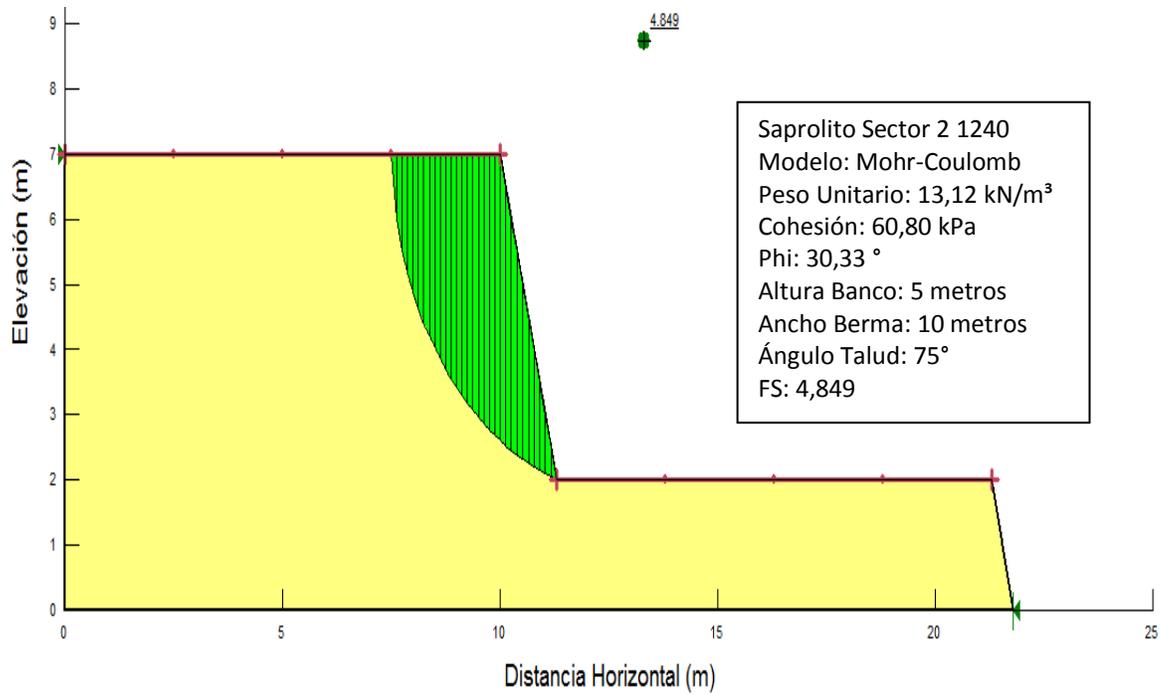
Sapolito Sector 2 1240  
 Modelo: Mohr-Coulomb  
 Peso Unitario: 13,12 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesión: 60,80 kPa  
 Phi: 30,33 °  
 Altura Banco: 10 metros  
 Ancho Berma: 5 metros  
 Ángulo Talud: 75°  
 FS: 2,713

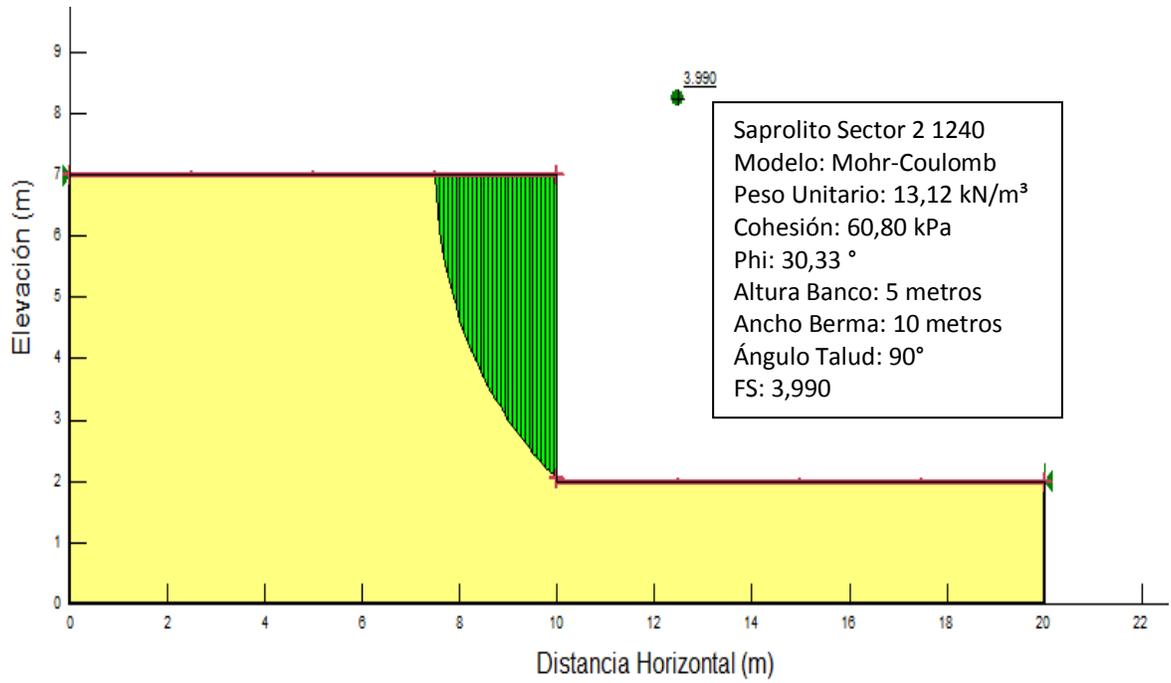
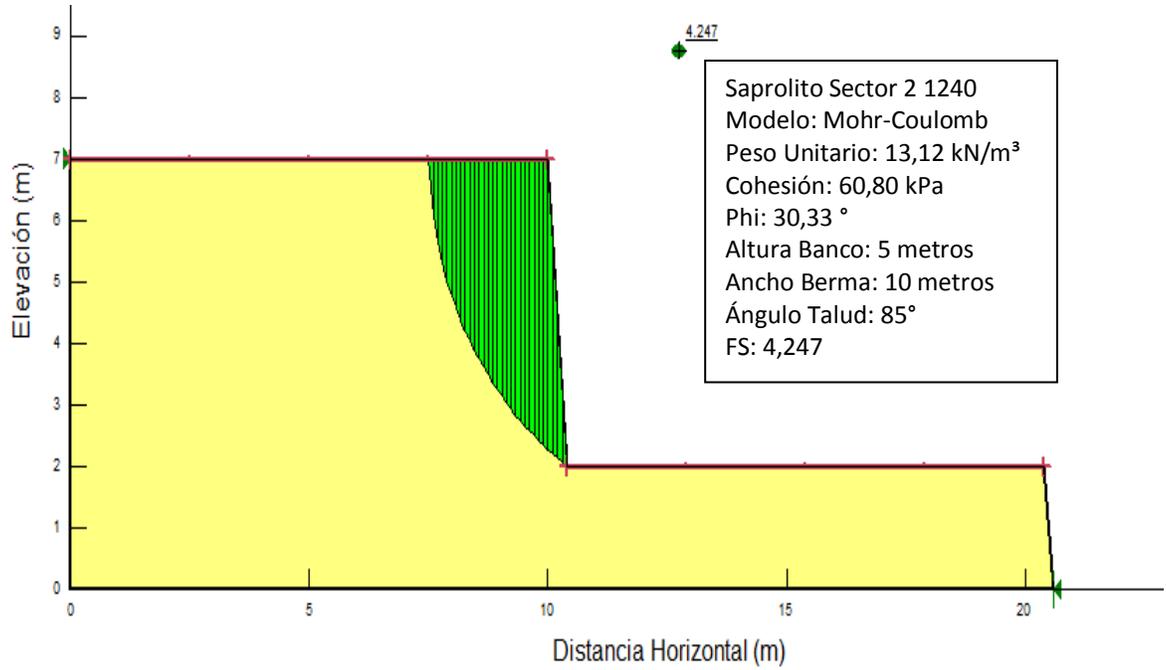


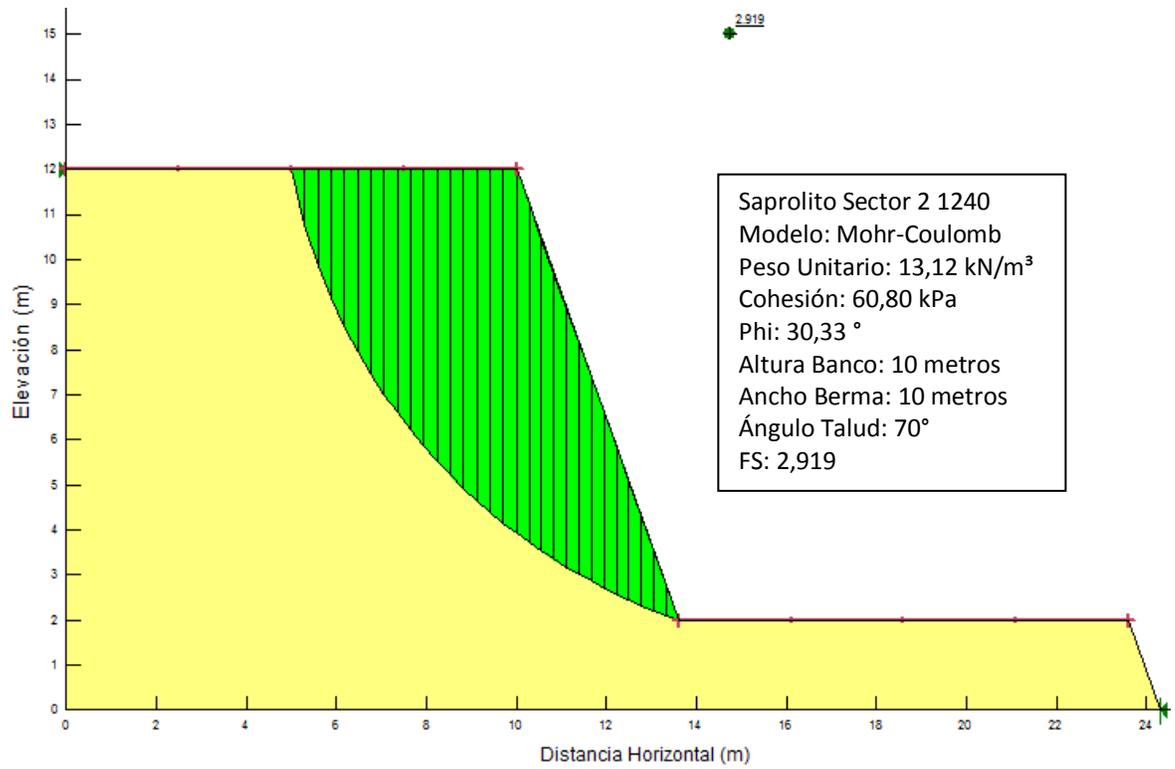
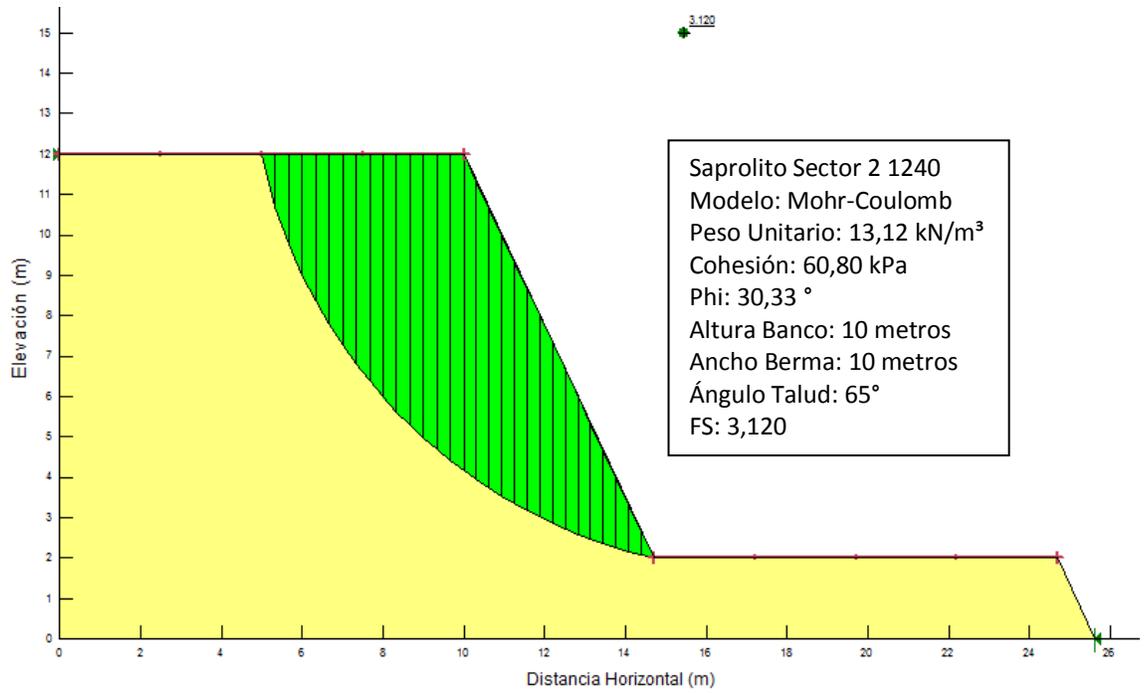
Sapolito Sector 2 1240  
 Modelo: Mohr-Coulomb  
 Peso Unitario: 13,12 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesión: 60,80 kPa  
 Phi: 30,33 °  
 Altura Banco: 10 metros  
 Ancho Berma: 5 metros  
 Ángulo Talud: 80°  
 FS: 2,542

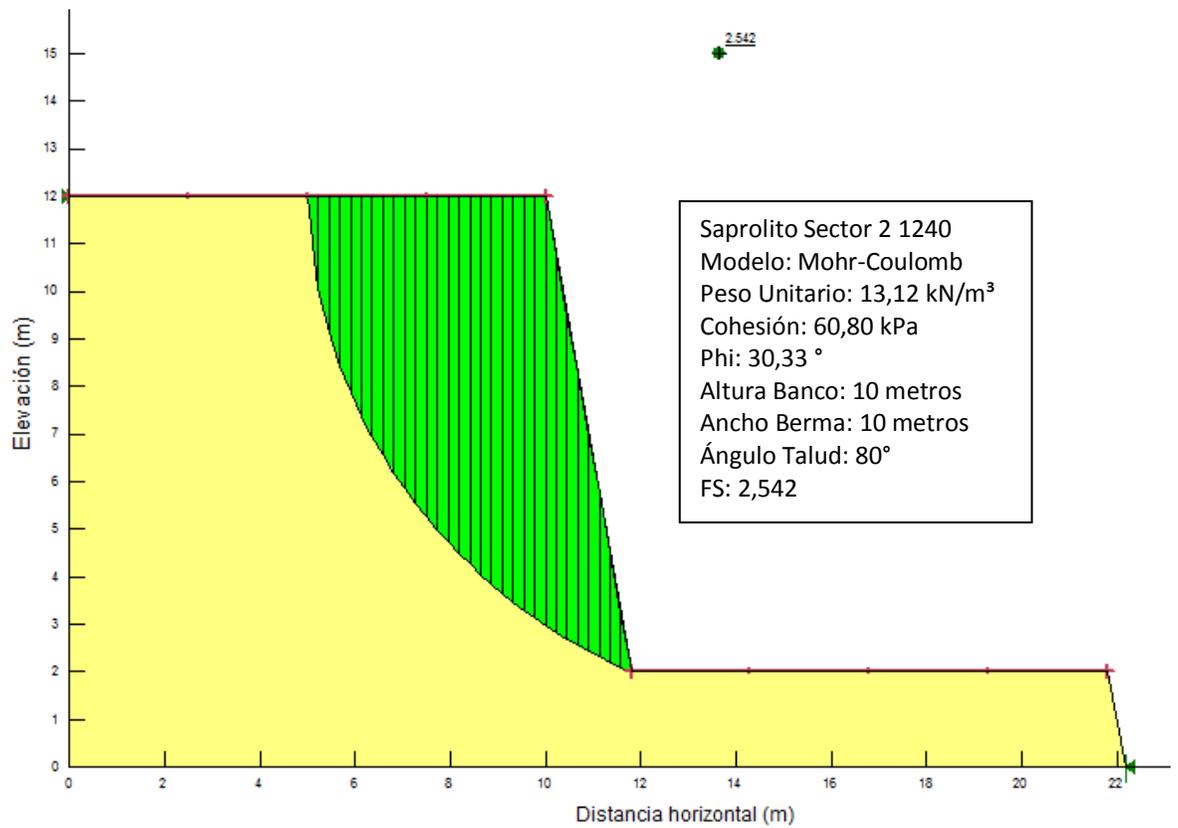
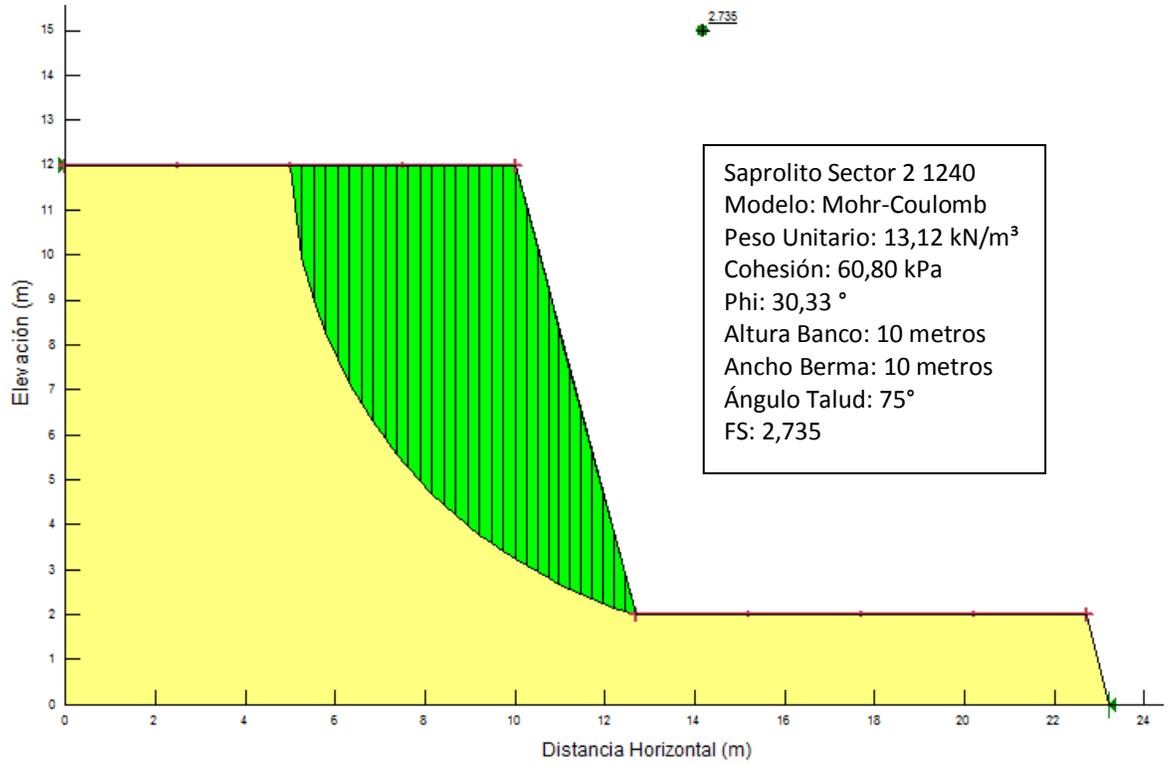


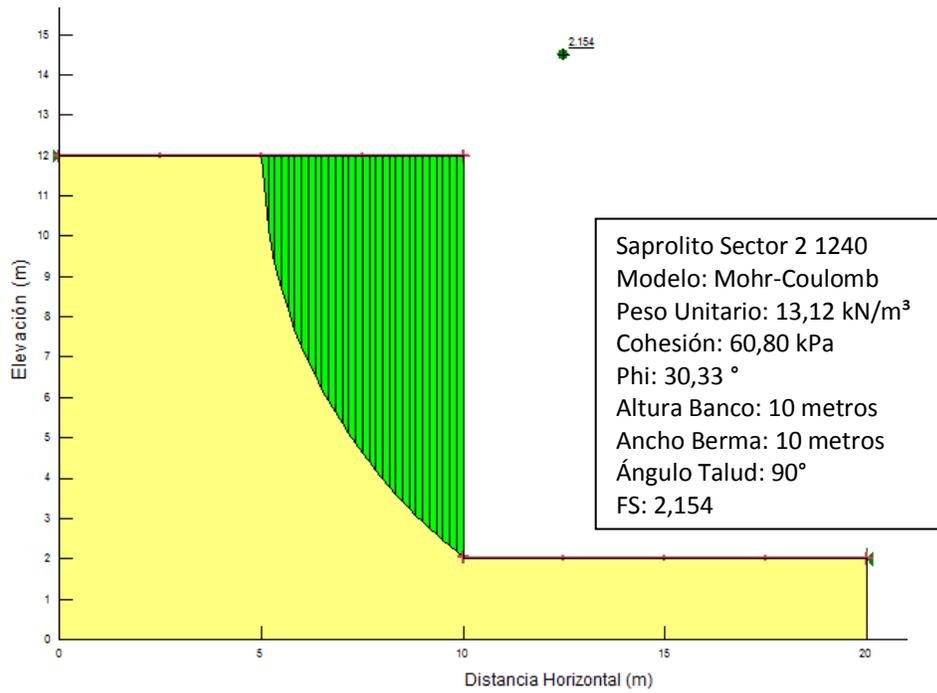
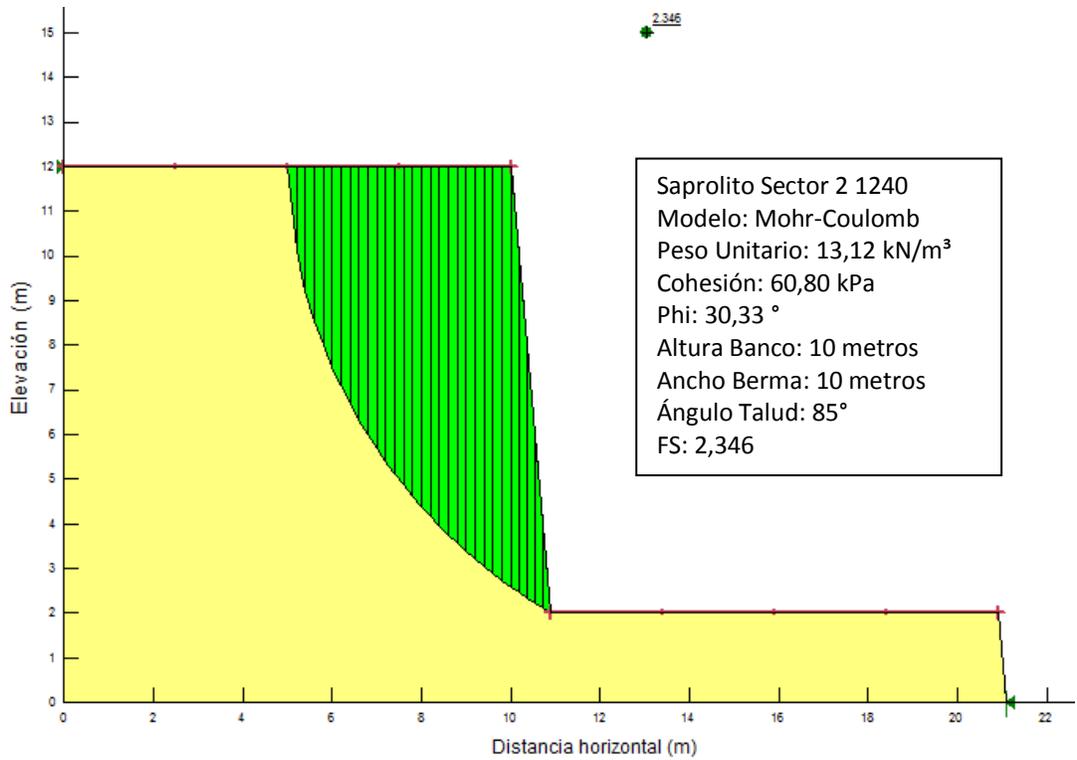


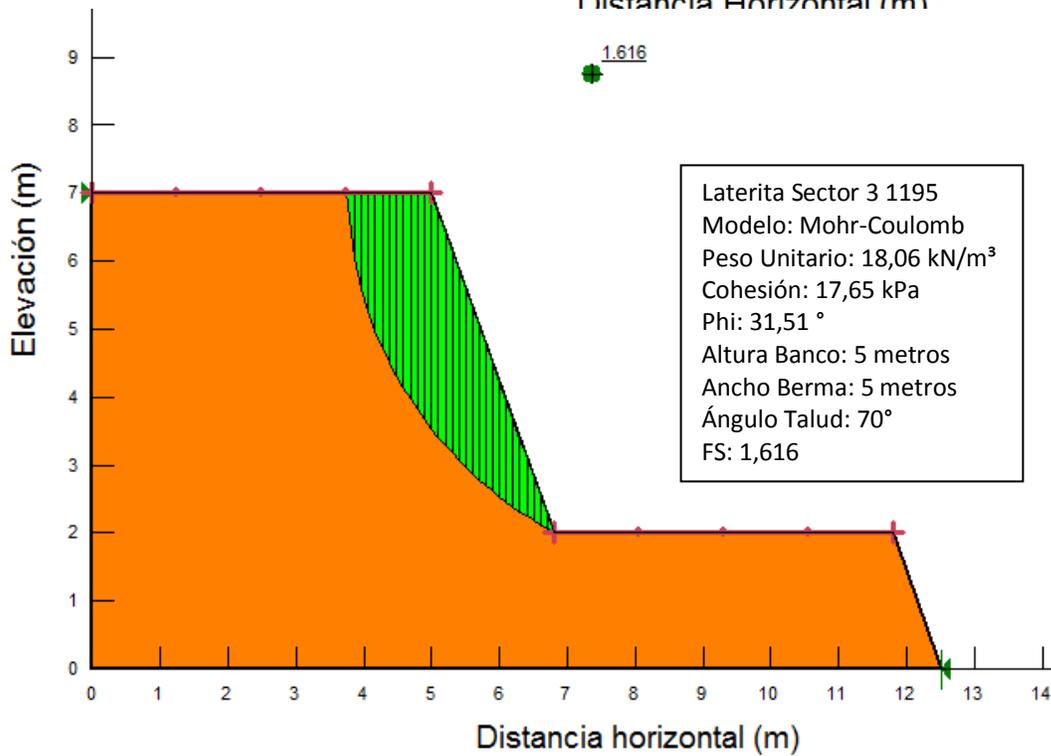
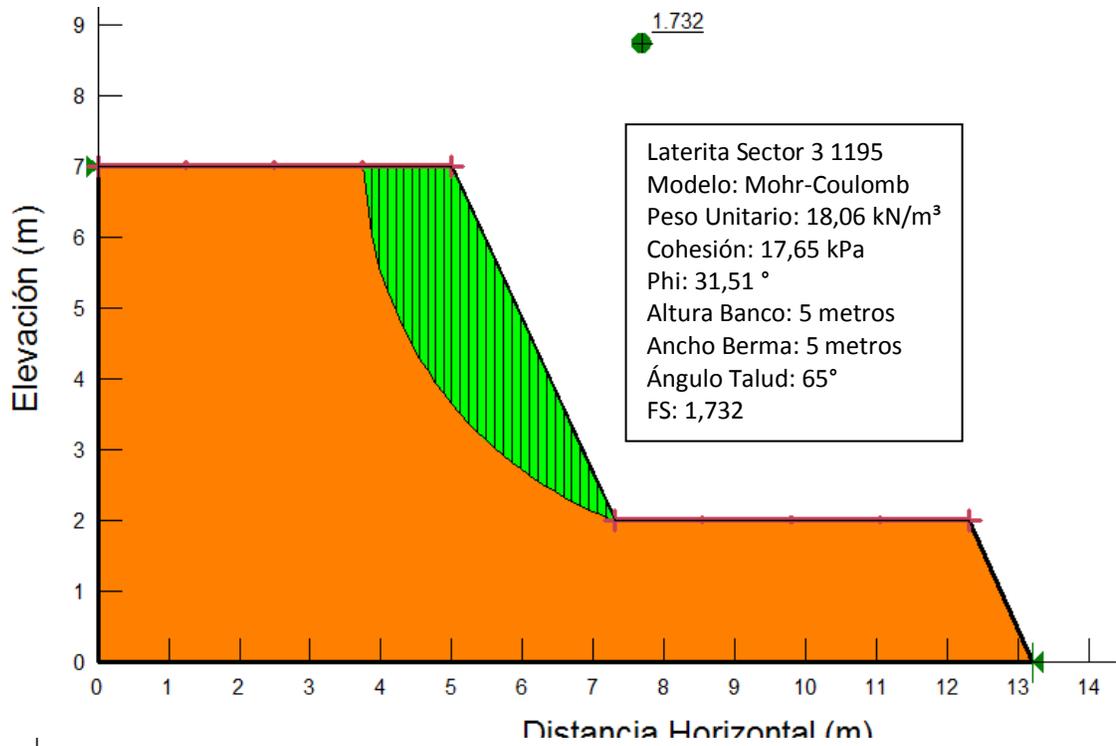


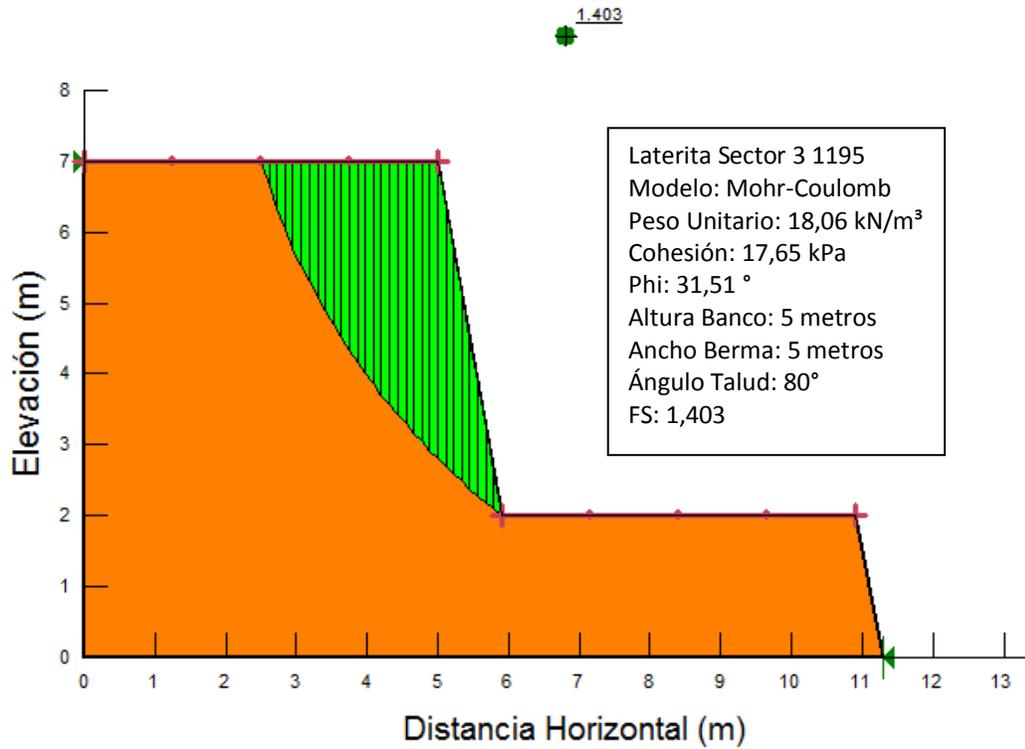
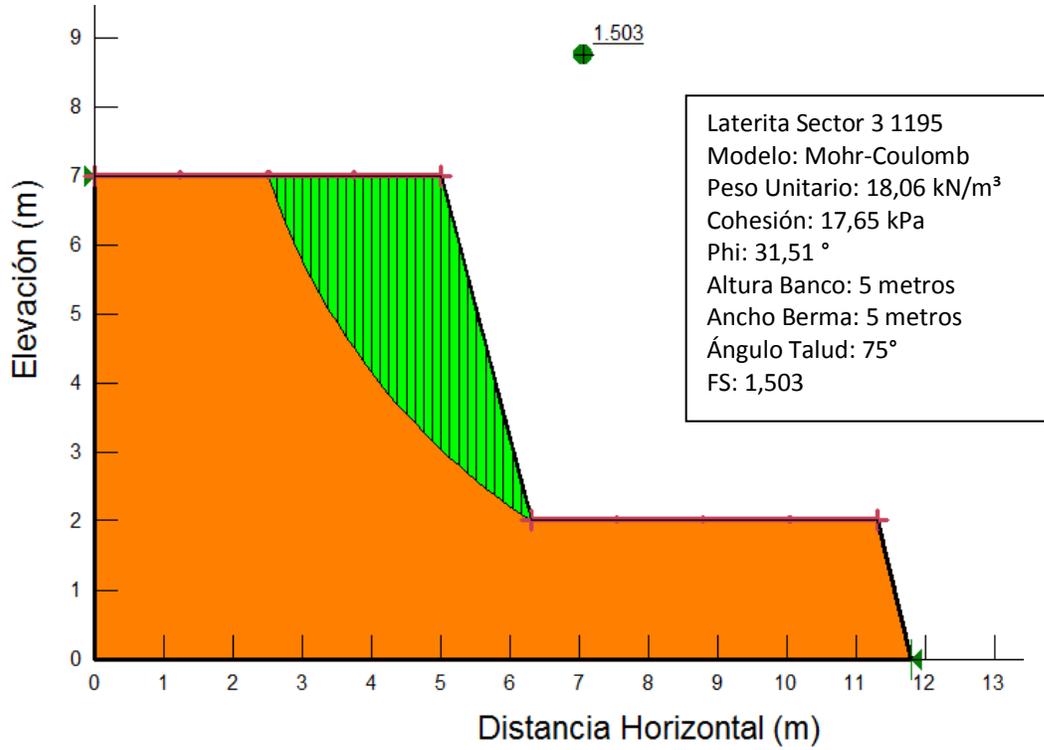


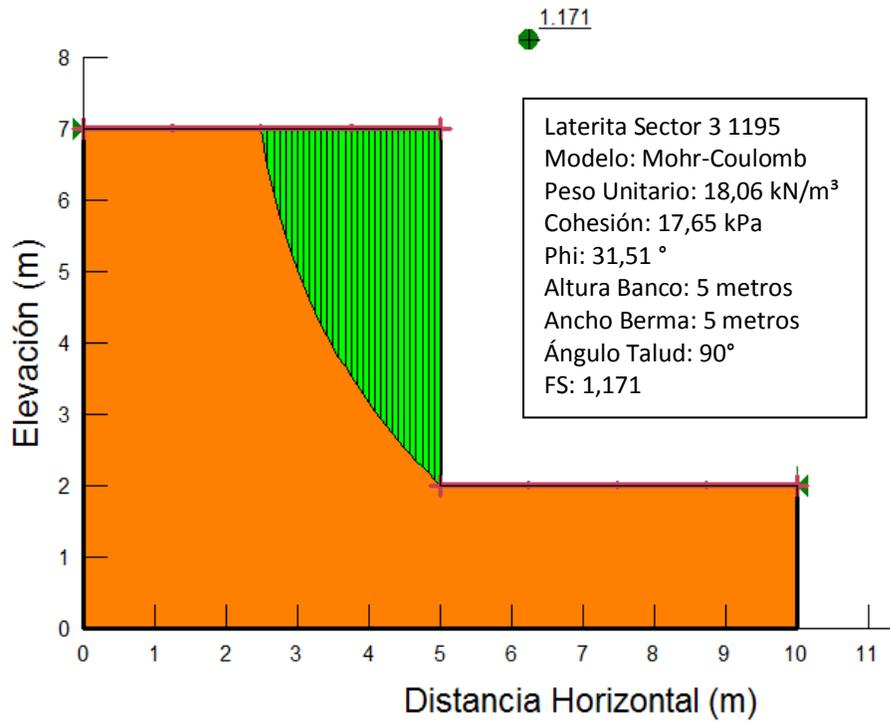
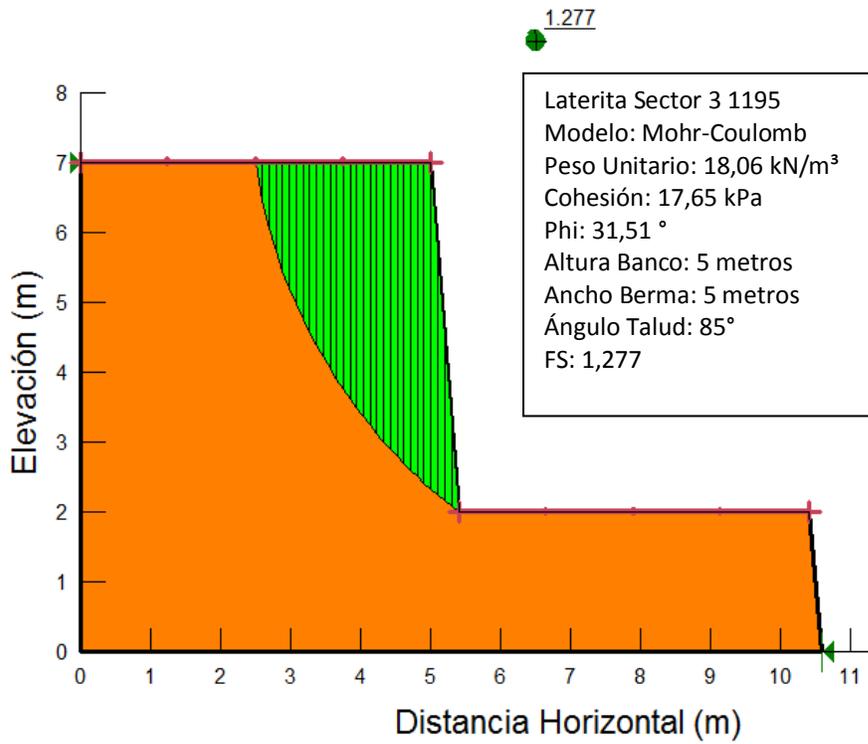


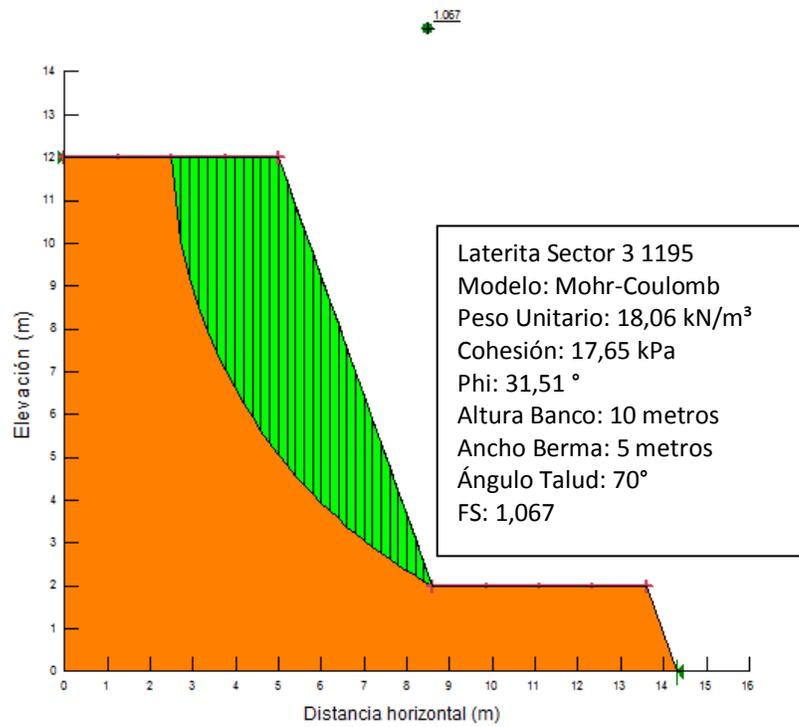
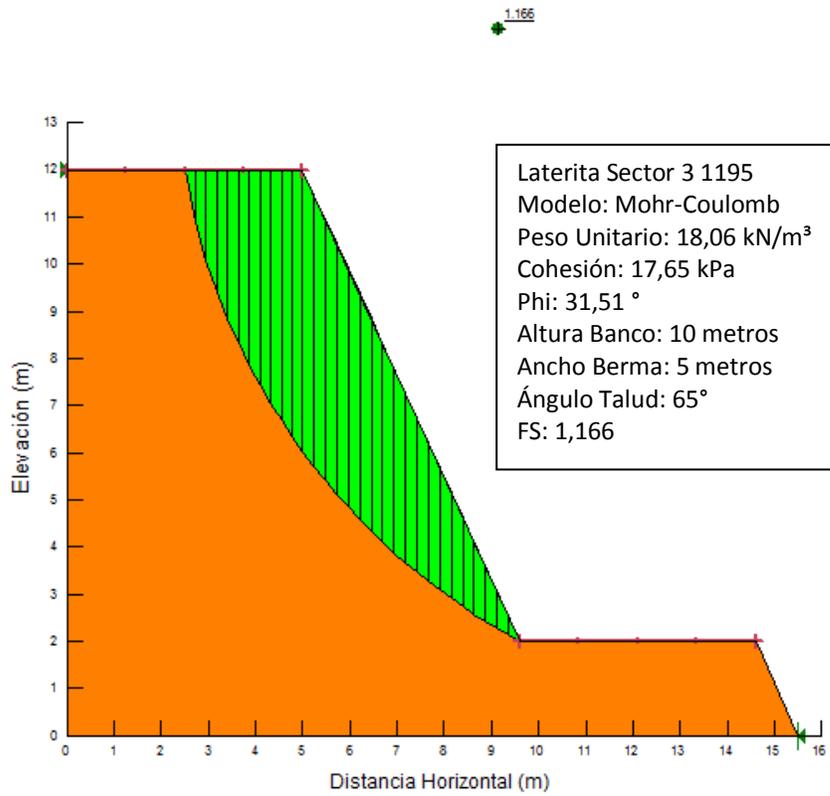


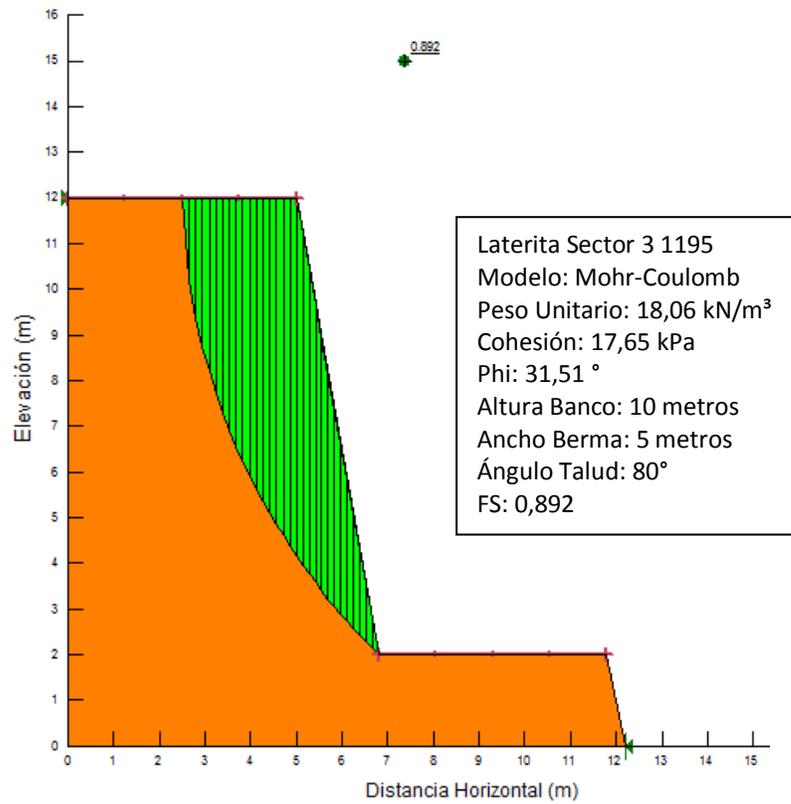
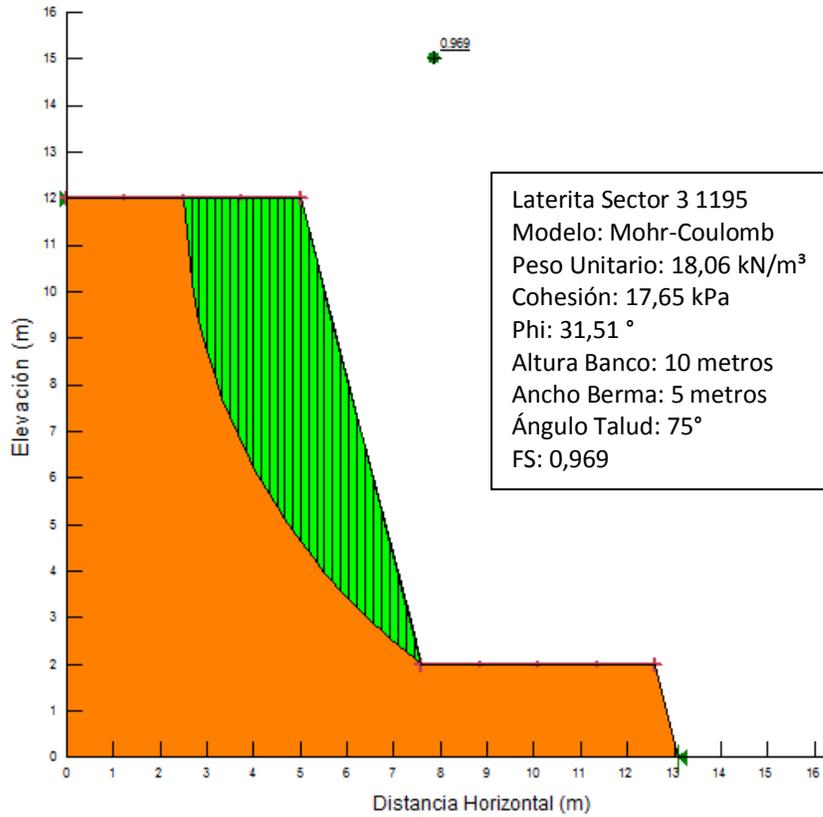


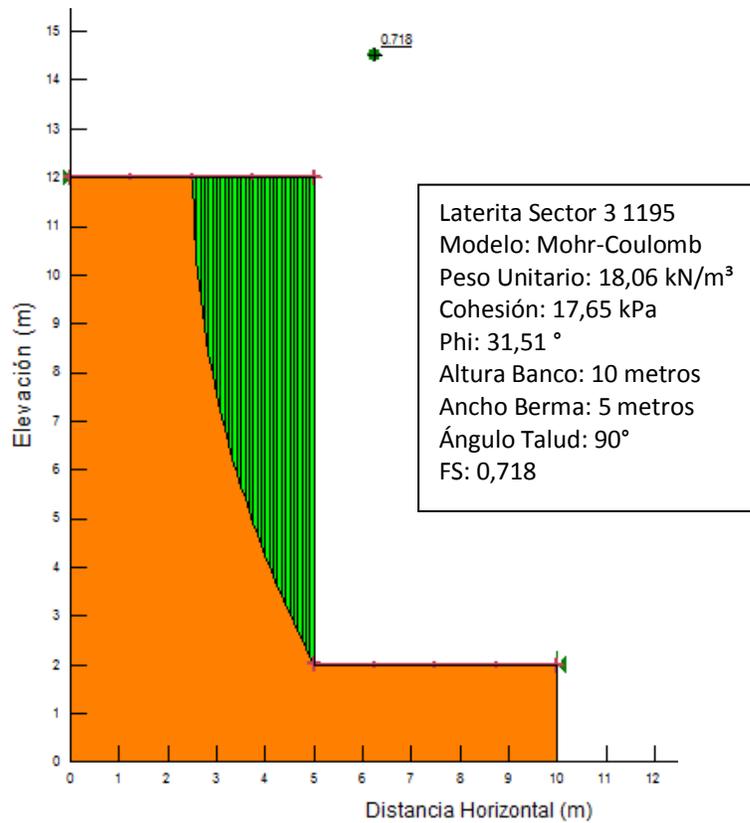
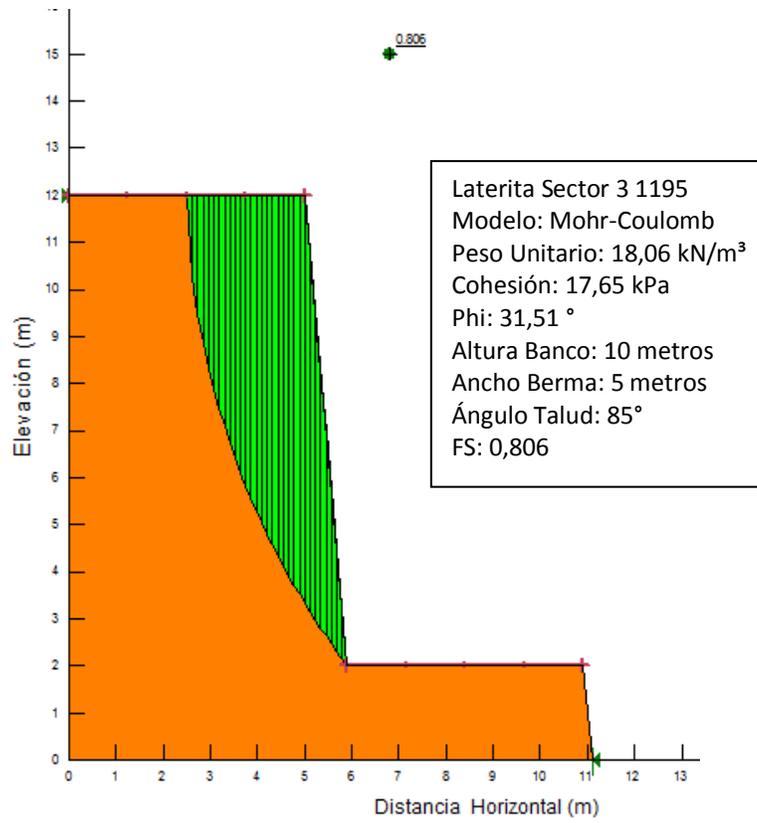


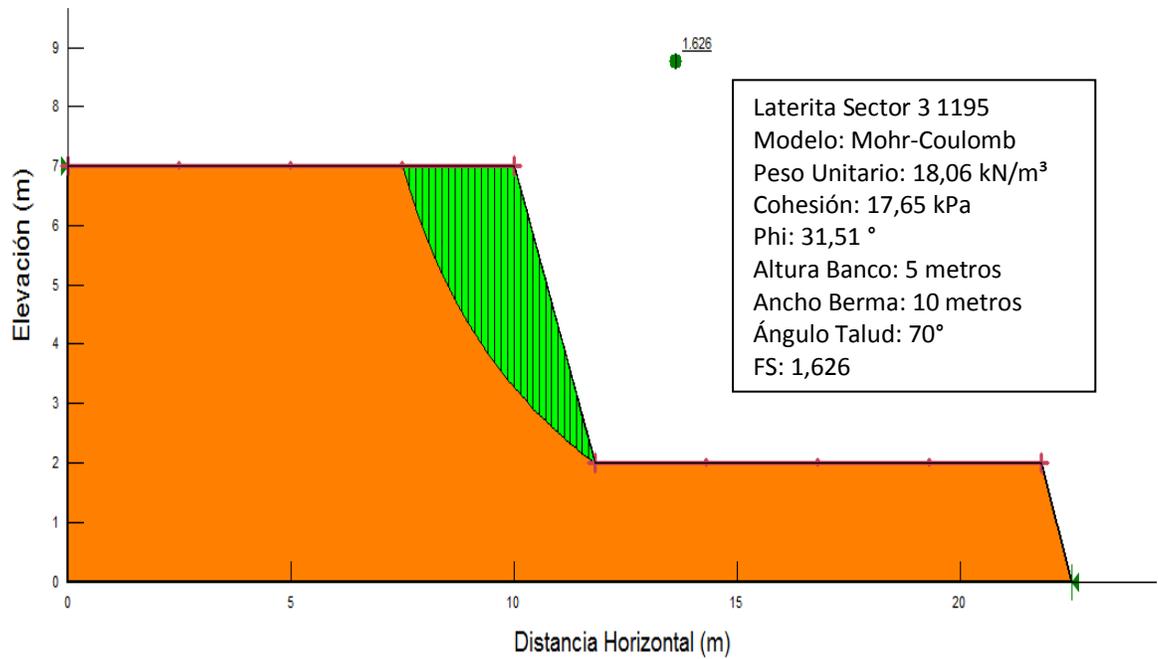
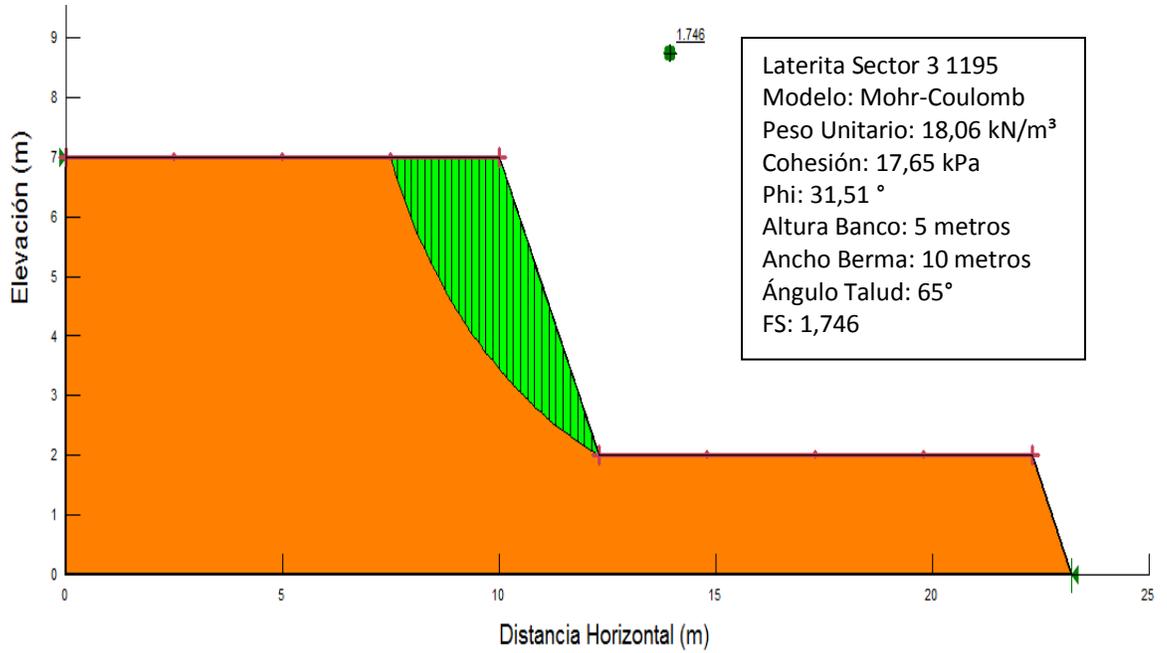


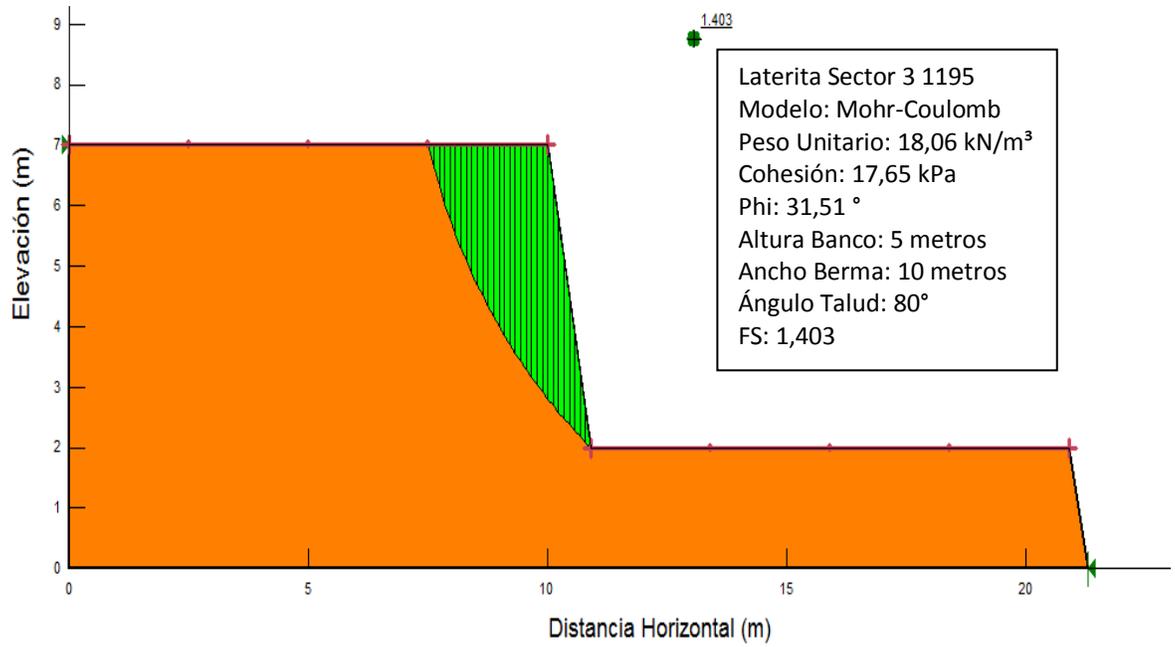
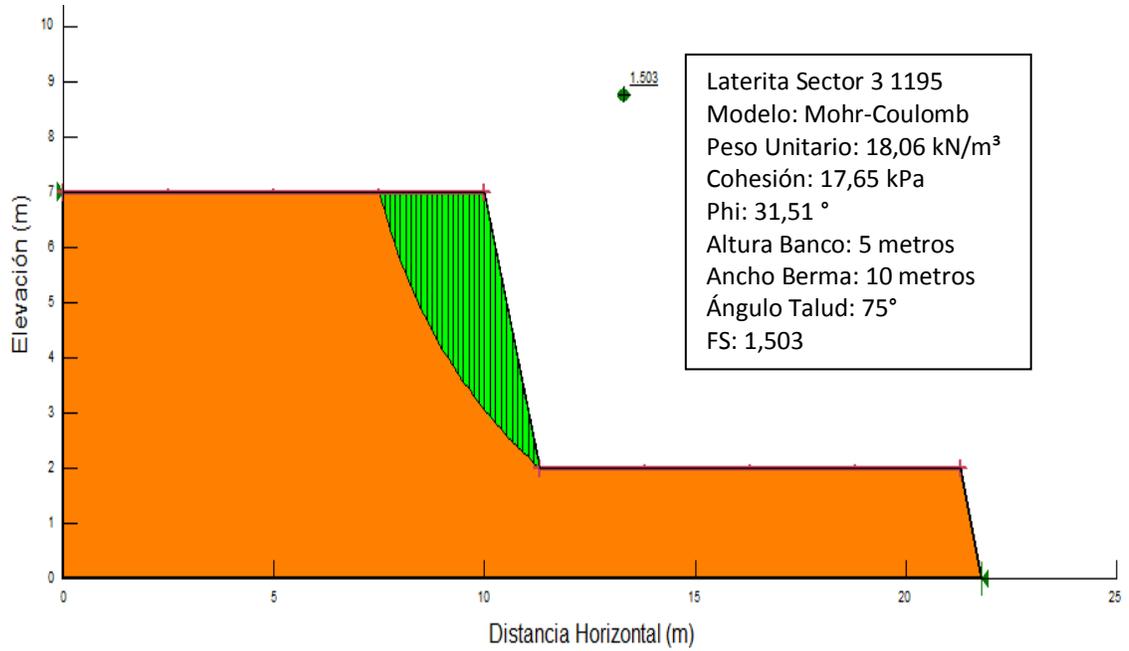


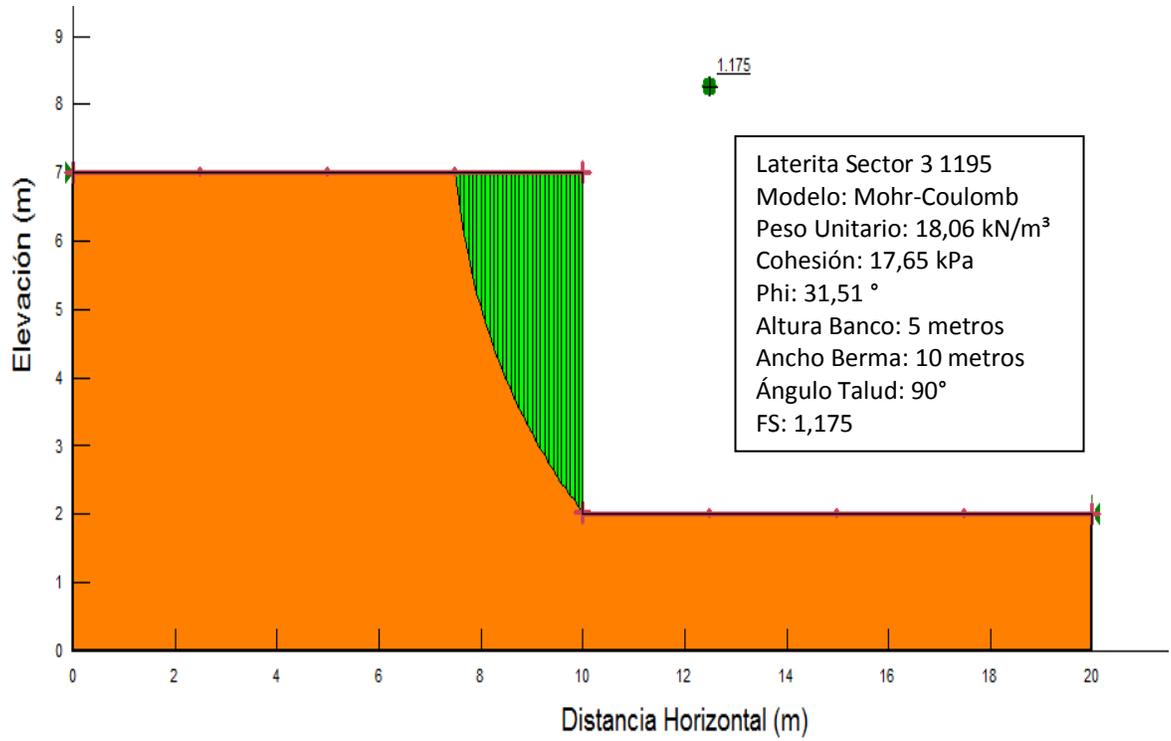
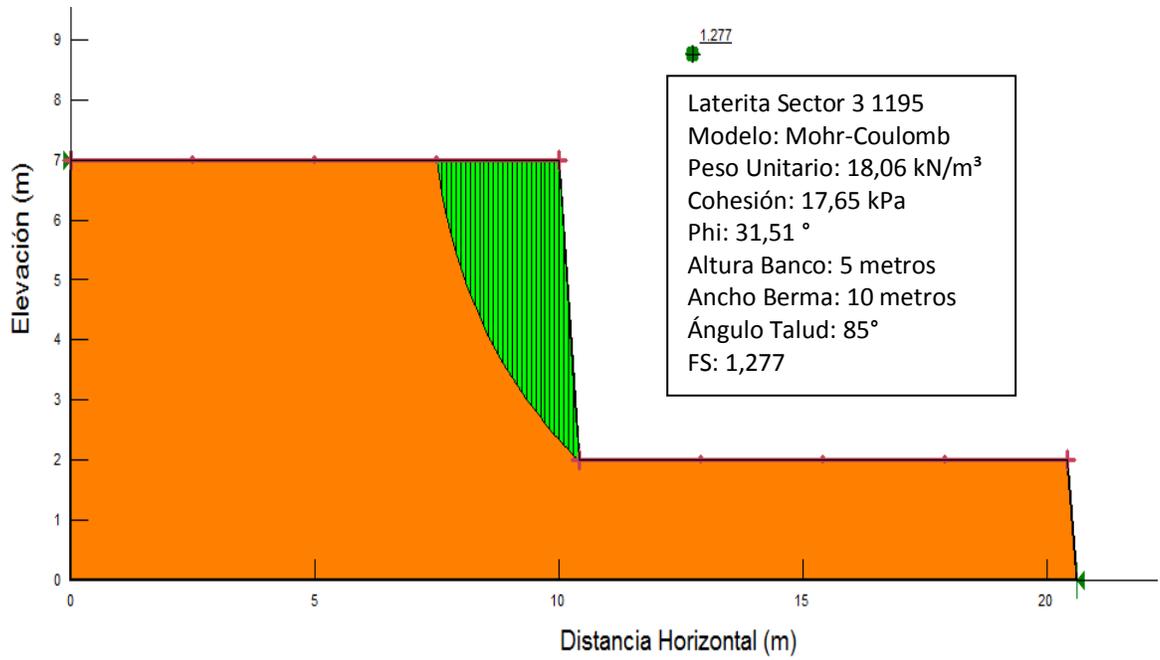


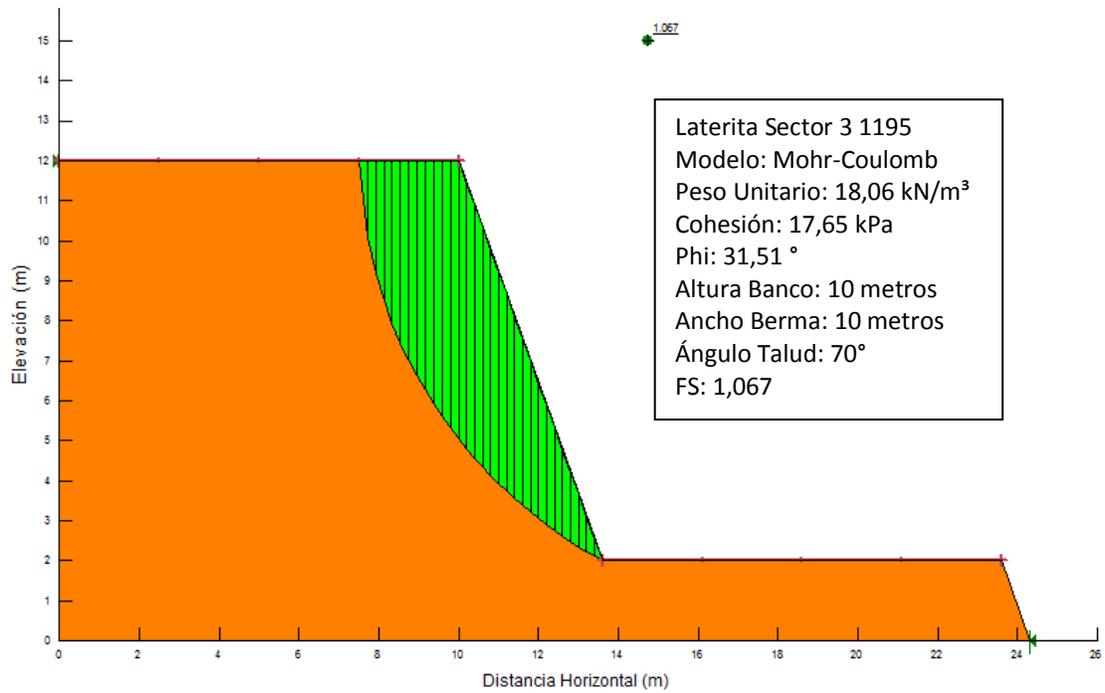
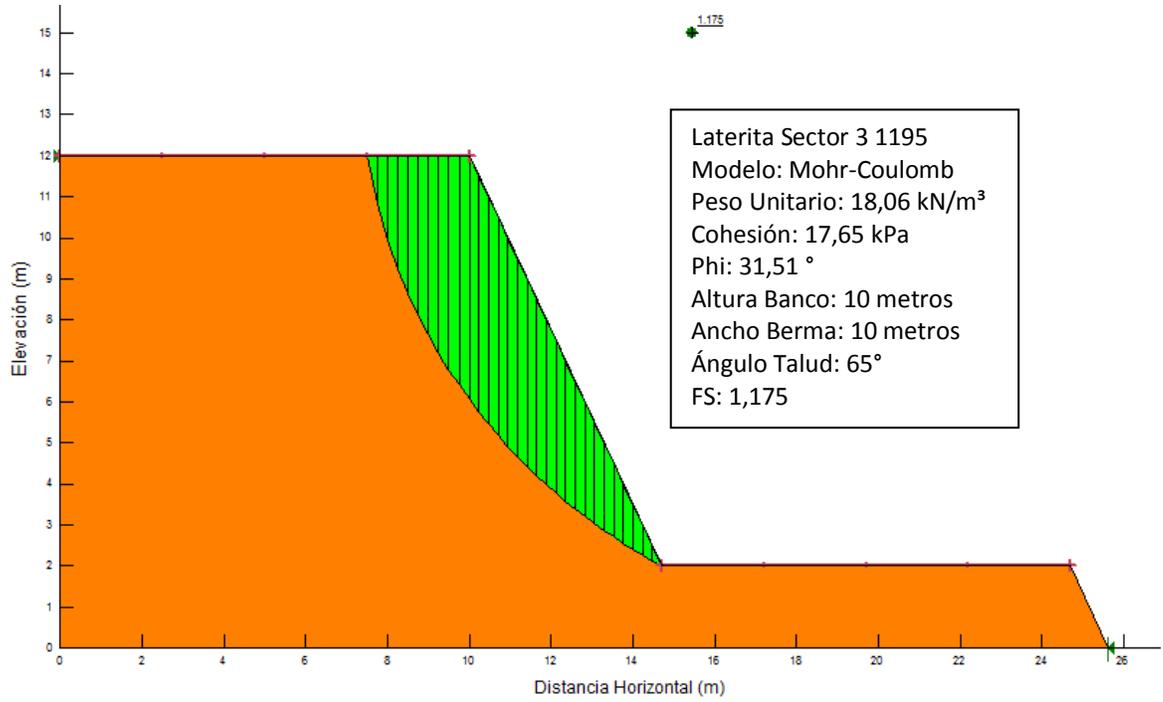


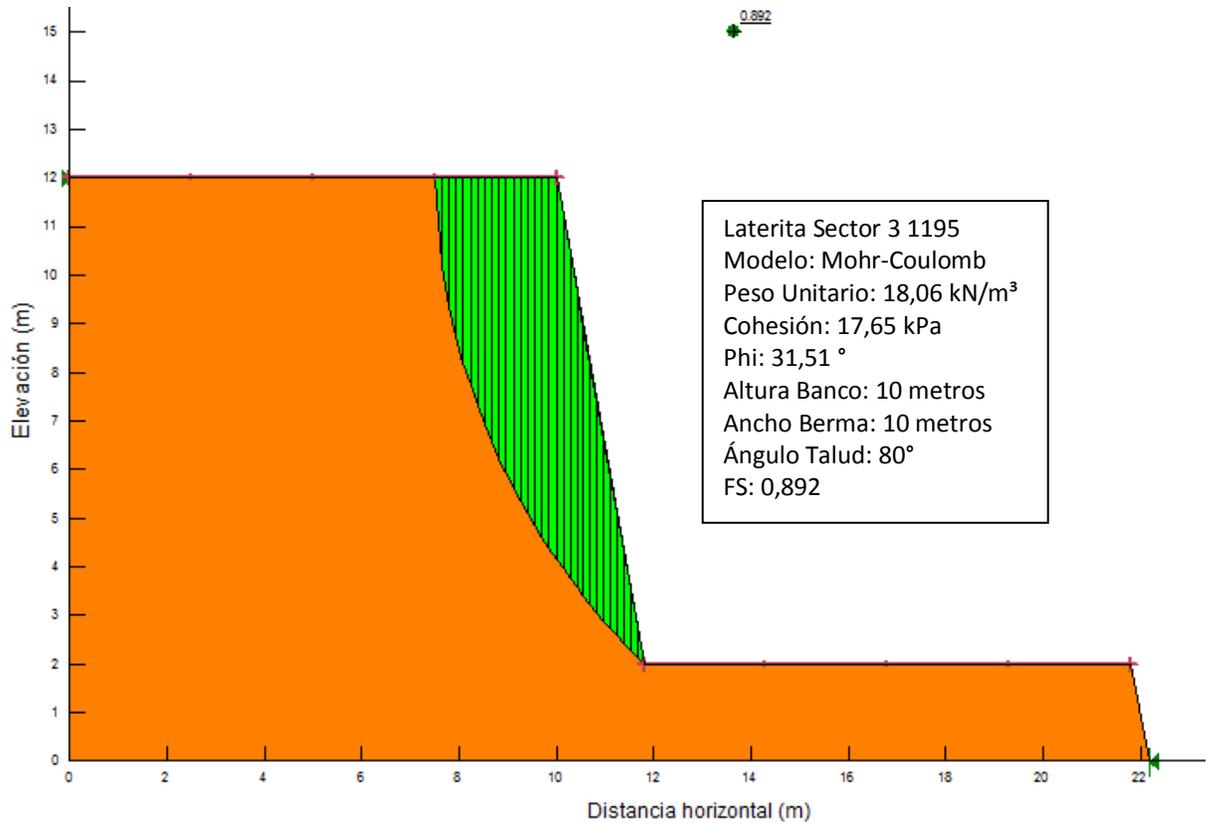
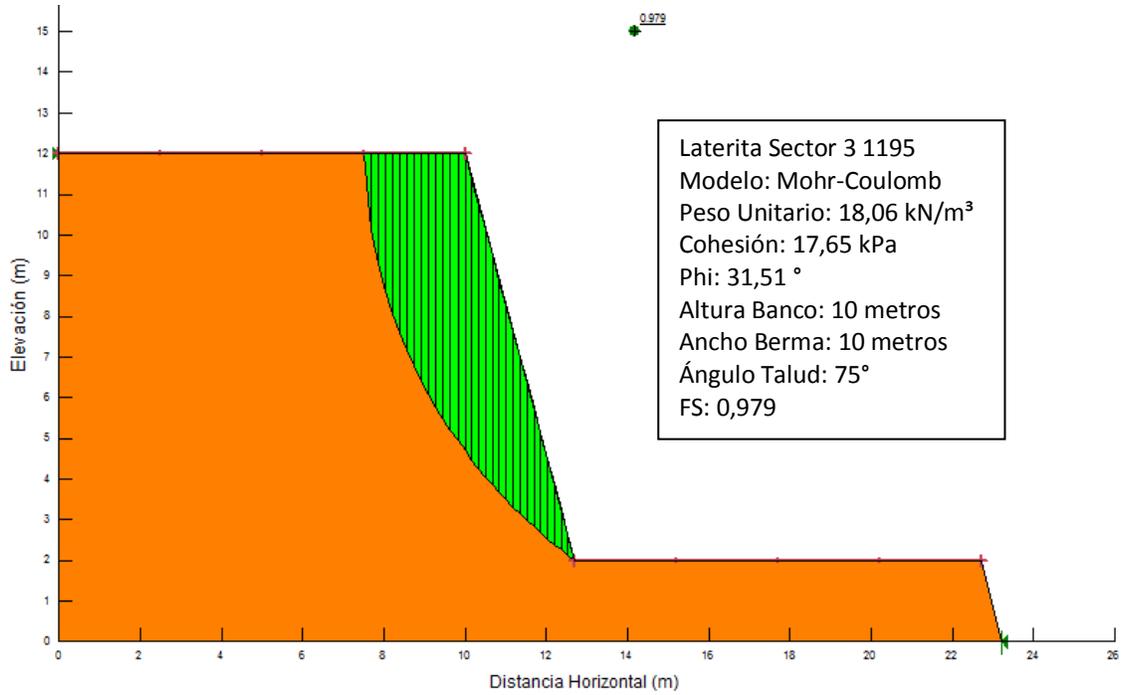


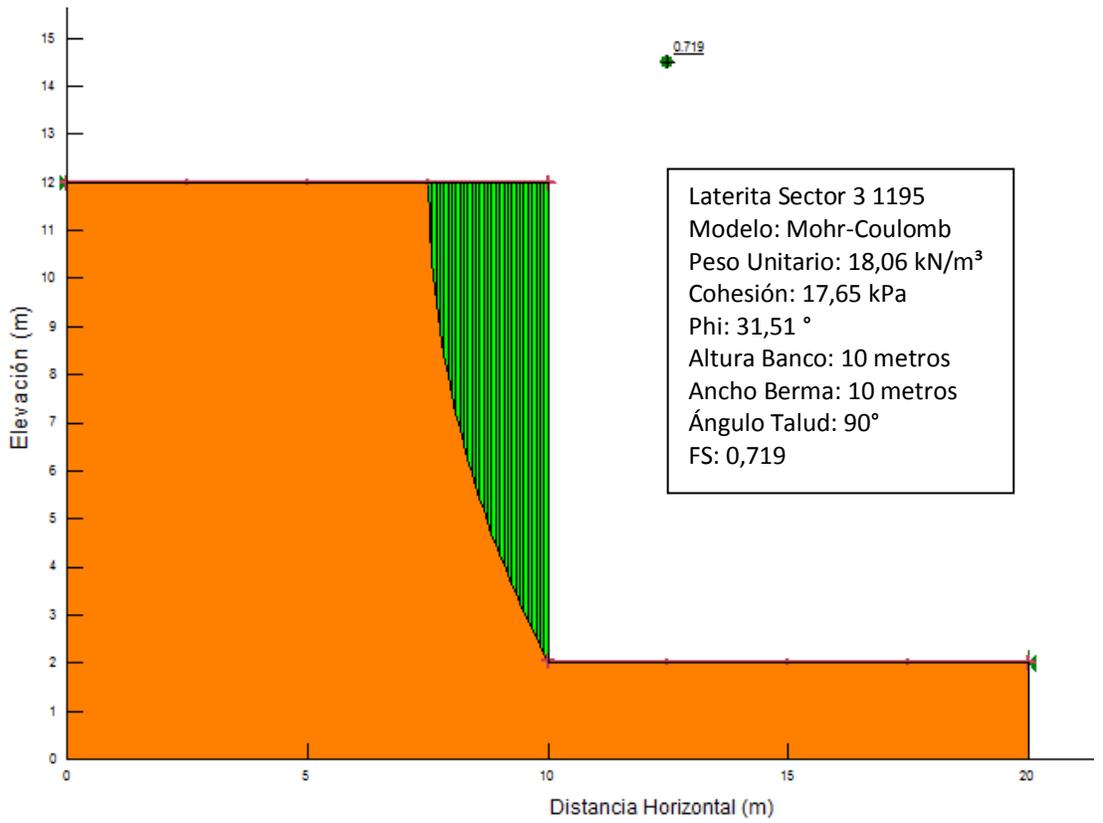
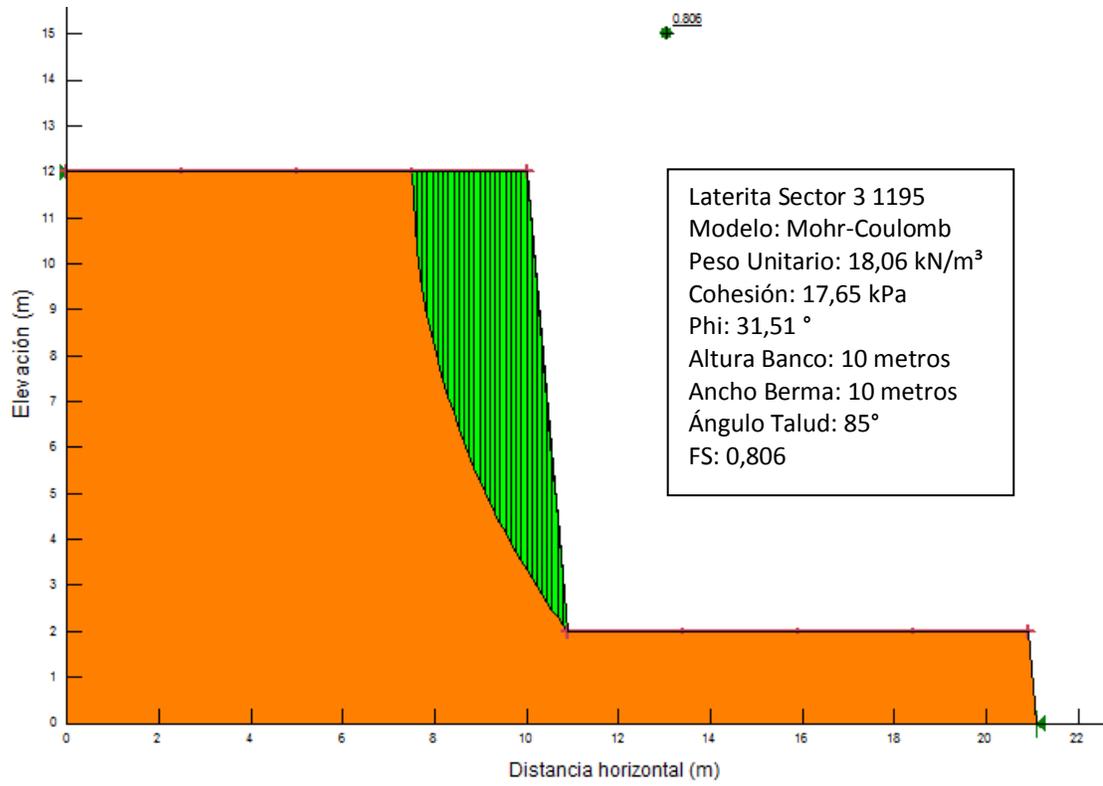


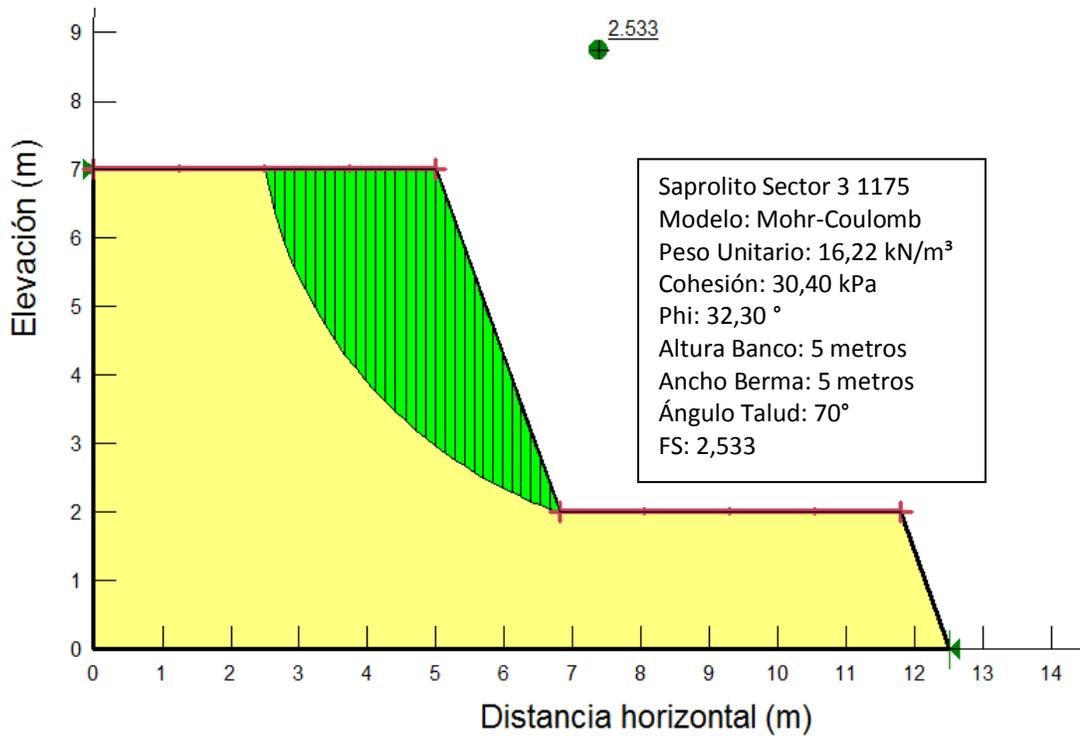
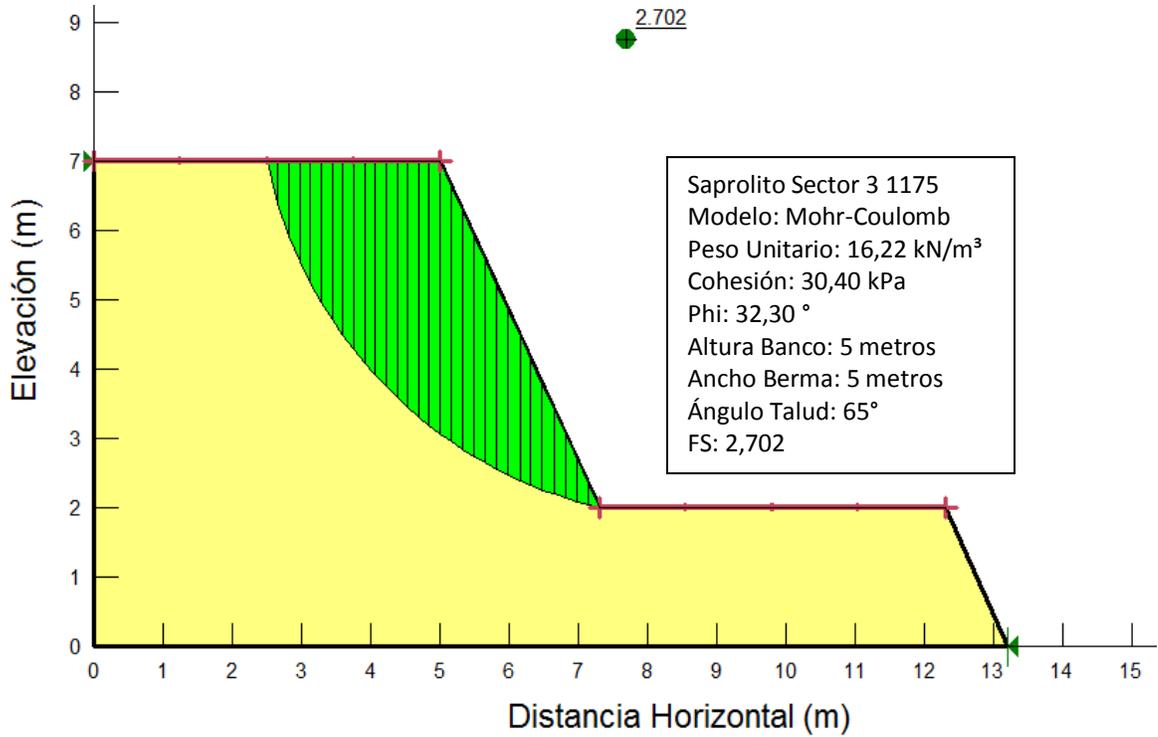


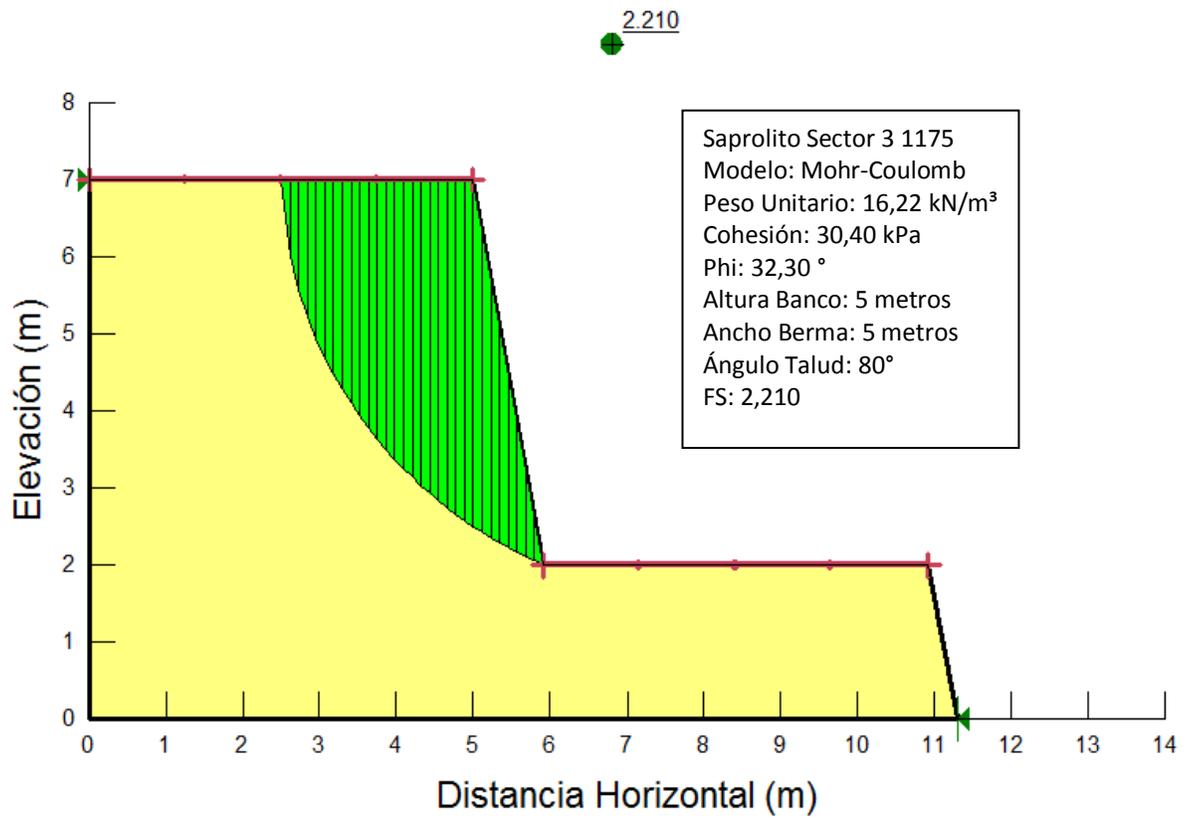
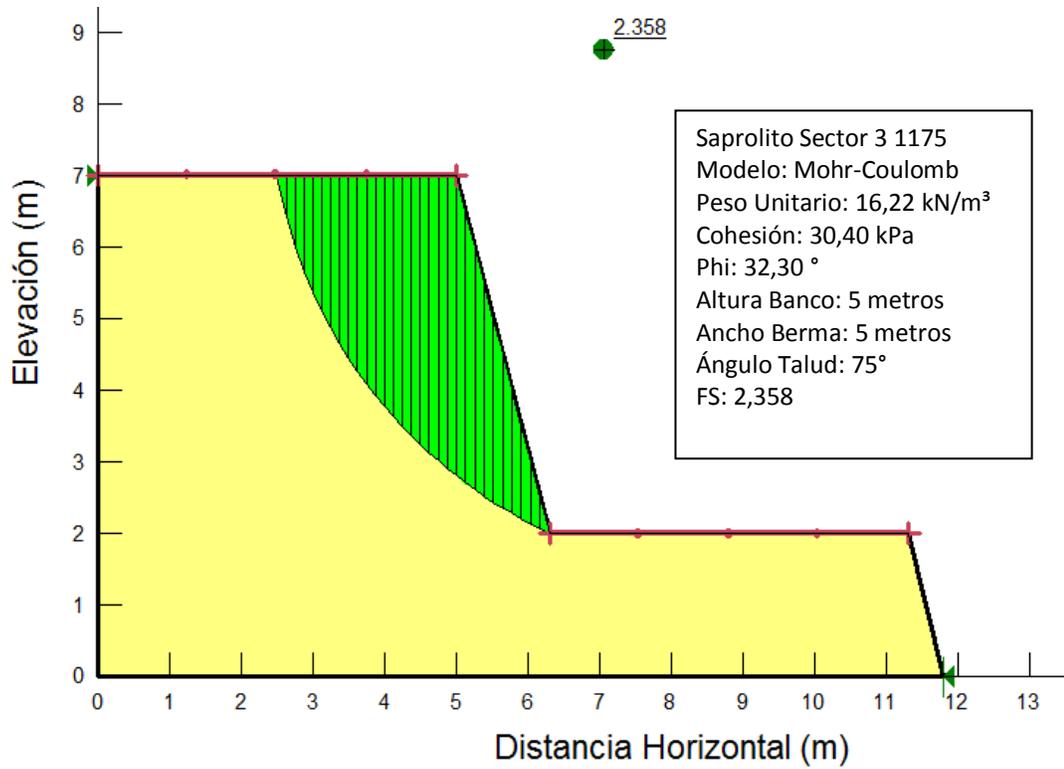


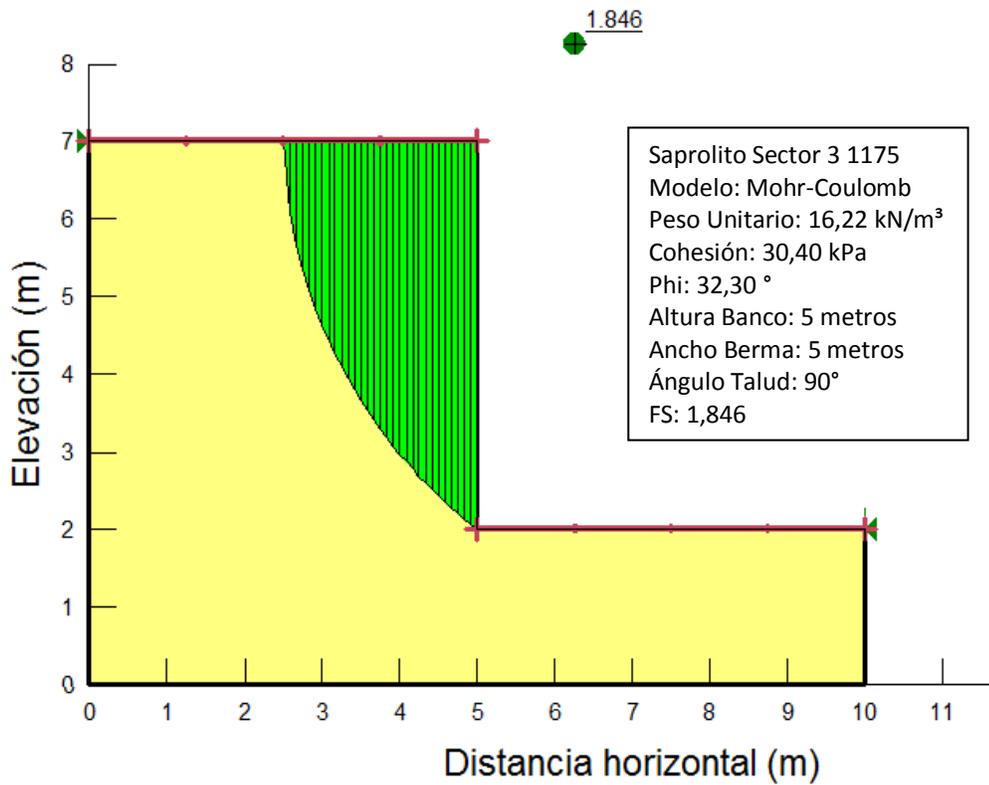
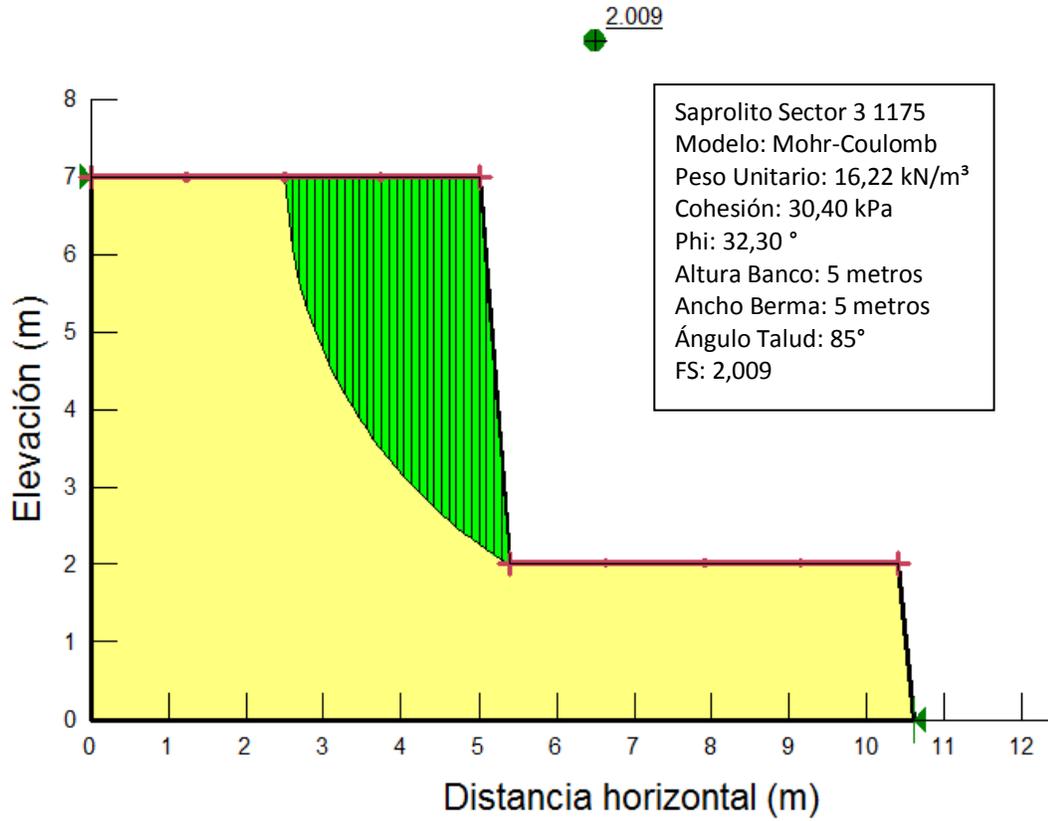


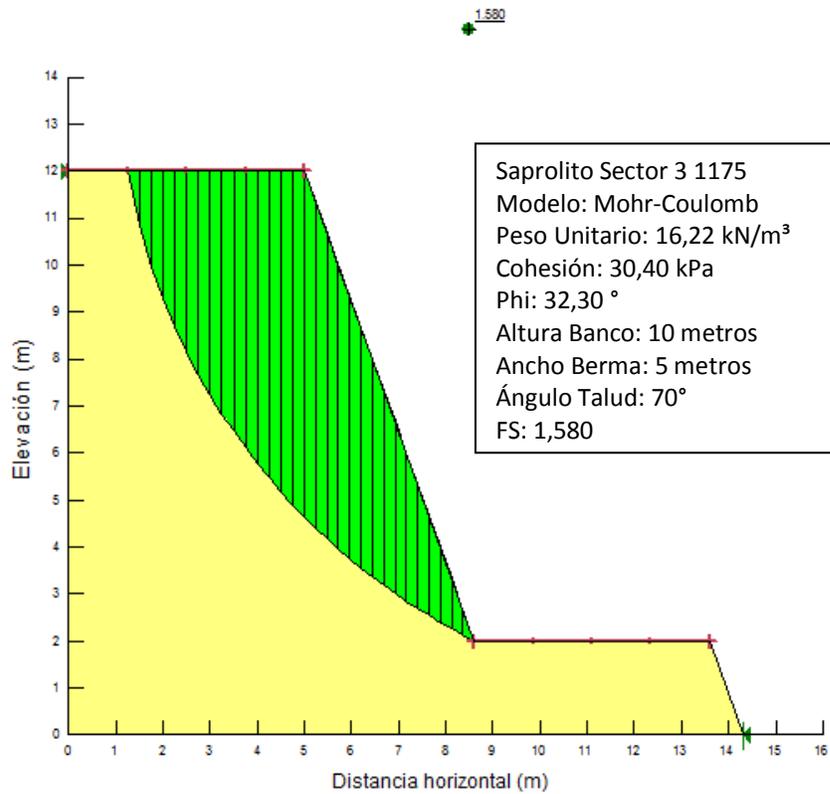
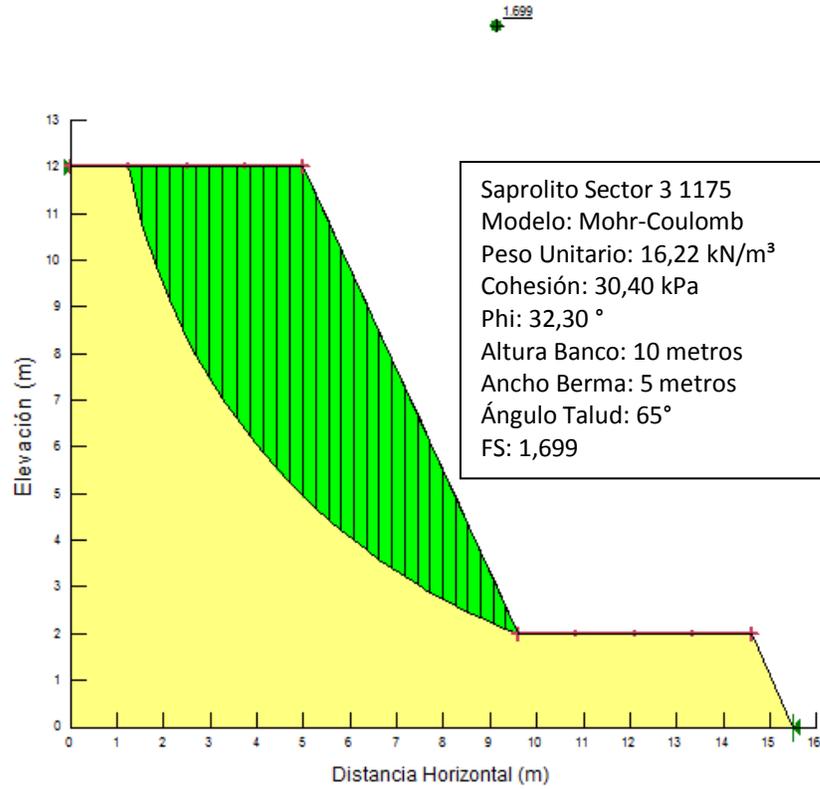


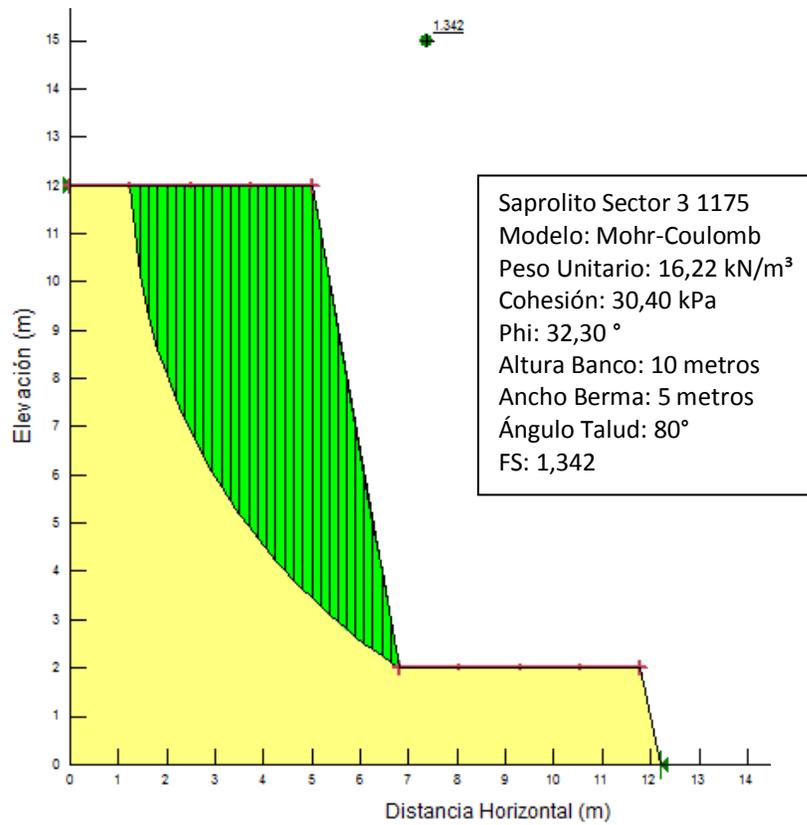
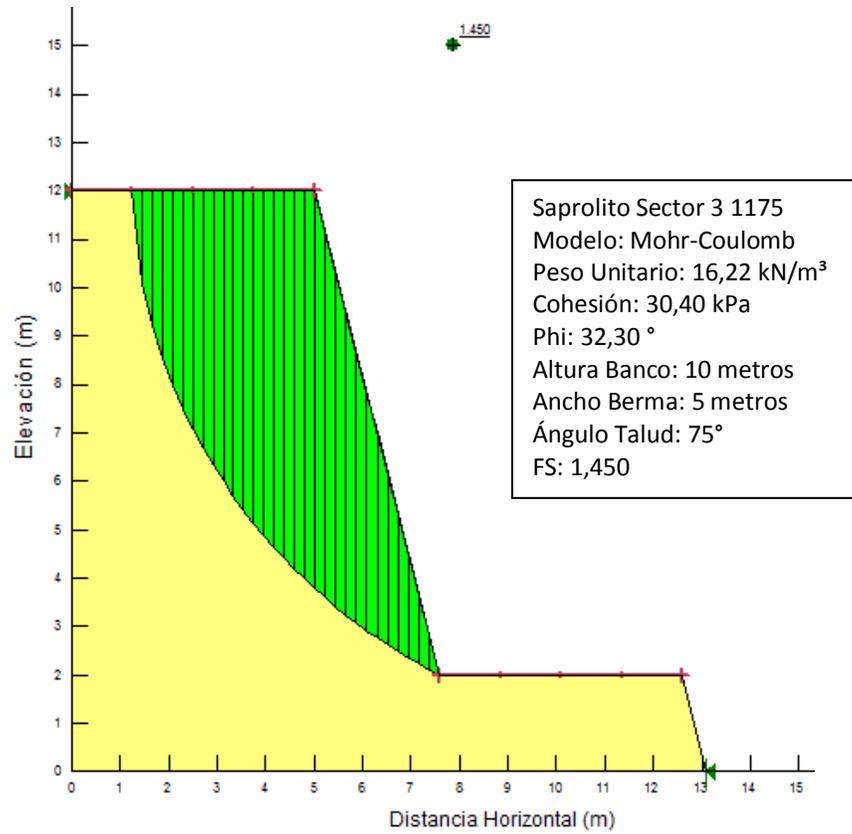


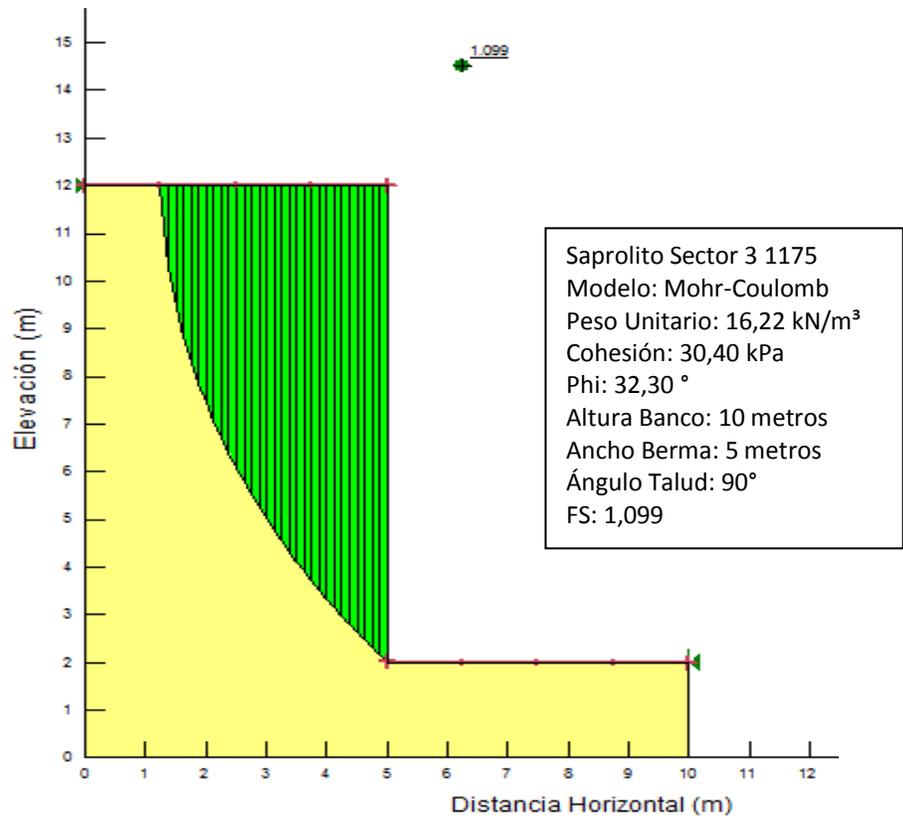
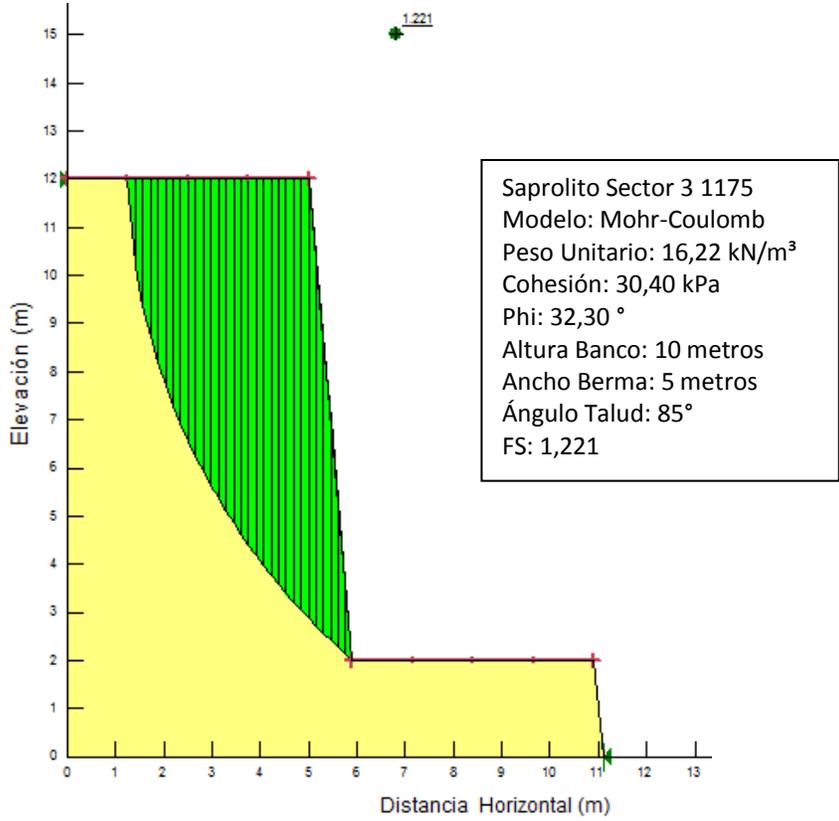


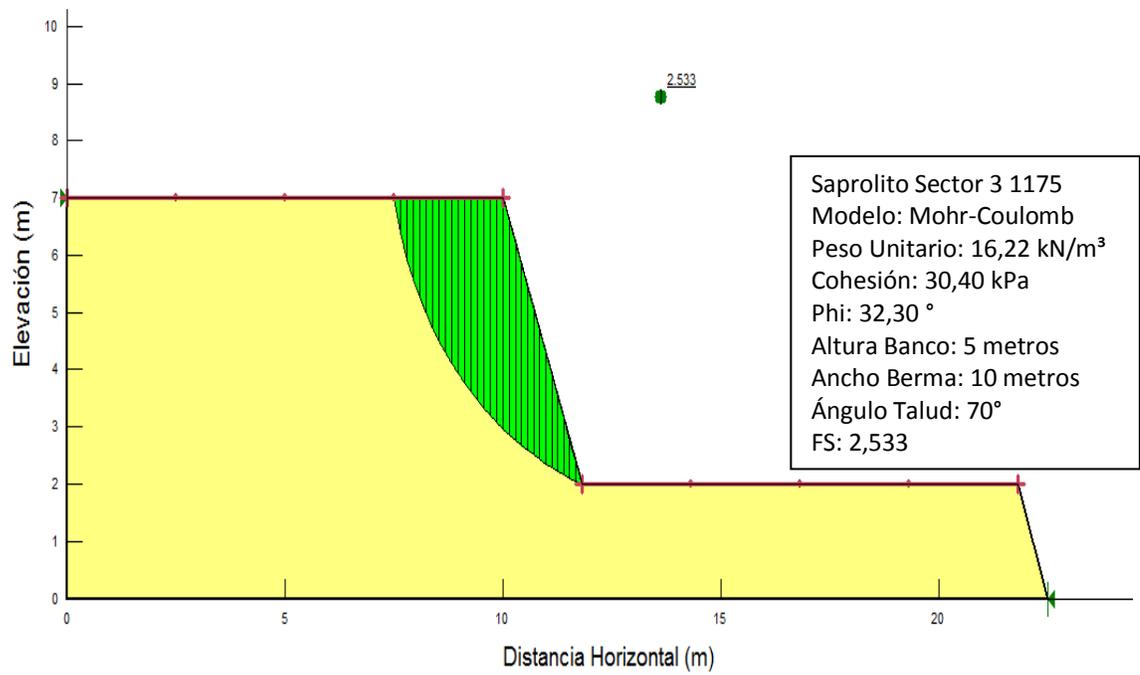
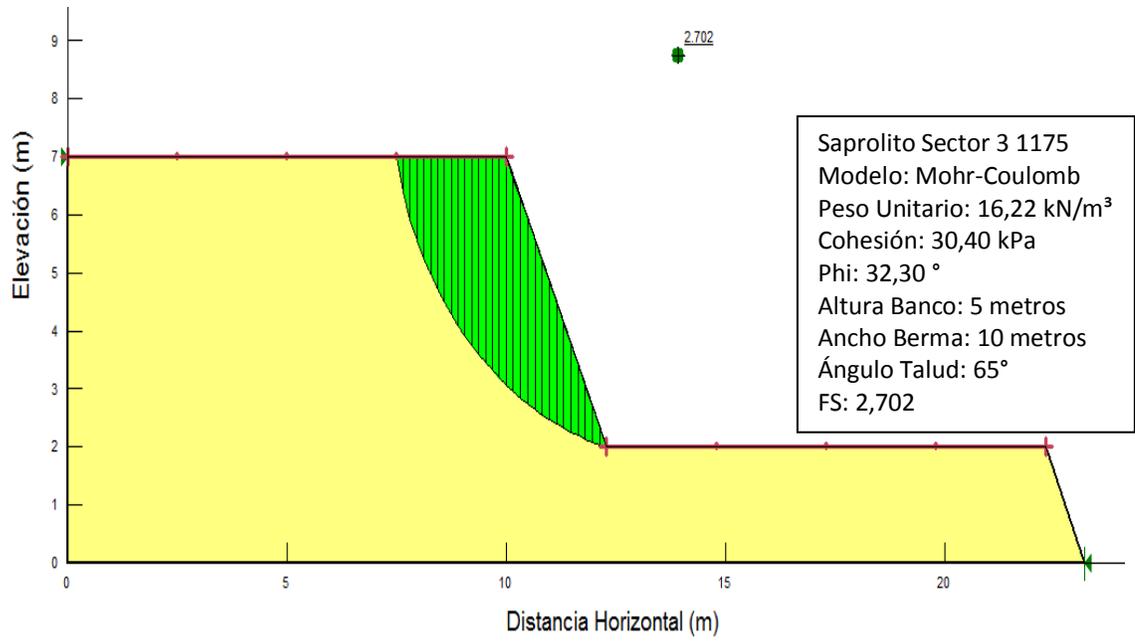


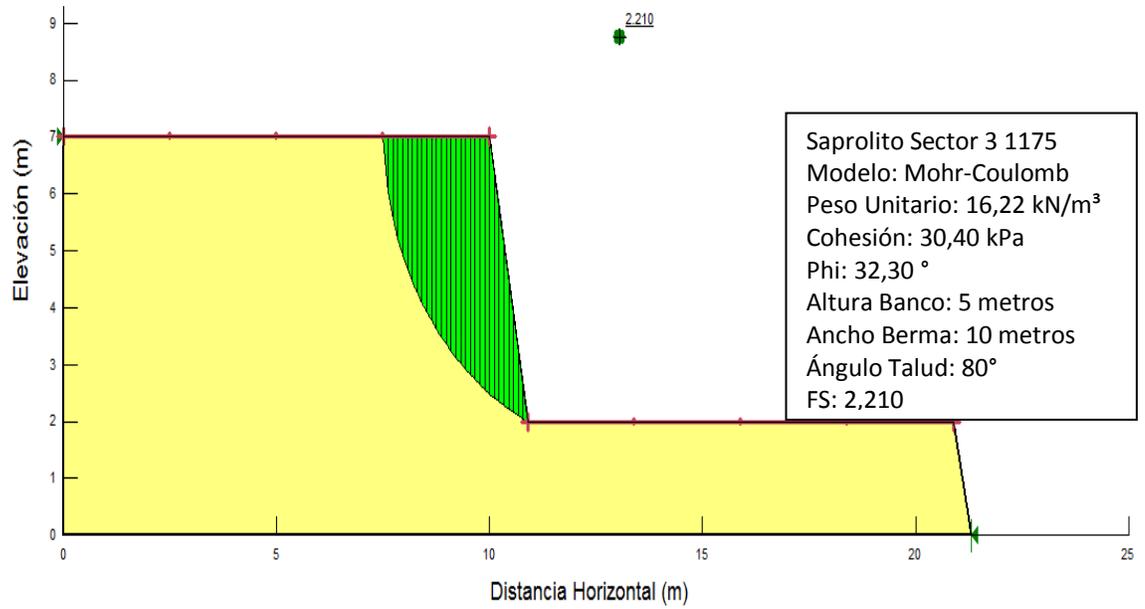
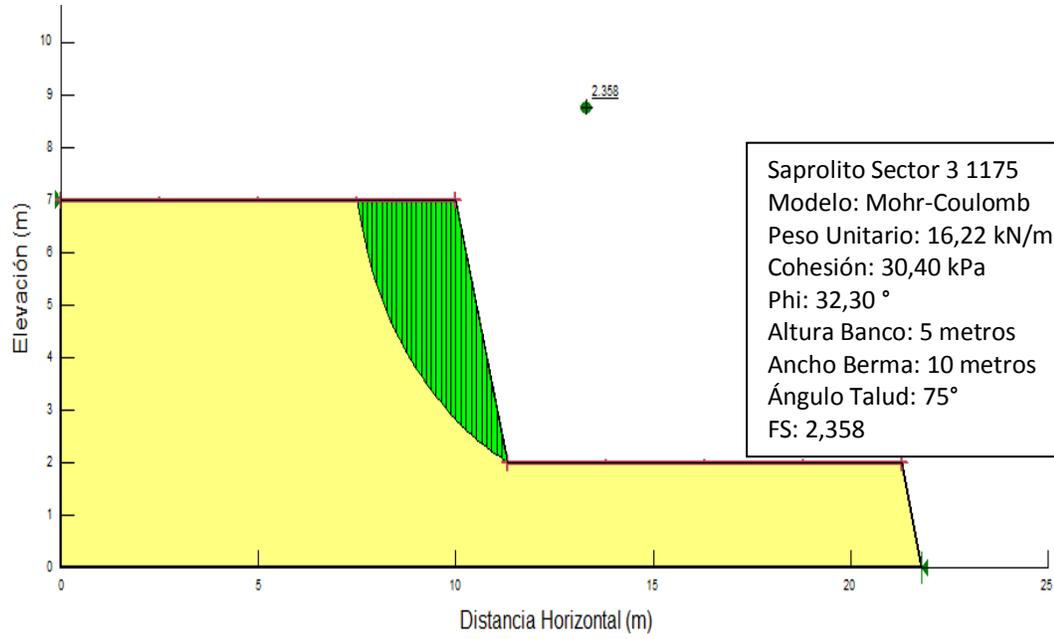


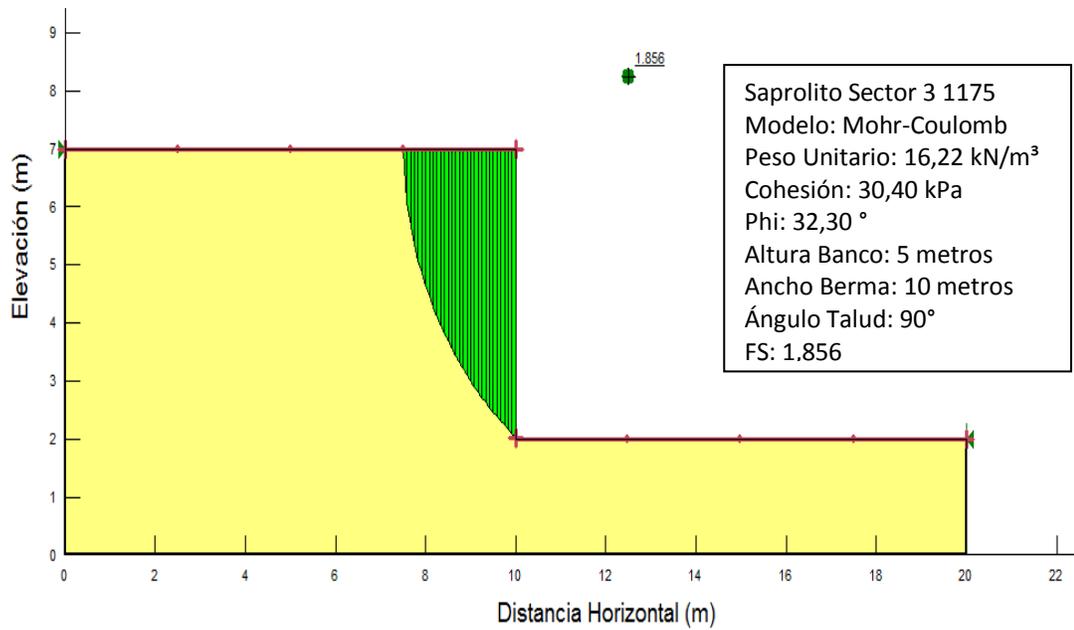
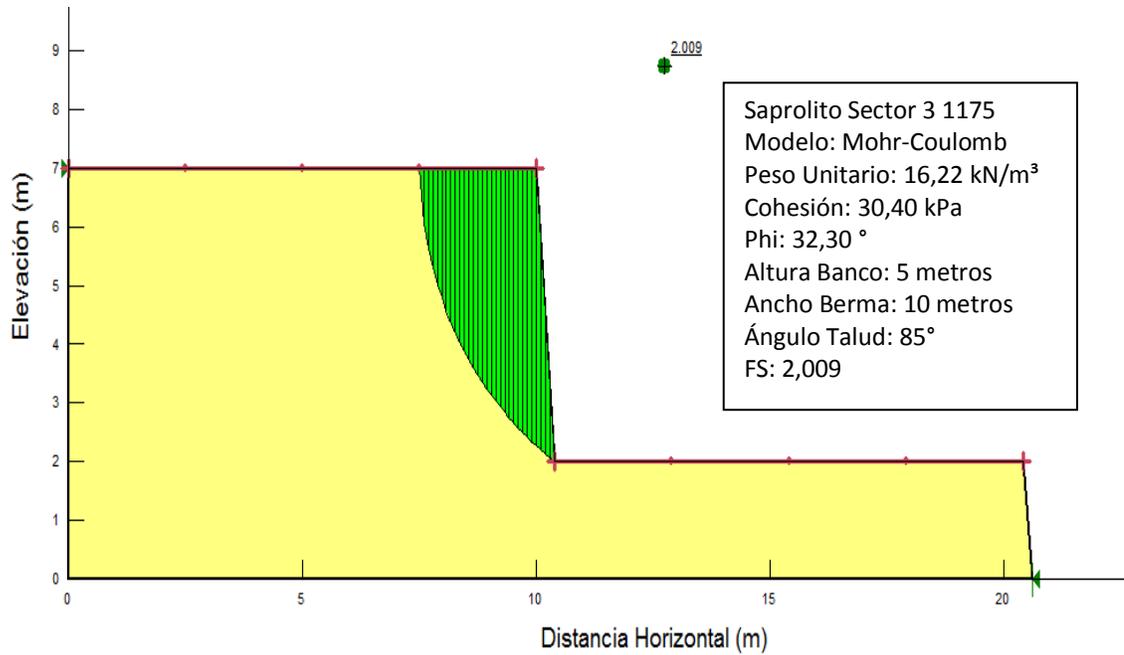


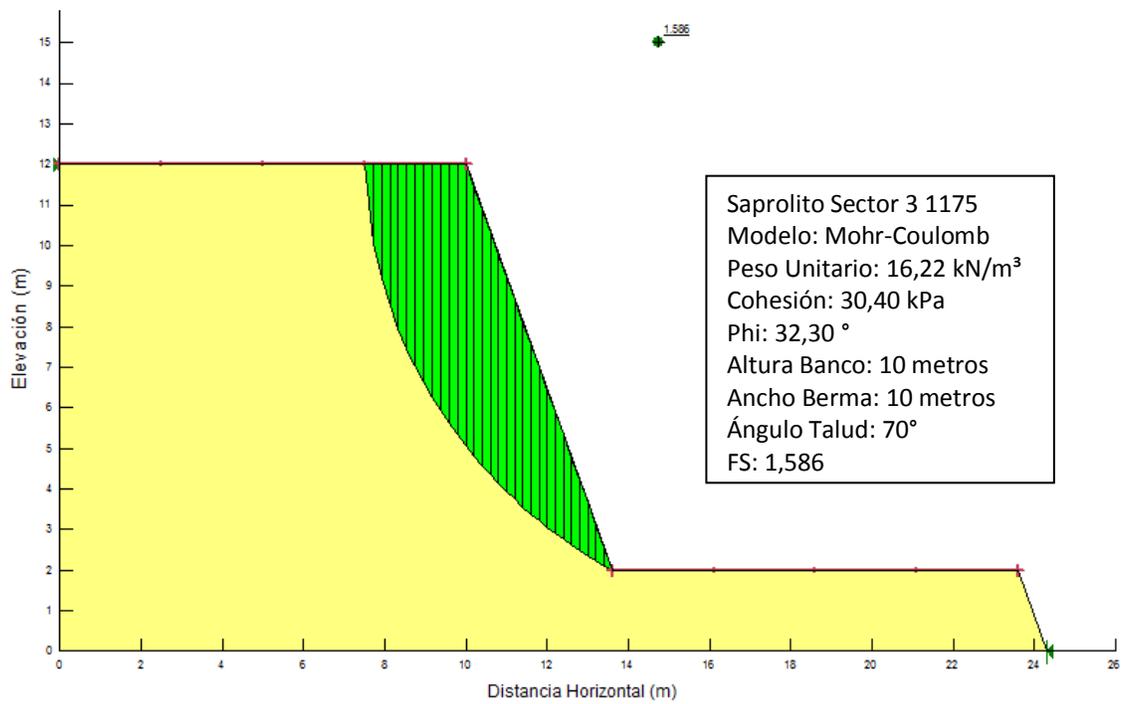
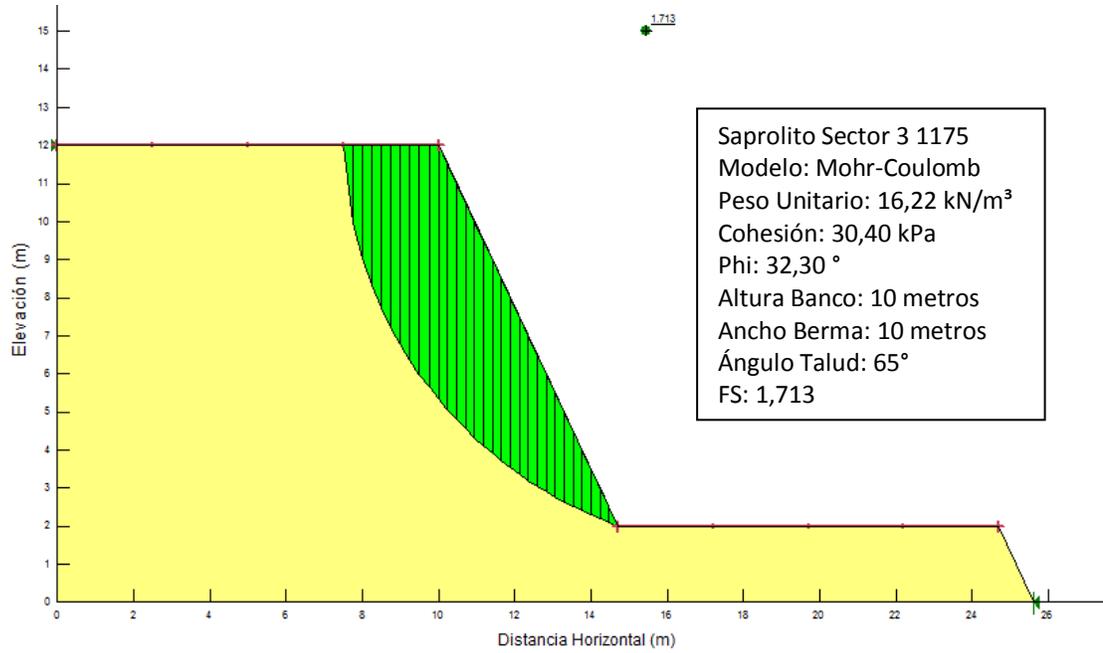


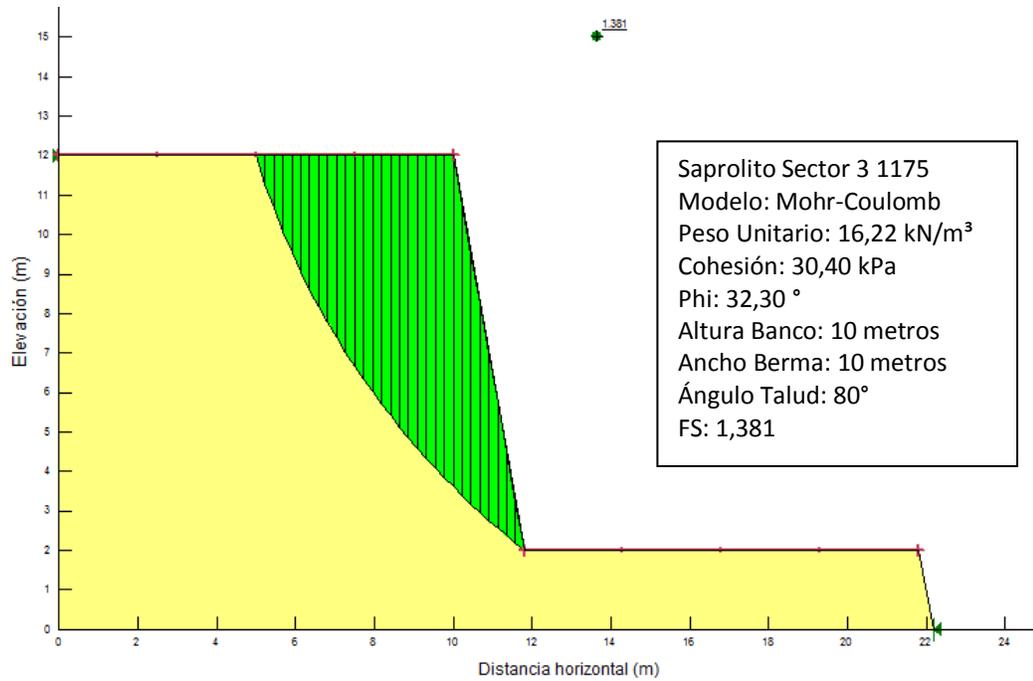
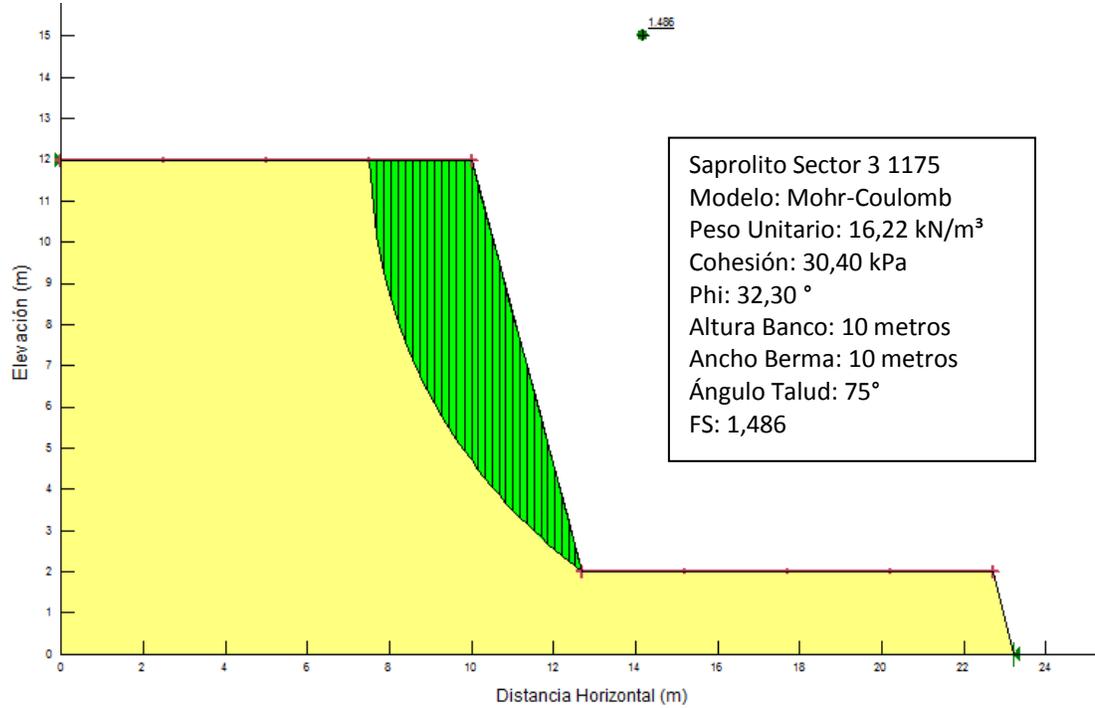


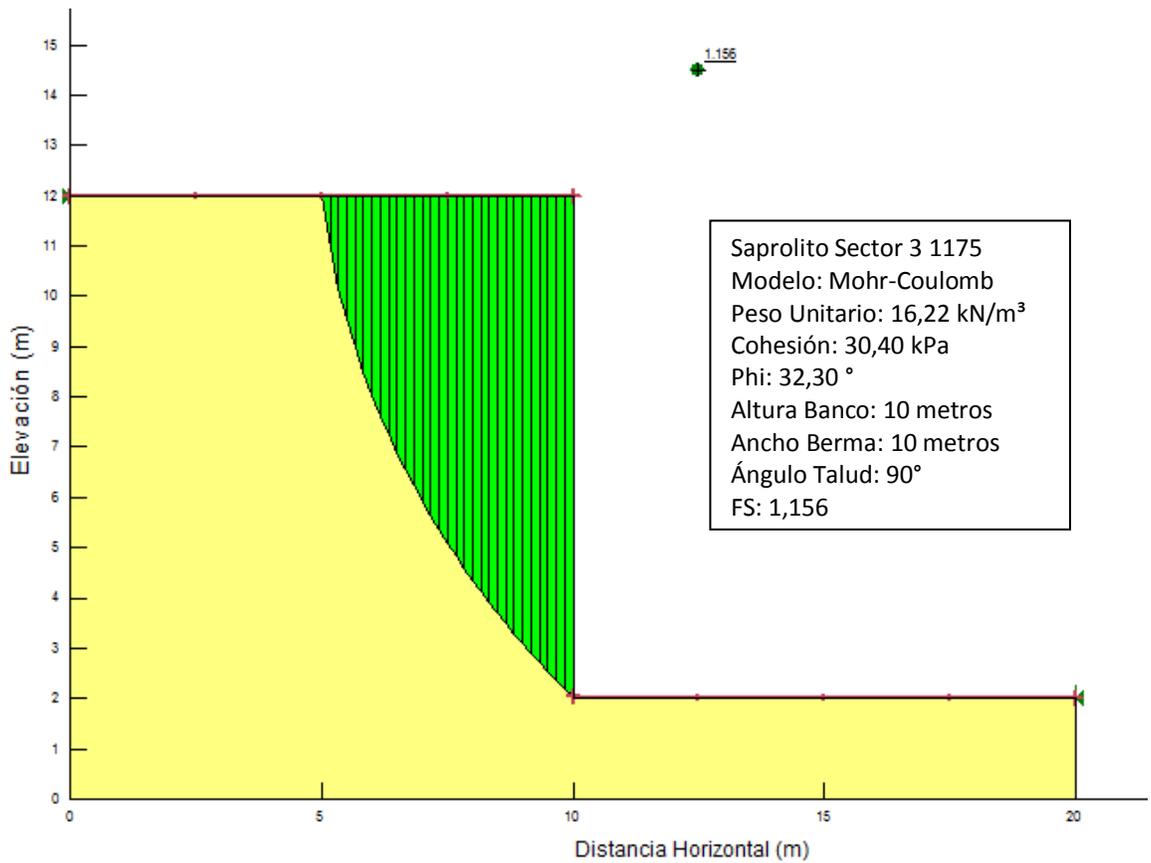
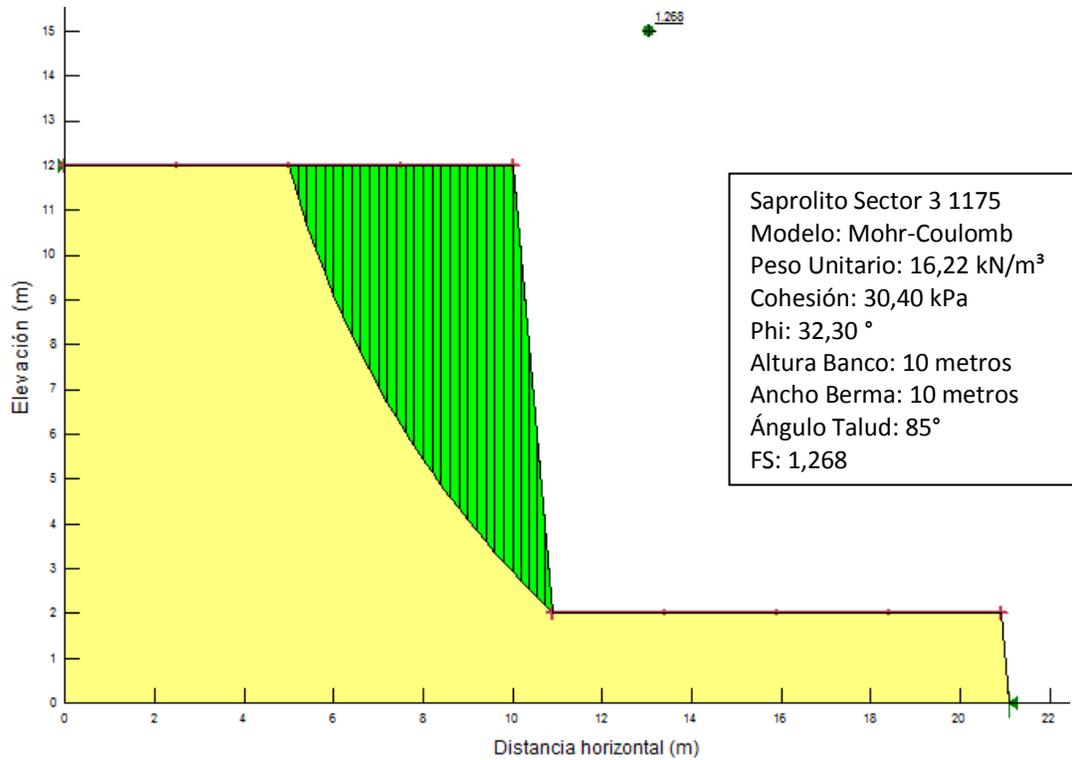












Los valores de factor de seguridad obtenidos se muestran en las Tablas 5.8 (con los valores menores a 1,200 resaltados en rojo), con la configuración original de los taludes de mina estudiados (Berma = 5m y Altura = 5,); Tabla 5.9, variando la longitud de berma a 10 m para ambas configuraciones se tomó en cuenta la limitación técnica que implica la maquinaria actual empleada de 5 m en la longitud de brazo. Las Tablas 5.10 y 5.11 presentan alturas de 10 metros, con la finalidad de determinar si era posible un talud más alto que mantuviese las condiciones de estabilidad y permitiese crear una geometría mejor para el aprovechamiento de la actividad minera, manteniendo las condiciones topográficas de elevación (múltiplos de 5 m) requeridas por la empresa.

**Tabla 5.8. Factor de seguridad para taludes con 5 metros de berma y 5 metros de altura**

Ángulo	SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 2	SECTOR 3	SECTOR 3
	LATERITA	LATERITA	SAPROLITA	LATERITA	SAPROLITA
	S1-1260	S2-1250	S2-1240	S3-1195	S3-1175
65°	2,875	2,360	5,474	1,732	2,702
70°	2,701	2,219	5,171	1,616	2,503
75°	2,514	2,065	4,849	1,503	2,358
80°	2,362	1,933	4,592	1,403	2,210
85°	2,167	1,764	4,247	1,277	2,009
90°	2,008	1,636	3,970	1,171	1,846

**Tabla 5.9. Factor de seguridad para taludes con 10 metros de berma por 5 metros de altura**

Ángulo	SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 2	SECTOR 3	SECTOR 3
	LATERITA	LATERITA	SAPROLITA	LATERITA	SAPROLITA
	S1-1260	S2-1250	S2-1240	S3-1195	S3-1175
65°	2,875	2,36	5,474	1,746	2,702
70°	2,701	2,219	5,171	1,626	2,533
75°	2,514	2,065	4,849	1,503	2,358
80°	2,362	1,933	4,586	1,403	2,21
85°	2,167	1,764	4,247	1,277	2,009
90°	2,019	1,635	3,990	1,175	1,856

**Tabla 5.10. Factor de seguridad para taludes con 10 metros de berma por 10 metros de altura**

Ángulo	SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 2	SECTOR 3	SECTOR 3
	LATERITA	LATERITA	SAPROLITA	LATERITA	SAPROLITA
	S1-1260	S2-1250	S2-1240	S3-1195	S3-1175
65°	1,735	1,475	3,120	1,175	1,713
70°	1,611	1,372	2,919	1,067	1,586
75°	1,507	1,281	2,735	0,979	1,486
80°	1,400	1,188	2,542	0,892	1,381
85°	1,290	1,088	2,346	0,806	1,268
90°	1,173	0,992	2,154	0,719	1,156

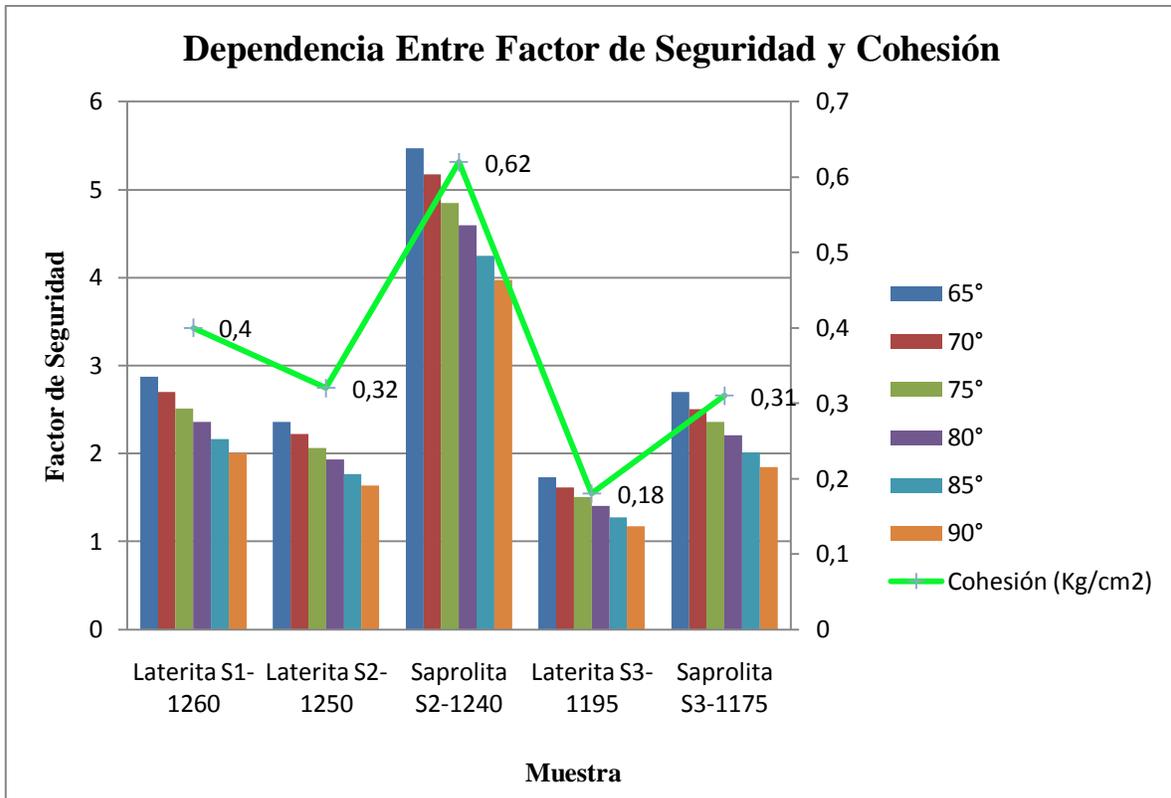
**Tabla 5.11. Factor de seguridad para taludes con 5 metros de berma por 10 metros de altura**

Ángulo	SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 2	SECTOR 3	SECTOR 3
	LATERITA	LATERITA	SAPROLITA	LATERITA	SAPROLITA
	S1-1260	S2-1250	S2-1240	S3-1195	S3-1175
65°	1,708	1,455	3,098	1,166	1,699
70°	1,589	1,349	2,913	1,067	1,58
75°	1,47	1,240	2,713	0,969	1,45
80°	1,374	1,152	2,542	0,892	1,342
85°	1,265	1,053	2,346	0,806	1,221
90°	1,155	0,954	2,150	0,718	1,099

### 5.8 Dependencia de Variables (cohesión y ángulo versus Factor de Seguridad)

Bajo cualquier configuración geométrica se aprecia la influencia directa del parámetro cohesión en el valor del factor de seguridad obtenido. La asociación antes mencionada puede evidenciarse con mayor claridad, en los factores de seguridad obtenidos en la evaluación de estabilidad para un ancho de berma y altura de talud de cinco (5) metros, como se muestra en la Figura 5.12, donde la muestra S3-1195 (laterita) con un valor de cohesión de 0,18 Kg/cm<sup>2</sup> (el más bajo de las cinco muestras ensayadas), obtuvo los factores de seguridad más bajos, en todas las configuraciones de talud realizadas durante la evaluación de estabilidad. Mientras que la muestra S2-1240, con la máxima cohesión encontrada de 0,62 Kg/cm<sup>2</sup>, obtuvo los mayores factores de seguridad.

En la Figura 5.12, los factores de seguridad asociados a los modelos muestran un comportamiento proporcional a dicho parámetro, donde a mayor ángulo de talud, decrece el factor de seguridad encontrado.



**Figura 5.12. Relación existente entre cohesión y los factores de seguridad asociados. Para configuración de ancho de berma y altura de banco de 5 metros**

Debido a lo antes expuesto se verificó la variación del factor de seguridad con respecto a la cohesión, para esto se tomó el corte asociado a la muestra del nivel 1160 correspondiente al sector 1 y de ángulo de inclinación de 65°, y se le modificó la cohesión de entrada al modelo, cambiándola en este caso a “0 kPa”; lo antes mencionado resultó en un factor de seguridad de 0,239 con una superficie de falla muy pequeña (ver figura 5.13), esto implica que el modelo geotécnico generado a partir de los cortes no se ajusta del todo a la realidad, aunque el factor de seguridad obtenido es aceptable debido al cambio en cohesión, la superficie de falla no representa una amenaza significativa a las operaciones de la explotación.

Observar como varía el factor de seguridad es indispensable para acercarse al modelo geotécnico a la realidad, ya que el efecto constante de la meteorización favorece la pérdida de la cohesión por efecto del transporte de algunos minerales.

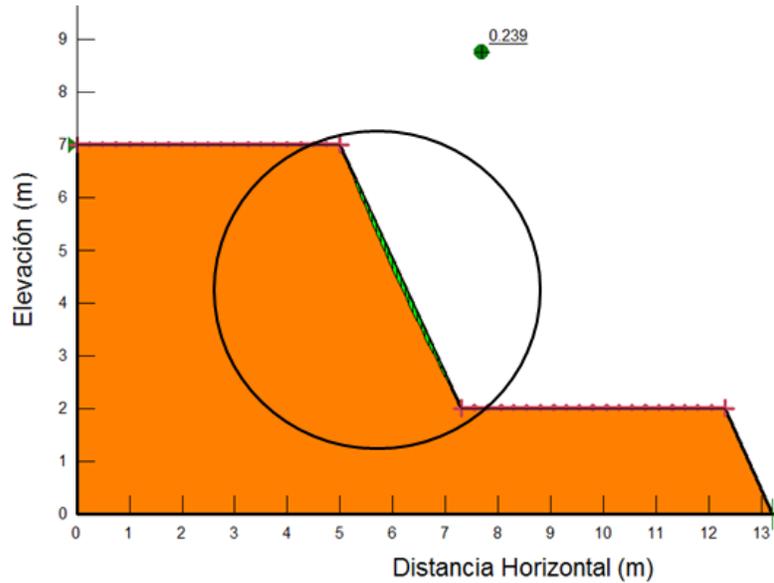


Figura 5.13. Ejemplo de corte con cohesión igual a “0 kPa”

En las tablas 5.12, 5.13, 5.14 y 5.15., se muestran los factores de seguridad junto con el ángulo de talud mínimo al cual aún permanece estable, es decir, los valores máximos de ángulo de talud para cada una de las configuraciones estudiadas. Las Tablas 5.12 y 5.13 muestran que los taludes se mantienen estables para un ángulo de hasta 90°, siendo el mínimo de 85°; mientras que para las configuraciones con altura de 10 metros, la muestra S3-1195 no es estable (condición F.S.  $\leq 1,2$ ), por lo que se descarta la posibilidad de emplear alguna de estas geometrías.

Es importante enfatizar, como se indica en las limitaciones de la presente investigación, que la influencia de las presiones del agua no fue incluida en este estudio de estabilidad en taludes, por la inexistencia de puntos de control, tema que sería importante controlar en investigaciones posteriores.

Tabla 5.12. Factor de Seguridad mínimo para estabilidad (5x5 m)

Geometría	Material	Características			
		c	$\phi$	Ángulo	F.S.
Berma = 5 metros Altura = 5 metros.	<b>SECTOR 1</b>				
	Laterita	0,4	25,17	90°	2,008
	<b>SECTOR 2</b>				
	Laterita	0,32	25,58	85°	1,764
	Saprolito	0,62	30,33	90°	3,970
	<b>SECTOR 3</b>				
	Laterita	0,18	31,51	85°	1,277
Saprolito	0,31	32,30	90°	1,846	

**Tabla 5.13. Factor de Seguridad mínimo para estabilidad (10x5 m)**

Geometría	Material	Características			
		c	$\phi$	Ángulo	F.S.
Berma = 10 metros Altura = 5 metros.	SECTOR 1				
	Laterita	0,4	25,17	90°	2,019
	SECTOR 2				
	Laterita	0,32	25,58	90°	1,635
	Saprolito	0,62	30,33	90°	3,990
	SECTOR 3				
	Laterita	0,18	31,51	85°	1,277
Saprolito	0,31	32,30	90°	1,846	

**Tabla 5.14. Factor de Seguridad mínimo para estabilidad (10x10 m)**

Geometría	Material	Características			
		c	$\phi$	Ángulo	F.S.
Berma = 10 metros Altura = 10 metros.	SECTOR 1				
	Laterita	0,4	25,17	85°	1,290
	SECTOR 2				
	Laterita	0,32	25,58	75°	1,281
	Saprolito	0,62	30,33	90°	2,154
	SECTOR 3				
	Laterita	0,18	31,51	<b>INESTABLE</b>	
Saprolito	0,31	32,30	90°	1,856	

**Tabla 5.15. Factor de Seguridad mínimo para estabilidad (5x10 m)**

Geometría	Material	Características			
		c	$\phi$	Ángulo	F.S.
Berma = 5 metros Altura = 10 metros.	SECTOR 1				
	Laterita	0,4	25,17	85°	1,290
	SECTOR 2				
	Laterita	0,32	25,58	75°	1,281
	Saprolito	0,62	30,33	90°	2,154
	SECTOR 3				
	Laterita	0,18	31,51	<b>INESTABLE</b>	
Saprolito	0,31	32,30	85°	1,268	

De acuerdo con esto, las alturas para la estabilidad de taludes deben mantenerse en 5 metros, como lo indica la condición geométrica de explotación actual, para condiciones de estabilidad en taludes finales de mina puede ser de hasta 85° con bermas entre 5 y 10 m de longitud.

Sin embargo, en vista de que no fue tomado en cuenta ningún valor para las presiones hidrostáticas, se propone emplear, como medida preventiva, un ángulo de 70° para los taludes finales de mina, con bermas de 5 metros de longitud (que pueden variar hasta 10 m en los casos que se requiera) y 5 metros de altura.

Con esta configuración, fue realizado un estudio final de estabilidad que incluye siete bancos para los sectores 1 y 2 y cinco bancos para el sector 3. En los que se emplearon las condiciones de cohesión y fricción menos favorables para cada sector y se varía el Peso Unitario, con la finalidad de realizar una aproximación a los valores reales para cada sector. Es importante acotar que solo se emplearon tres (3) valores para cada talud por limitaciones de la licencia del programa empleado.

Las Figuras 5.14, 5.15 y 5.16, muestran la geometría descrita con anterioridad. Se puede observar que los Factores de Seguridad alcanzados son superiores al 1,2, tomado como el factor límite de estabilidad.

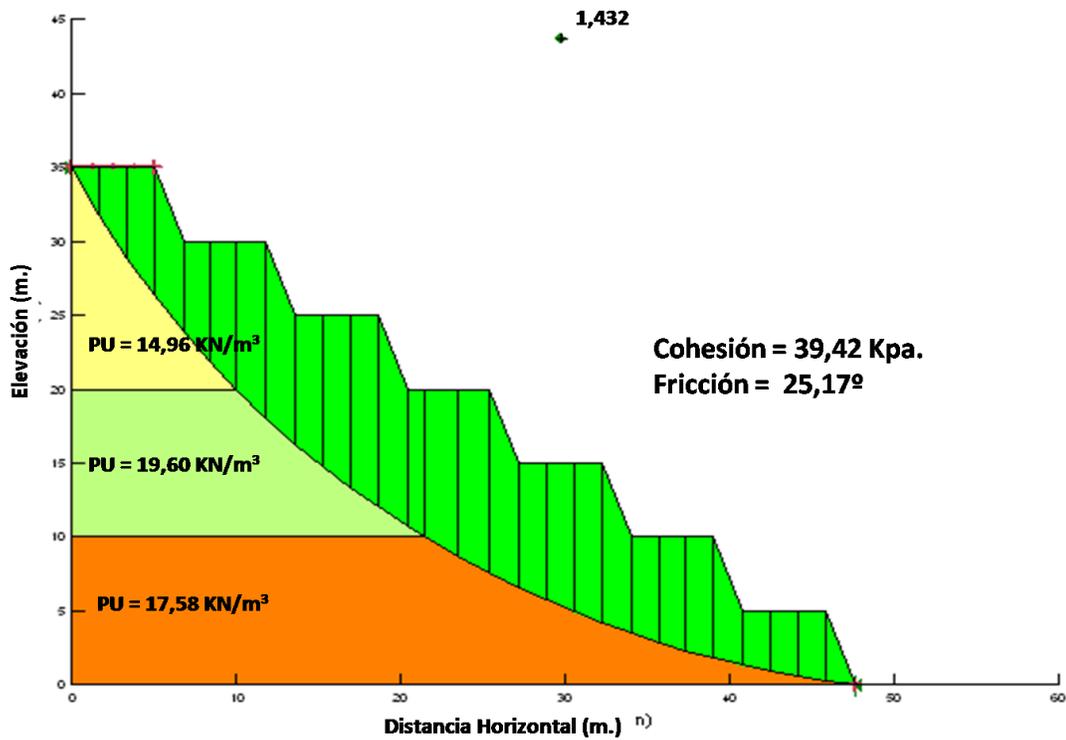


Figura 5.14. Análisis del talud total para el Sector 1

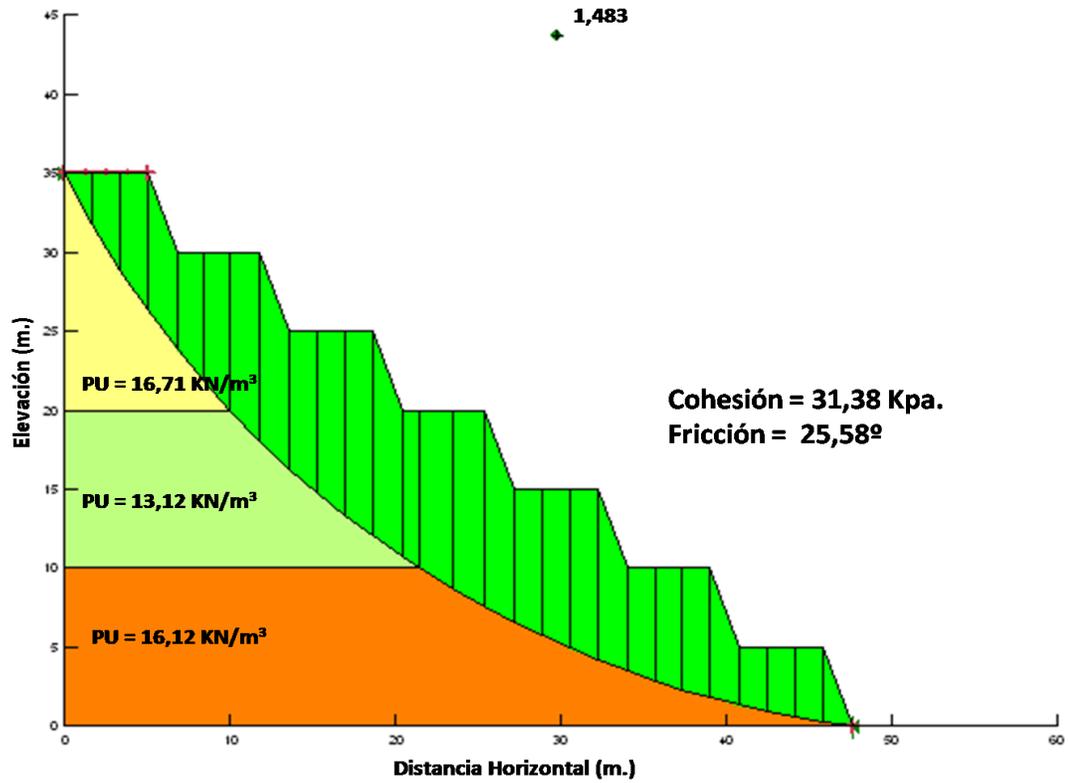


Figura 5.15. Análisis del talud total para el Sector 2

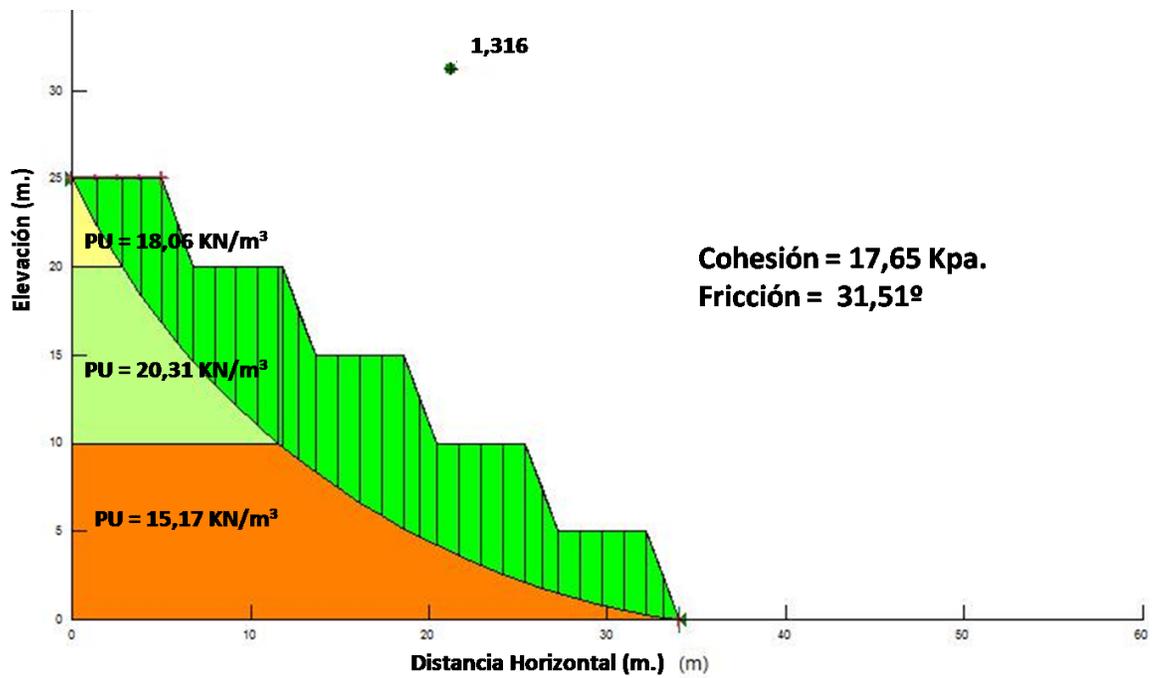


Figura 5.16. Análisis del talud total para el Sector 3.

Lo que nos indica que la configuración general de talud de mina para los tres sectores es estable. Igualmente, se debe aclarar que las probabilidades de falla como muestran estas figuras son menos probables, tomando en cuenta que el grado de meteorización del material en la zona de falla corresponde a una roca descompuesta más competente a la que podría presentarse en los taludes por separado, como se observa en la Figura 5.17.

Finalmente, se propone una geometría para los taludes finales de mina con bancos y bermas de cinco metros de altura, con una inclinación de 70 grados, y con un ángulo de talud total igual a  $35^\circ$ , como se muestra en la Figura 5.18.

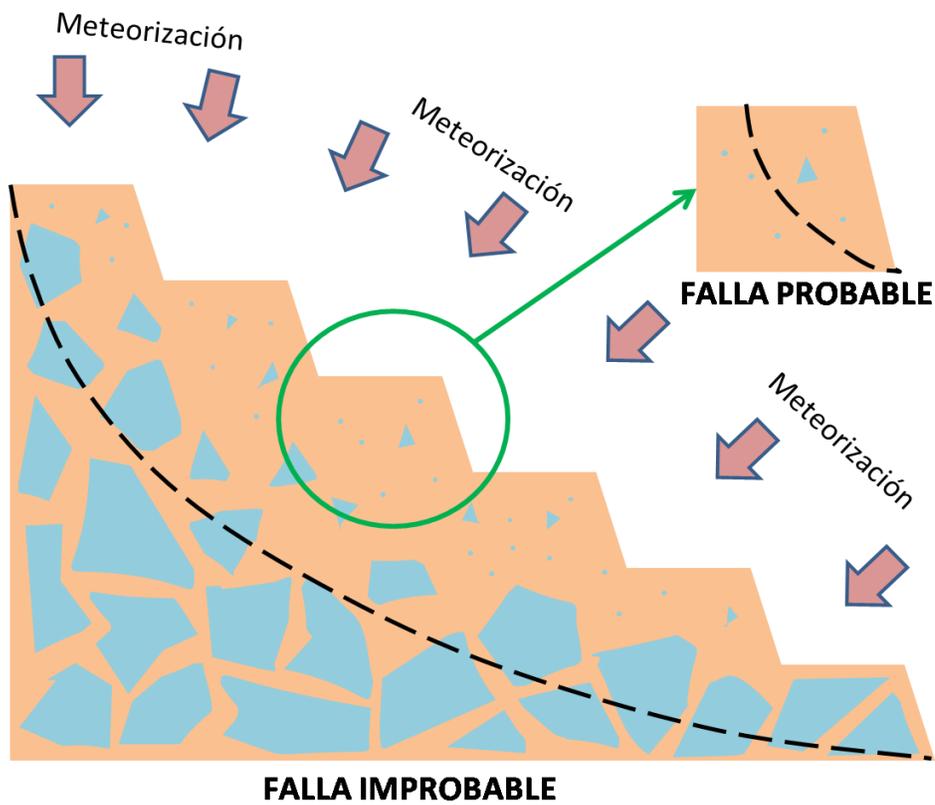
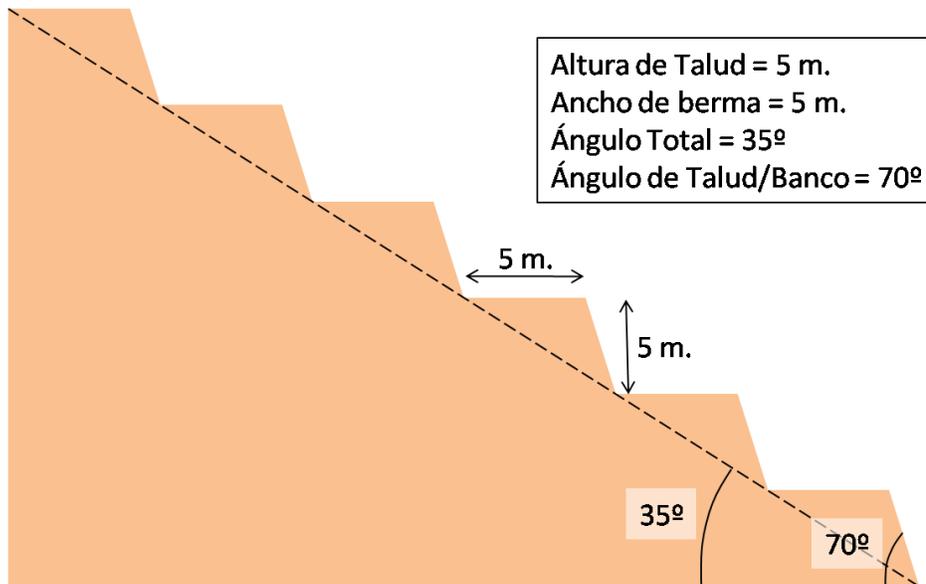


Figura 5.17. Representación gráfica para la probabilidad de falla del talud total



**Figura 5.18. Representación gráfica para la probabilidad de falla del talud total**

## 5.9 Análisis de Botaderos Finales

### 5.9.1 Observaciones de Campo

Los depósitos de materiales, en el área de explotación son conformados por medio de vertido interno y empuje con tractor. Durante el recorrido no se apreció la presencia de asentamientos ni grietas de tracción superiores a 5 mm, en ninguno de ellos. Las plataformas y rampas de acceso presentaron un estado adecuado para el acceso y trabajo de equipos o maquinaria pesada.

A una profundidad de 30 centímetros se constata la presencia de material húmedo, tanto en la cara de los taludes como en los pisos y bermas de las estructuras, siendo este un material con un alto contenido de finos en los casos de depósitos de laterita o saprolito, y grueso en el caso de la arena industrial o escoria de refinación.

La acción erosiva del viento es muy suave, constatándose por la poca presencia de fino, mientras que la acción del agua se aprecia a través de la formación de cárcavas de unos 10 a 20 mm en la cara de los taludes, hecho que se manifiesta solo en el caso de depósitos de laterita ferruginosa.

### 5.9.2 Ángulos de Talud

Los depósitos presentaron ángulos de talud en el intervalo de 30° y 40°, lo cual concuerda con los valores de ángulo de reposo obtenidos por medio de los ensayos de cono y cilindro. En la tabla 5.16 se presentan algunas mediciones de ángulo de talud, realizadas con el programa de evaluación geológico minero, Estas se realizaron sobre el depósito de laterita ferruginosa de los sectores 1,2 y 3; y el depósito de escoria del sector 3.

**Tabla 5.16. Ángulos de talud de depósitos Finales**

Material	Tipo de Depósito	Sector	Ángulo
Escoria	Permanente	3	32
			32
Laterita	Permanente	3	35
			34
			36
Laterita	Permanente	2	38
			33
			34
			36
Laterita	Permanente	1	36
			32

## 5.10 Estabilidad de Depósitos Finales

### 5.10.1 Laterita Ferruginosa

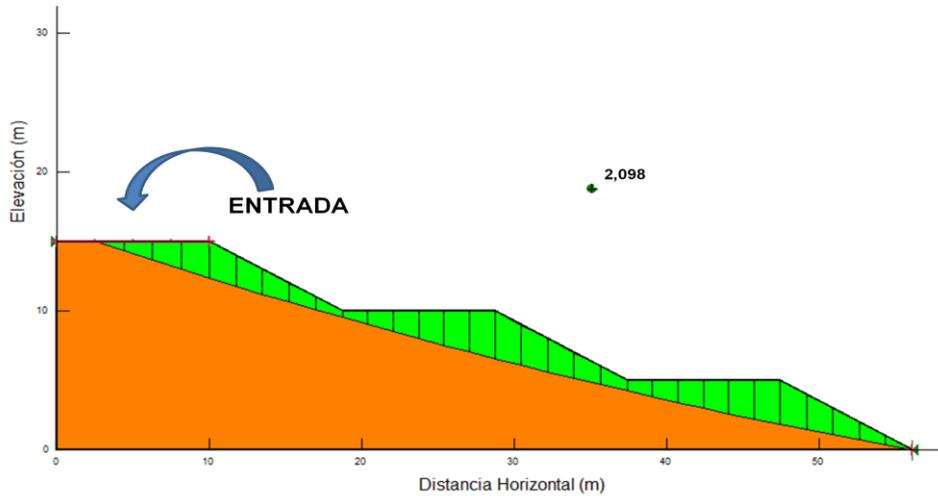
A propósito de evaluar la estabilidad del material suelto y de acuerdo a las características de los materiales in situ, se decide fijar los parámetros de altura y ancho de berma de las escombreras en cinco y diez metros respectivamente así como el ángulo de talud en 30°. Utilizando los valores de ángulo de reposo, que se muestran en el Anexo 2, como los valores de ángulo fricción y variando la cohesión, se obtuvo una serie de factores de seguridad mostrados en la Tabla 5.17, de los cuales solo el correspondiente a un valor de ángulo de fricción de 30° y cohesión igual a 0 resultó ser menor a 1,2.

**Tabla 5.17. Factores de Seguridad para Depósitos Finales de Laterita con Berma de 10 metros, Altura de 5 metros y ángulo de Talud de 30°**

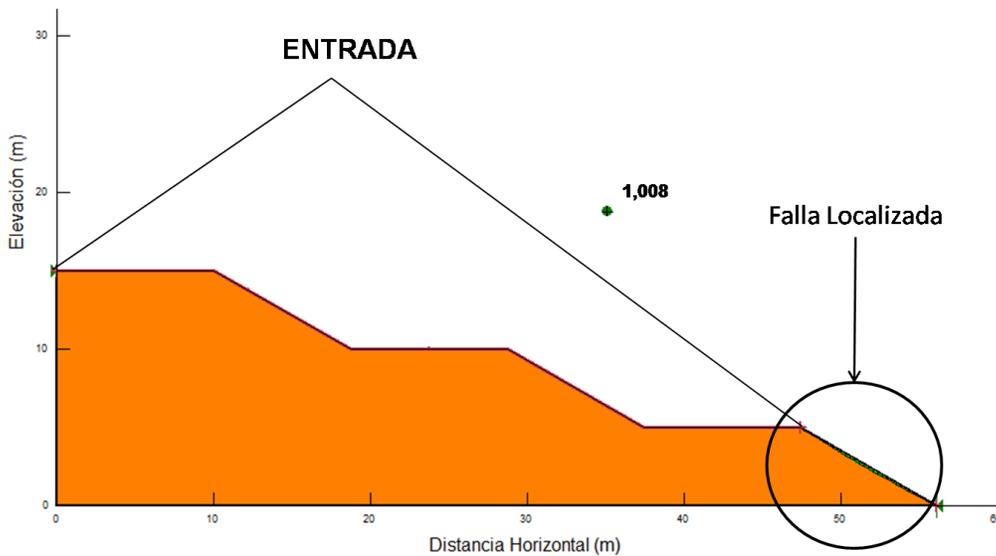
Phi = 30°	
Cohesión (kPa)	FACTORES DE SEGURIDAD
15	2,993
10	2,460
5	1,832
0	1,008
Phi = 35°	
Cohesión (kPa)	FACTORES DE SEGURIDAD
15	3,289
10	2,733
5	2,083
0	1,223

Se aprecia que a medida que la cohesión disminuye el factor de seguridad también lo hace, sin embargo, en ninguno de los casos evaluados (ni siquiera con cohesión igual a "0") las fuerzas que se oponen al movimiento de la masa de material son inferiores a las que lo favorecen. Lo antes dicho indica que, sin importar cuál sea la cohesión de este material, bajo las condiciones establecidas la probabilidad de falla es muy baja.

Durante la realización del análisis de estabilidad se pudo apreciar como el cambio de la entrada de los círculos de falla en el análisis de estabilidad afecta obviamente el círculo crítico obtenido, es así como limitar la "entrada" a la berma del banco más alto, como se puede observar en la Figura 5.19, resulta en la obtención de un círculo crítico con un factor de seguridad más alto que cuando se extiende dicha entrada a todas las bermas y caras de talud, como se puede observar en la Figura 5.20.



**Figura 5.19. Depósito final de laterita con entrada de los círculos críticos limitada al primer banco**



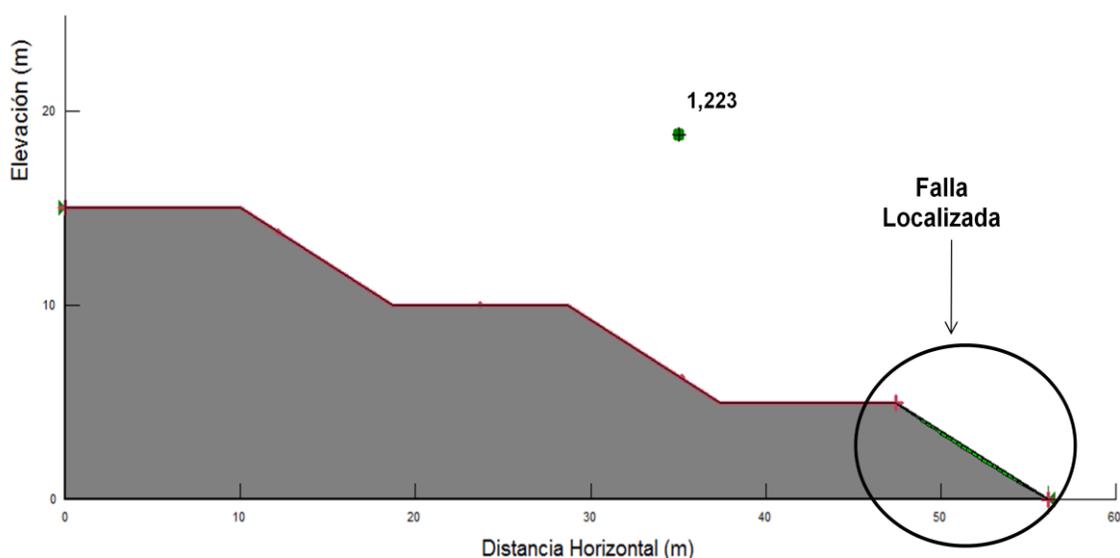
**Figura 5.20. Depósito final de laterita con entrada de los círculos críticos desde el primer banco hasta la última berma**

### 5.10.2 Subproducto del Proceso de Reducción de Ferroníquel (Escoria de Reducción)

Utilizando los mismos parámetros geométricos que en el análisis de estabilidad para laterita ferruginosa se realizó el análisis para depósitos de escoria de reducción. En el mismo se utilizó los valores de ángulo de reposo obtenidos por los métodos de cono y cilindro.

Se obtuvo que para un ángulo de fricción igual a  $35^\circ$  y con una cohesión igual a 0 kPa el factor de seguridad fue de 1,223, y para un ángulo de fricción de  $39^\circ$  el factor de seguridad fue igual a 1,414.

En el análisis de estabilidad, los círculos críticos asociados a los dos casos evaluados se presentaron como fallas localizadas en un banco del depósito como se muestra en la Figura 5.21, esto indica que la posibilidad de falla a través del talud principal es mucho menor que la antes mencionada.



**Figura 5.21. Depósito final del subproducto con entrada de los círculos críticos desde el primer banco hasta la última berma**

Se propone que los depósitos finales de estériles (laterita ferruginosa y escoria o subproducto de refinación) no sobrepasen los 15 metros de altura, con bancos de cinco metros de altura e inclinación de  $30^\circ$ , en caso de encontrarse en laderas. La construcción de dichas estructuras puede hacerse por vertido interno y posterior empuje con tractor, realizando la misma en fases ascendentes superpuestas, esto último debido a que se aumenta la compactación de los materiales.

## 5.11 Análisis en Roca

### 5.11.1 Sección Fina y Petrografía

La sección fina se realizó en una muestra de mano, reconocida inicialmente como una peridotita serpentinizada, al llevarla al microscopio se apreció el grado de alteración tan drástico que ha sufrido la roca por efecto de la serpentinización, como puede observarse en la Figura 5.22. Las texturas predominantes en la muestra son del tipo mesh y bastita. Los granos aislados de menor tamaño son olivino y ortopiroxenos, éstos se encuentran rodeados por una malla de serpentina sin orientación definida.

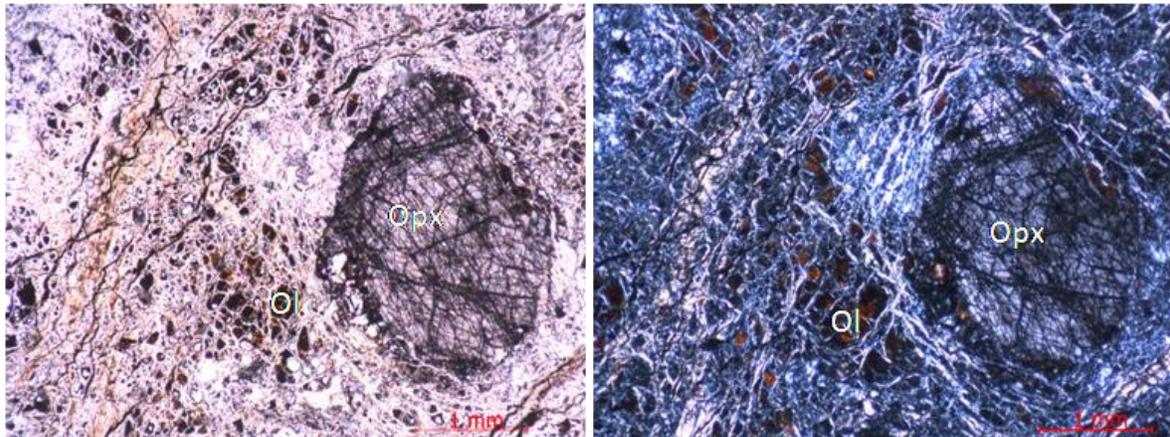


Figura 5.22. Vista general de la sección fina, se observa la avanzada serpentinización de Ol y Opx. A la izquierda la vista nicol paralelo (NP) y a la derecha nicol cruzado (NC)

La textura tipo *mesh* (malla) se componen principalmente de olivino y crisotilo, aunque en algunas ocasiones se observa lizardita o antigorita. Esta textura es apreciable en la Figura 5.23.

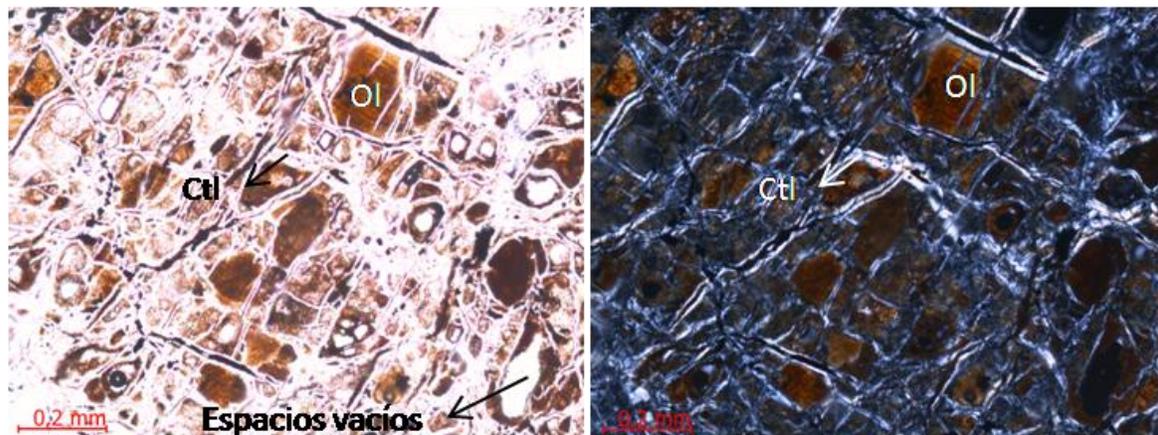


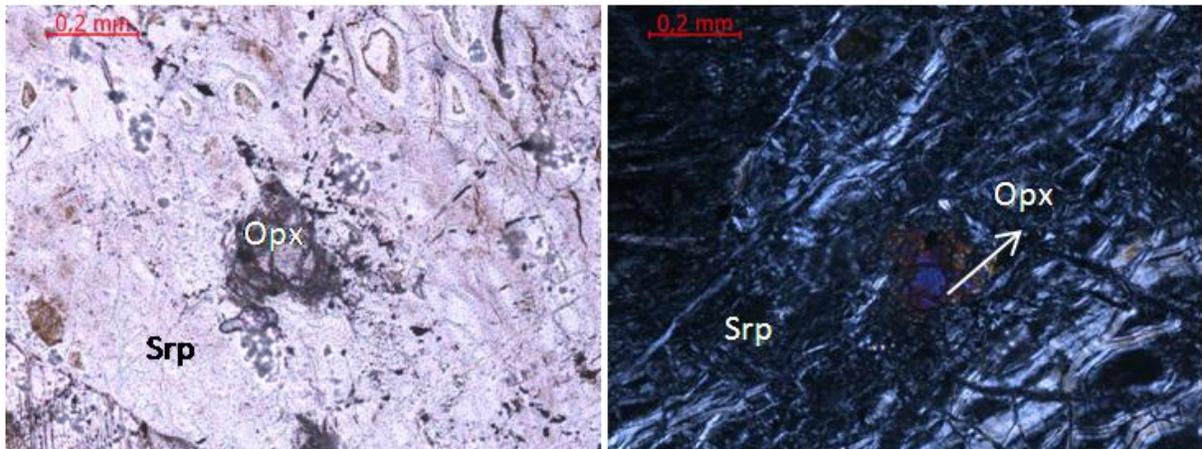
Figura 5.23. Textura mesh característica. Fotomicrografías NP (izq.) y NC (der.)

La textura tipo *mesh* describe la tendencia muy similar a una “malla” se produce por el ingreso de agua a las microfracturas del mineral, promoviendo la alteración o serpentinización, este reemplazo a crisotilo en la matriz olivínica puede se puede distinguir claramente en la Figura 5.24, así como también los espacios vacíos, producto de la lixiviación de los elementos que le conforman.



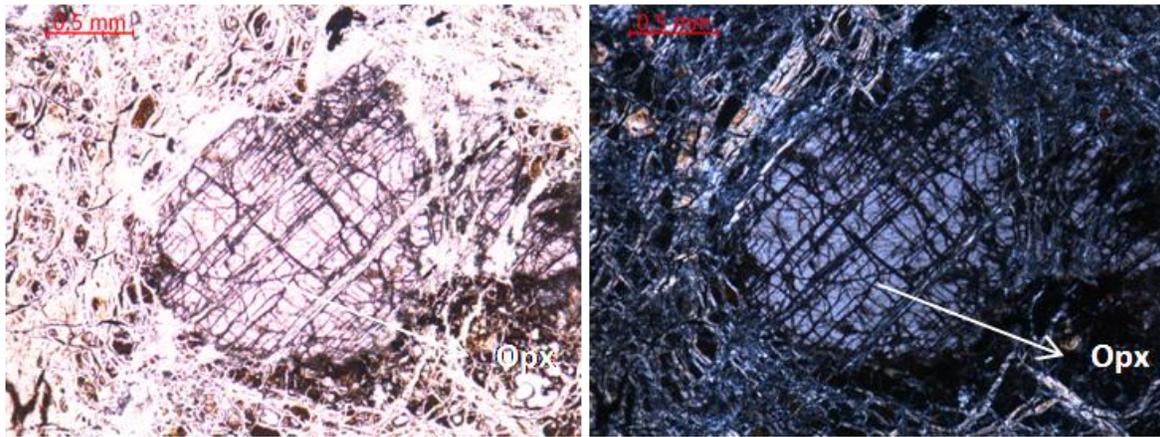
**Figura 5.24. Textura mesh característica. Fotomicrografías NP (izq.) y NC (der.)**

La textura de interpenetración de los cristales, puede observarse en la alteración de los ortopiroxenos, de la Figura 5.25. Donde, donde se observa una bastita sustitutiva del ortopiroxeno.



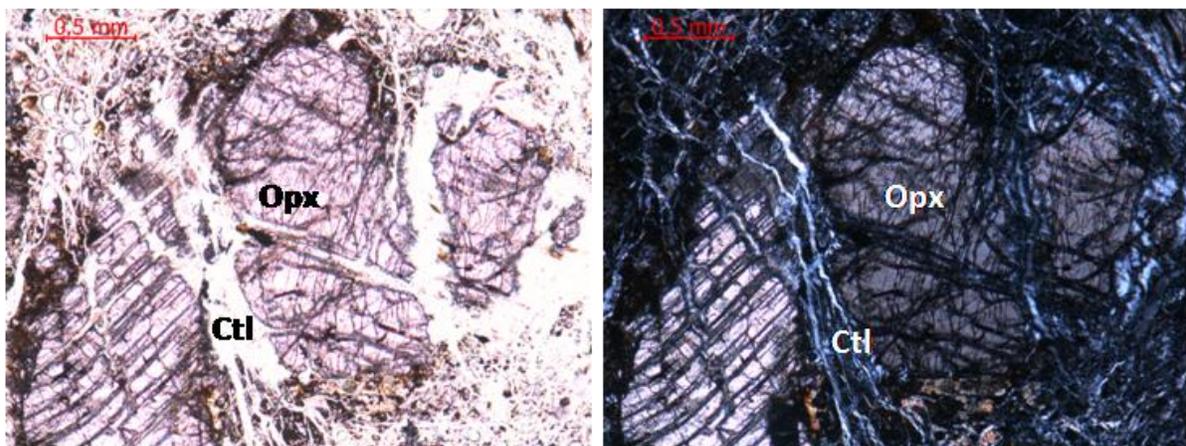
**Figura 5.25. Textura de interpenetración de cristales de antigorita. Fotomicrografías NP (izq.) y NC (der.)**

Los ortopiroxenos, aunque alterados se desarrollan a lo largo de los bordes de grano y siguiendo los planos de exfoliación, manteniendo sus clivajes bien definidos, pudiendo observar su perpendicularidad. Esto es observable en la Figura 5.26.



**Figura 5.26. Ortopiroxenos. Fotomicrografías NP (izq.) y NC (der.)**

Estos minerales están rodeados generalmente por crisotilo, como puede distinguirse en la Figura 5.27, donde puede apreciarse nuevamente la textura mallada característica de esta serpentina, siguiendo las microfrazas del mineral.



**Figura 5.27. Reemplazamiento de Opx por Ctl. Fotomicrografías NP (izq.) y NC (der.)**

### 5.11.2 Análisis de Estabilidad en Roca

La evaluación del talud de roca se efectuó siguiendo el Apéndice 1. Se efectuó el levantamiento de un único talud de roca, que se muestra en la Figura 5.28, que cumplía las condiciones de seguridad necesarias para su acceso y evaluación, este se encuentra ubicado en el Sector 1 del yacimiento, cuyas coordenadas locales según se muestran en la Tabla 5.18. Este es un talud descubierto a raíz de la explotación mineral reciente.

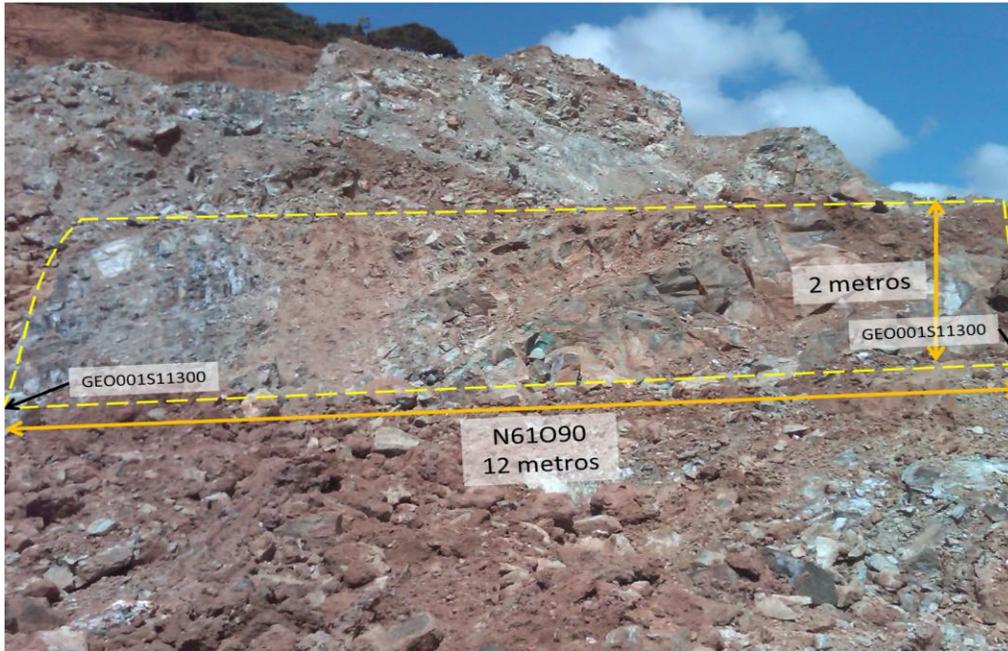


Figura 5.28. Levantamiento talud de roca del Sector 1

Tabla 5.18. Coordenadas del levantamiento del talud de roca Sector 1

Punto	Coord. (N)	Coord. (E)	Longitud (m)	Dirección
GEO001S11300	861,528	5205,323	12 m	N61W90
GEO002S11300	864,732	5193,255		

Se observó que este talud forma parte de la zona IV de la descripción lito-estratigráfica del yacimiento, el color observado es de verde a gris, está constituido por peridotitas serpentinizadas, en forma de bloques de dimensiones variables fuertemente fracturados moderadamente meteorizados, además, hay presencia de garnierita, principalmente en forma de *patinas*, y ópalo en menor proporción, entre algunas discontinuidades.

El talud se encuentra constituido por un medio discontinuo de roca compuesto de bloques sólidos separados por discontinuidades, es decir, las propiedades tenso-deformacionales del macizo son de naturaleza anisotrópica, debido a las características de las discontinuidades, así como la litología de la roca matriz y su historia evolutiva.

Los tipos de rotura que son hallados son superficies preexistentes, el talud presenta fuerte fracturamiento, generando superficies de corte, es posible que la forma final de deslizamiento en roca sea también de tendencia circular, siguiendo la forma de falla de los suelos, por la presencia de numerosos bloques de distinto tamaño.

Se hallaron cuatro familias principales de diaclasas, con rumbos NE y NO (una de las discontinuidades), con espaciado moderadamente junto, y algunas discontinuidades ocasionales. La continuidad es moderada, entre 1 y 2 m

La evaluación de la superficie, hace entrever la presencia de rugosidad del tipo escalonado-liso, el índice de resistencia de la pared rocosa es del tipo  $R_5$ , correspondiente a roca muy dura, ya que requiere de muchos golpes con el martillo para fracturar.

La abertura de las discontinuidades es parcialmente abierta ( $\approx 0,43$  mm Promedio de todas las familias). En algunas discontinuidades se encuentran brechas de ópalo, aunque en su mayoría las aberturas son vacías; estas brechas tienen una abertura aproximada de 0,6 mm Con resistencia de  $R_0$ , es decir, del tipo roca extremadamente blanda, (aunque se está en presencia de un mineral) según los índices de campo.

En las discontinuidades sin rellenos, las juntas son secas sin evidencias de flujo de agua (filtración tipo II), mientras que para las discontinuidades rellenas, el relleno se mostró húmedo, pero sin agua libre (tipo II).

En la medición de las discontinuidades, se hallaron cuatro familias de diaclasas bien definidas, y pequeñas discontinuidades ocasionales, por lo que se clasifica el macizo como de Tipo VIII. El tamaño de los bloques es medio, según el parámetro  $J_v$  ( $J_v = 14$ ). Según el tamaño y la forma, el macizo rocoso está conformado por bloques con una dimensión considerable menor que las otras dos, del tipo III o Tabular, aunque en la zona inferior del talud se observan bloques más pequeños equidimensionales. Según esto, se estima un RQD (*rock quality designation*) o grado de fracturación de la roca de 66,8% aproximadamente; lo que da al macizo una calidad media. Sin embargo, estos parámetros pueden cambiar en taludes donde puede observarse un diaclasamiento con tendencia brechada, que por motivos de seguridad y restricciones de acceso, no fueron estudiados.

De acuerdo con estas mediciones podemos ubicar al talud estudiado, dentro de los macizos de clase III, de calidad media, grado de fracturación alto y grado de meteorización III (moderadamente meteorizado), lo que permite estimar los siguientes valores empíricos de resistencia:

**Tabla 5.19. Resumen de las características del macizo rocoso**

Clase de roca	III	Promedio
RMR	41-60	50,5
Cohesión (MPa)	0,2-0,3	0,25
Ángulo de rozamiento Interno	25°-35°	30°

Para el estudio de las familias de diaclasas se tomó en cuenta el ángulo promedio de 30° calculado previamente. La falla planar no es posible para la configuración mostrada, ya que las direcciones del plano del talud y las familias son distintas. Asimismo, las estereografías muestran la posibilidad de fallas tipo cuña, lo que se estudio a profundidad tomando pares de familias a la vez.

Las características de las familias de diaclasas en el talud estudiado indican una probabilidad mayor de generar fallas del tipo cuña, esto puede observarse en las Figuras 5.29 y 5.30, donde las familias de diaclasas 2 y 4 y las 3 y 4 forman las condiciones necesarias y suficientes para generar este tipo de fallamiento.

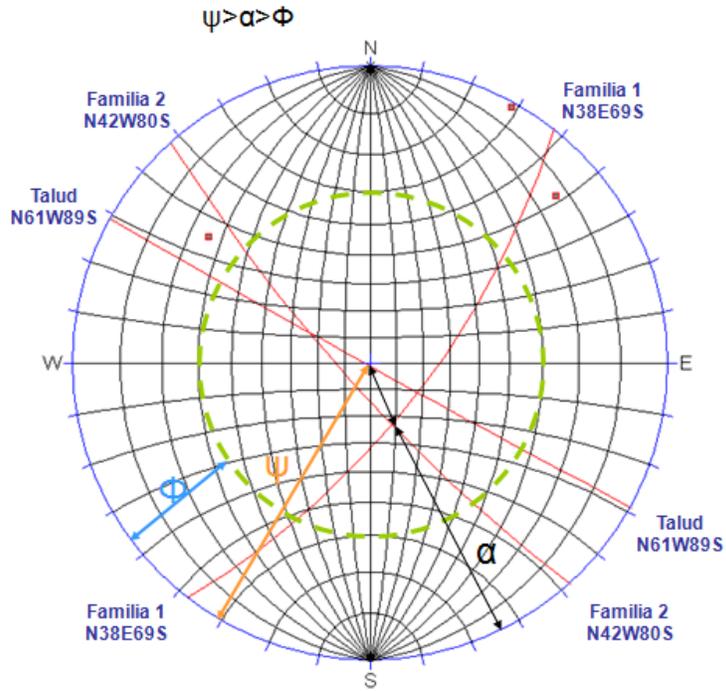


Figura 5.29. Representación estereográfica con probabilidad de falla de cuña

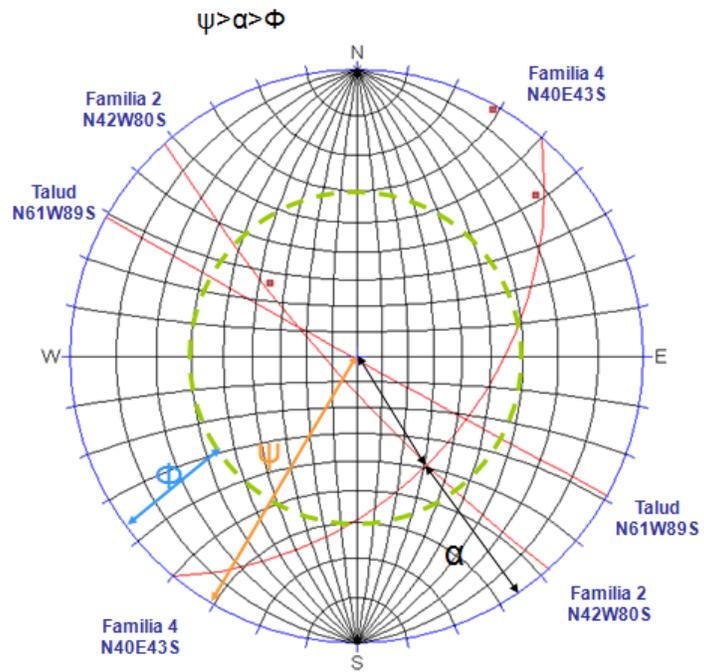


Figura 5.30. Representación estereográfica con probabilidad de falla de cuña

De acuerdo con esto, se presenta la necesidad de un perfilamiento de los taludes en roca a un ángulo menor. Sin embargo, esta labor requiere del uso de explosivos, debido a la dureza de la roca. Tomando en cuenta que las labores de arranque se realizan de forma mecánica y sin el empleo de explosivos, aunado al incremento de los riesgos con el uso de estos, se propone la remoción de las rocas sueltas, que en las labores de explotación pudiesen trasladarse a zonas menos elevadas y más seguras, garantizando mayor estabilidad a los taludes en roca.

### **5.12 Consideraciones Ambientales**

Es necesaria la preservación de la materia orgánica y si la capa vegetal removida, al inicio de la explotación o preparación de algún terreno en las labores de mina. La creación de viveros con plantas locales aunque pueda representar una inversión inicial alta, eventualmente representará un beneficio económico y ecológico ya que no existen mejores plantas que se adapten a la zona en la que se realiza la explotación, que la vegetación local.

Es preferible que los depósitos se ubiquen en llanuras, pero al encontrarse en un sistema de filas montañosas, su desarrollo en laderas puede resultar más práctico, de acuerdo con esto, es necesario verificar que el área elegida para la construcción de la estructura no intervenga en el paso de agua natural. Se debe verificar la presencia de acuíferos, en caso de haber surgencias, es conveniente la construcción de una red de zanjas o tubos, que permitan el drenaje de las aguas a colectores; Se debe prever la preparación del terreno para el desvío y canalización de las aguas de escorrentía, con la finalidad de evitar el aumento de las presiones intersticiales, así como la acción de arrastre que el agua ejerce sobre los sedimentos y partículas.

Si se desea enviar el agua a efluentes naturales o usarla para el riego de áreas de revegetación, se recomienda que las aguas de mina sean direccionadas a tanques de sedimentación y/o tratamiento, de esta forma, se podrá realizar dicha acción una vez que los contenidos de metales pesados y sedimentos en las mismas, sean acordes para poder catalogarlas como aguas de tipo 2 (aguas destinadas a usos agropecuarios), según el decreto 883 referente a la calidad del agua en Venezuela.

Se recomienda colocar la instrumentación de control de posibles distensiones del terreno, para ello se pueden utilizar extensómetros de cable con una separación entre estos no mayor a 75 metros, dichas acciones acompañadas de constantes inspecciones visuales permitirán, tomar las acciones necesarias en caso de la presencia de grietas de tracción, asentamientos o abultamientos en las estructuras, producto de una mala segregación de los materiales debido a la obstrucción de bloques en las partes altas.

Se recomiendan estudios orientados a la reforestación, redistribución y/o reutilización de estos materiales; esto con la finalidad de reducir el impacto visual que genera el depósito final actual.

## CONCLUSIONES

La caracterización físico mineralógica de los materiales que componen las taludes de fosa, permitió corroborar la presencia de tres zonas predominantes y fácilmente diferenciables que describen el perfil del suelo en el depósito mineral; un nivel laterítico, con alto contenido de hierro (>40%); un nivel saprolítico, con bajo contenido de hierro (<40%) y un nivel de roca, correspondiente a una peridotita serpentizada. Se pudo observar que el comportamiento mecánico de los dos primeros niveles es similar, manifestándose en la similitud entre las relaciones granulométricas, límites de consistencia, humedad, cohesión y fricción.

En el estudio del talud en roca, se pudo observar un fuerte fracturamiento con desprendimiento de bloques. La medición de la familia de diaclasas, así como su análisis mediante estereografía, permitió constatar el desarrollo de fallas de cuña.

La geometría de diseño de los bancos de explotación en Minera Loma de Níquel es estable, ya que bancos de cinco metros con una inclinación de 65°, y evaluados con los valores de cohesión y ángulo de fricción obtenidos, presentan factores de seguridad mayores a 1,732.

Cambios en la cohesión del material por efecto de la meteorización se traducen en factores de seguridad muy bajos, es decir la probabilidad de falla es muy alta.

El aumentar la altura de banco, representa comprometer la estabilidad de los taludes, esto se deduce del análisis hecho sobre la muestra de laterita ferruginosa proveniente del sector 3, ya que bajo cualquier geometría de talud con ángulo superior o igual a 65° y altura de 10 metros presenta un factor de seguridad inferior a 1,2.

De acuerdo con los factores de seguridad obtenidos, se considera que la geometría recomendable para los taludes finales de mina, consta de bancos y bermas de cinco metros de altura, con una inclinación de 70°, y con un ángulo de talud total igual a 35°.

Acorde al análisis de estabilidad para los depósitos finales de estéril (laterita ferruginosa y subproducto de refinación) y siguiendo los parámetros técnicos de desarrollo de escombreras, se establece que las escombreras existentes no deben sobrepasar los 15 metros de altura, con bancos de 5 metros de altura e inclinación de 30° y se sugiere sean construidas en fases ascendentes superpuestas.

## RECOMENDACIONES

Se sugiere realizar mediciones del nivel piezométrico en distintos puntos del área de explotación, con la finalidad de proseguir un estudio de estabilidad de taludes empleando esta variable, así como su uso en el estudio de impacto ambiental, especialmente la permanencia e invariabilidad de los acuíferos y masas hídricas de la zona.

Se recomienda el uso de pantallas rompe viento en lugares estratégicos de la mina con la finalidad de parar la traslación de los finos a zonas aledañas en vista de la proporción de finos en el saprolito y escombreras.

Se recomienda el desvío de los “drenes de lluvia” especialmente del las escombreras del sector 3 de laterita y arena industrial, ya que su cercanía podría generar inestabilidad a largo plazo.

Se sugiere estudiar los posibles métodos para canalizar el agua de lluvia, en los frentes de explotación y en las escombreras.

Se recomienda el estudio del nivel piezométrico en las áreas de las escombreras.

Se recomienda profundizar en el estudio de estabilidad para taludes en roca para cada sector.

Se recomienda incluir la totalidad de las escombreras en los programas de reforestación para el cierre de mina, e incluso estudiar la viabilidad de reforestación de depósitos finales de arena industrial, con la finalidad de mejorar el impacto visual final.

Se propone la remoción de las rocas sueltas, que en las labores de explotación pudiesen trasladarse a zonas menos elevadas y más seguras, garantizando mayor estabilidad a los taludes en roca.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

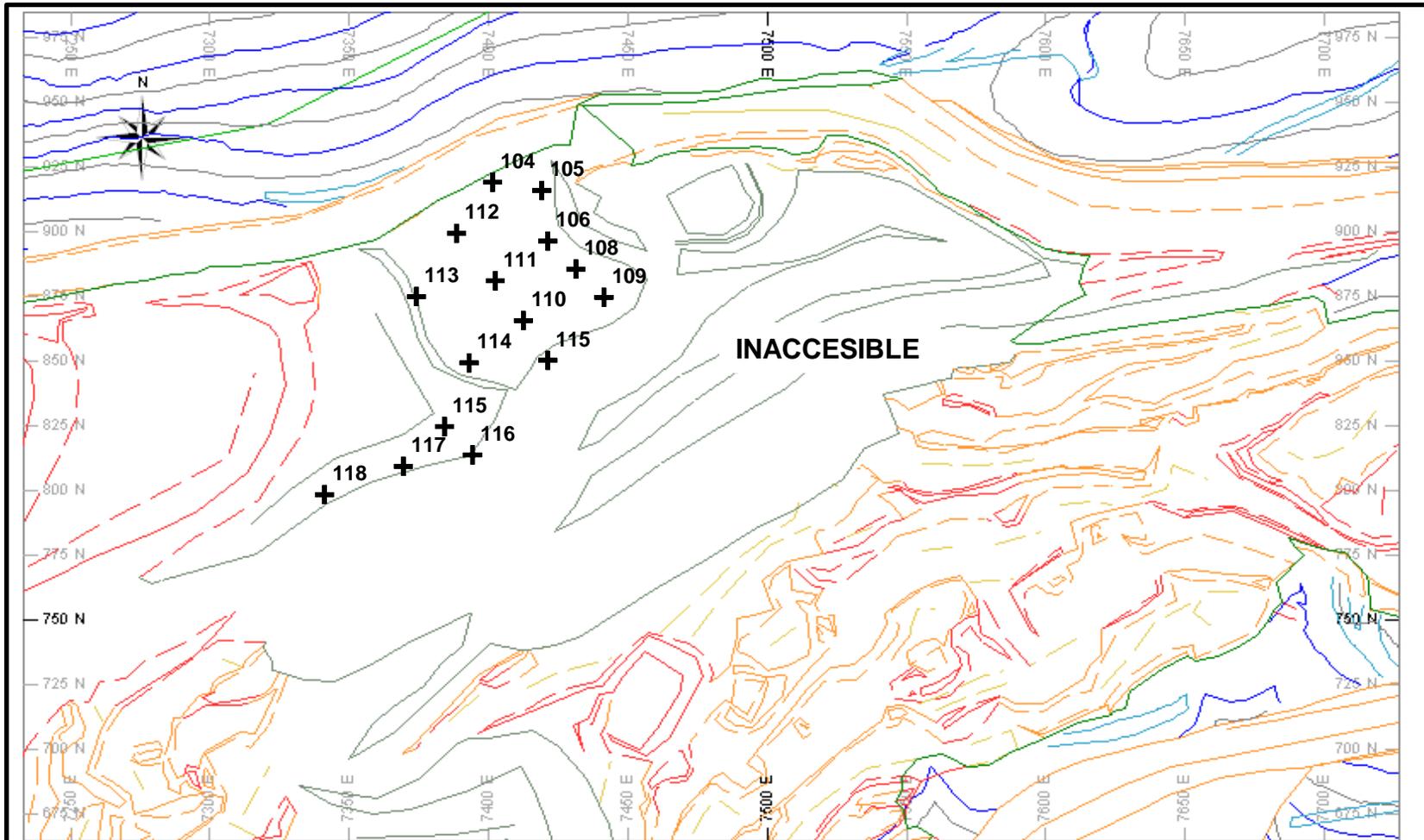
- Arellano, L.; Benarroch, R. y Gaskin, R. (1991) Elaboración de un manual para el prediseño de taludes. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Venezuela.
- Aspectos Geológicos de Protección Ambiental (1995). Curso dictado por el Instituto de Geociencias de la Universidad Estatal de Campinas. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe. Montevideo, Uruguay. 245 p.
- ASTM Standard D-2487, (2006) Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).DOI:10.1520/D2487-06E01, ASTM International, West Conshohocken,PA,USA.
- ASTM Standard D-421, (2007) Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soils Constants.DOI:10.1520/D0421-8R07, ASTM International, West Conshohocken,PA,USA.
- ASTM Standard D-422, (2007) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.DOI:10.1520/D0422-63R07, ASTM International, West Conshohocken,PA,USA.
- ASTM Standard D-4318, (2007) Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.DOI:10.1520/D4318-05, ASTM International, West Conshohocken,PA,USA.
- Ayala F. y Vadillo L. (1999). Manual de Restauración de Terrenos y Evaluación de Impactos Ambientales en Minería. Cuarta Edición. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid, España. 323 p.
- Baamonde, J. (2006). Petrología. Instituto de Ciencias de la Tierra, Universidad Central de Venezuela. PDVSA, Intevep. Facultad de Ciencias, U.C.V. 363 p.
- Bedolla, E y otros (1995). Efecto de la Serpentina en la Formación de Fases Mineralógicas y su Relación con la Resistencia Mecánica en Sinterizados de Mineral de Hierro. [Revista en Línea]. Disponible en la página web de la Revista de Metalurgia del Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España:  
<http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/view/936>  
[Consultado: 2011, enero 27].
- Bentabol, M y otros (2007). Características Morfológicas y Estructurales de Caolinitas Sintéticas Ricas en Níquel y Cobalto. [Artículo en Línea]. Disponible en la página web de la Sociedad Española de Mineralogía: [http://www.ehu.es/sem/macla\\_pdf/macla7/macla7\\_42.pdf](http://www.ehu.es/sem/macla_pdf/macla7/macla7_42.pdf)  
[Consultado: 2011, Enero 26].
- Birbe, N. (2009). Actualización Geológica del a Zona de Explotación del Yacimiento Loma de Hierro, Estado Miranda. Trabajo Especial de pre Grado. Universidad Central de Venezuela.
- Butt, C y otros. (1997). Evolution of Regoliths and Landscapes in Deeply Weathered Terrain Implications for Geochemical Exploration. [Artículo en Línea]. Disponible en la página web de la Conferencia de Exploración en Canada en septiembre de 2007:  
[http://www.exploration07.com/pdfs/Expl97/05\\_05\\_\\_\\_\\_.pdf](http://www.exploration07.com/pdfs/Expl97/05_05____.pdf) [Consultado: 2011, marzo 14].
- Cambefort, H. (1975). Geotecnia del Ingeniero. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, España. 425 p. [Libro en Línea]. Disponible en:  
[http://books.google.com/books?id=LnY4efBkd7AC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com/books?id=LnY4efBkd7AC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false) [Consultado: 2010, septiembre 09].
- Carrillo, M y otros. (2002). Clasificación Geomecánica y análisis de Estabilidad de Taludes del Macizo Rocosos Coris, Cartago, Costa Rica. Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica. [Artículo en Línea]. Disponible en la página web de del Departamento de Geociencias de la Universidad de Arizona: [www.geo.arizona.edu/~linkimer/Publications/26-CARRILLO.pdf](http://www.geo.arizona.edu/~linkimer/Publications/26-CARRILLO.pdf)  
[Consultado: 2011. enero 17].

- Centeno, D.; Leon, R. y Teppa, J. (1957) Estudios para el proyecto de carreteras en relación a la estabilización y conservación de taludes. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Venezuela.
- Cornelis, K. y Cornelius, H. (1997). Manual de Mineralogía. Cuarta Edición, Tomo II. Editorial Reverté, S.A. Barcelona, España. 679 p.
- Crespo, C. (2010). Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Sexta Edición. Editorial Limusa, S.A. Distrito Federal, México. 644 p.
- Duque, G. y Escobar, C. (2003) Apuntes sobre Mecánica de Suelos. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.
- Gallardo, T. (2008). Caracterización Mineralógica del Perfil Laterítico de Níquel de Loma Ortega. República Dominicana. [Publicación en Línea]. Disponible en el depósito web de la Universidad de Barcelona, España: [diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/8607/1/TFC\\_Gallardo.pdf](http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/8607/1/TFC_Gallardo.pdf) [Consultado: 2011 enero 27].
- GONZALEZ DE VALLEJO, Luis (2006) Ingeniería Geológica. Pearson Prentice Hall. España.
- Gornitz, V. (2009). Enciclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments. Springer. [Libro en Línea]. Disponible en: <http://books.google.co.ve/books?id=yRMgYc8mTIC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false> [Consultado: 2011, marzo 10].
- Graux, D. y Sanz, J. (1975). Fundamentos de Mecánica del Suelo, Proyecto de Muros y Cimentaciones. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, España. 414 p. [Libro en Línea]. Disponible en: [http://books.google.com/books?id=96EEoaVynI4C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com/books?id=96EEoaVynI4C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false) [Consultado: 2010, septiembre 11].
- Instituto Geológico y Minero de España. (1987). Manual de Taludes. Instituto Geológico y Minero de España, España. 455 p.
- Juarez, E. y Rico, A. (2009) Mecánica de Suelos. Tomo I. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Editorial Limusa. México.
- López, F. Escombreras de la Mina Gualcamayo. [Documento en Línea]. Disponible en la página web del Departamento de Minería del Gobierno de la Provincia de San Juan, Argentina: <http://mineria.sanjuan.gov.ar/> [Consultado: 2011, marzo 03].
- Ministerio de Industria y Energía (2003). Reglamento de Normas Básicas de Seguridad Minera. Ediciones Liteam España. [Libro en Línea]. Disponible en: [http://books.google.com/books?id=ZY7nbrkauDwC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com/books?id=ZY7nbrkauDwC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false) [Consultado: 2011, febrero 07].
- Olivella, S. y otros (2001). Mecánica de Suelos: Problemas Resueltos. Ediciones UPC. 221 p. [Libro en Línea]. Disponible en: [http://books.google.com/books?id=s6M83fF3WqwC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com/books?id=s6M83fF3WqwC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false) [Consultado: 2010, septiembre 06].
- Procesos Supergenos. [Publicación en Línea]. Pagina web del Centro de Computación de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile: <http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/PROCESOS%20SUPERGENOS.pdf> [Consulta: 2010, diciembre 12].
- Rennat, E. y Shepard, M (1997). Guía Ambiental para la Estabilidad de Taludes de Depósitos de Desechos Sólidos de Mina. [Documento en Línea]. Pagina web del Ministerio de Energía y Minas de Perú: <http://www.minemgob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/guiaestabilidad.pdf> [Consulta: 2011, marzo 03].
- Rodríguez, C. (1993). Comportamiento Hidrotermal de las Arcillas Saponíticas de la Cuenca de Madrid. [Publicación en Línea]. Disponible en la página web de Estudios Geológicos del Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España:

<http://estudiosgeol.revistas.csic.es/index.php/estudiosgeol/article/download/344/348>.  
[Consultado: 2011, enero 27].

- Russo, G. Sosa, G. y De Capra, E. (1984) Estabilidad de taludes. Método SARMA. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Venezuela.
- Sanz, J. y otros (1975). Mecánica de Suelos. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, España. 221 p. [Libro en Línea]. Disponible en:  
[http://books.google.com/books?id=oQFZRKlix\\_EC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com/books?id=oQFZRKlix_EC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false) [Consultado: 2010, septiembre 05].
- Solaque, D. (2008). Comparación del ángulo de Fricción Crítico con el Ángulo de Reposo. Análisis de la Influencia de Algunos Factores en la Determinación del Ángulo de Reposo. [Texto en Línea]. Trabajo de Grado de Maestría. Universidad de Los Andes. Bogotá, Colombia. Disponible en: [http://biblioteca.uniandes.edu.co/Tesis\\_2008\\_primer\\_semestre/0000479.pdf](http://biblioteca.uniandes.edu.co/Tesis_2008_primer_semestre/0000479.pdf) [Consultado: 2011, enero 18].
- Sociedad Venezolana de Geotecnia (2010) XIX Seminario Venezolano de Geotecnia. Caracas.
- Terzagui, P. (1976) Mecánica de suelos en Ingeniería Práctica. Editorial El Ateneo. España.
- Trujillo, M (1987) Evaluación geomecánica de rellenos constituidos con suelos procedentes del corte de filitas cuarzo micáceas. Formación Las Brisas. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Venezuela.
- Ugas, C y otros. (1977). Ensayos de Laboratorio en Mecánica de Suelos, discusión, Evaluación Crítica y Procedimiento. Inédito. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Central de Venezuela. Ciudad. Caracas, Venezuela.
- Vargas, J. y Miranda, A. (2009). Incremento de Reservas usando la Técnica de Banco Doble en Mina Tintaya. Xstrata Copper. [Documento en Línea]. Disponible en la página web de Trigésima Convención Minera “PERUMIN”:
- [http://www.convencionminera.com/perumin\\_cms/upload/archivos/TT-007%20Final.pdf](http://www.convencionminera.com/perumin_cms/upload/archivos/TT-007%20Final.pdf)  
[Consultado: 2011, febrero 09].
- Ventura, E. (1970) Resistencia al esfuerzo cortante de los suelos. Editorial DOSSAT. España.
- Watson, R. (2005). Geomecánica Aplicada a la Pequeña Minería. Tema V. Diseño de Taludes. [Documento en Línea]. Disponible en la página web del Subprograma de Tecnología Mineral del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo:  
[http://200.20.105.7/cytedxiii/Publicaciones/Livros/Geomecanica\\_PequenaMineria/ponencias/tema5.pdf](http://200.20.105.7/cytedxiii/Publicaciones/Livros/Geomecanica_PequenaMineria/ponencias/tema5.pdf) [Consultado: 2011 Febrero, 06].
- ¿Qué son las arcillas? Página web de la biblioteca digital del Instituto Latinoamericano de la Comunidad Educativa:  
[http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/109/html/sec\\_6.html](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/109/html/sec_6.html)  
[Consultado: 2011, enero 26].

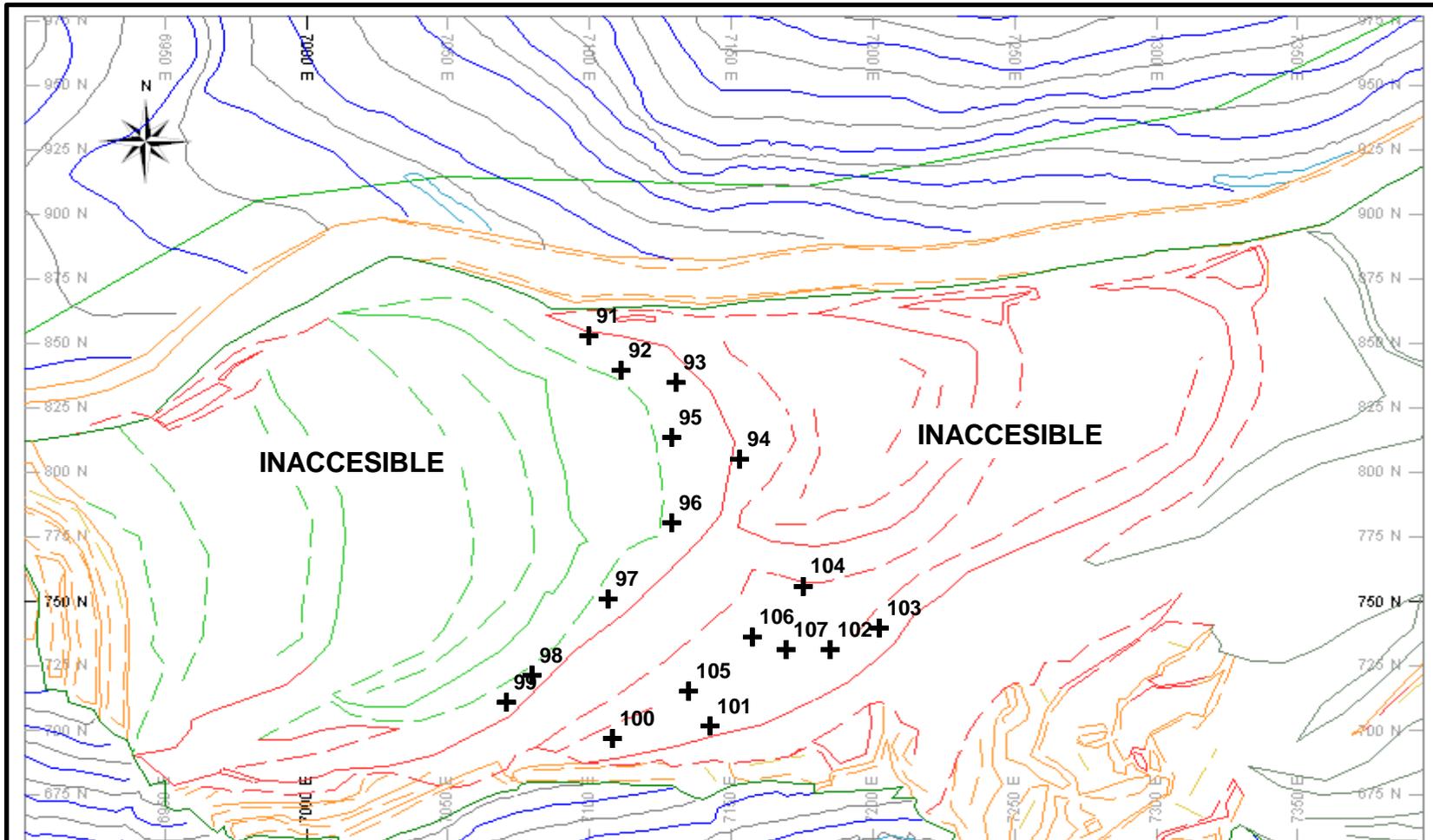
**ANEXO 1**  
**UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO**



MINERA LOMA DE NIQUEL, C.A.  
BACKFILL ARENA INDUSTRIAL SECTOR 3  
Muestreo In Situ. Coordenadas Locales.

Escala:

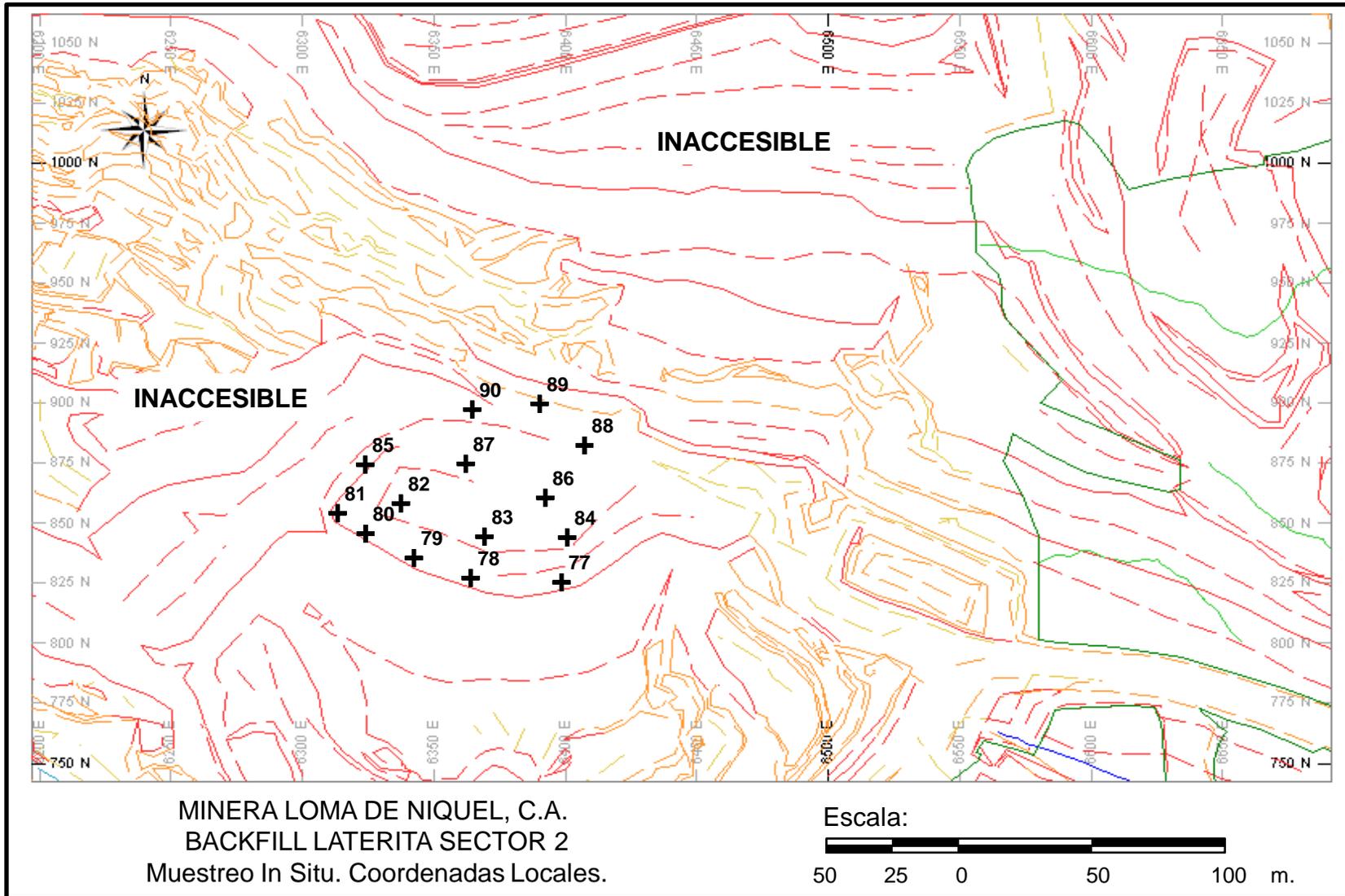


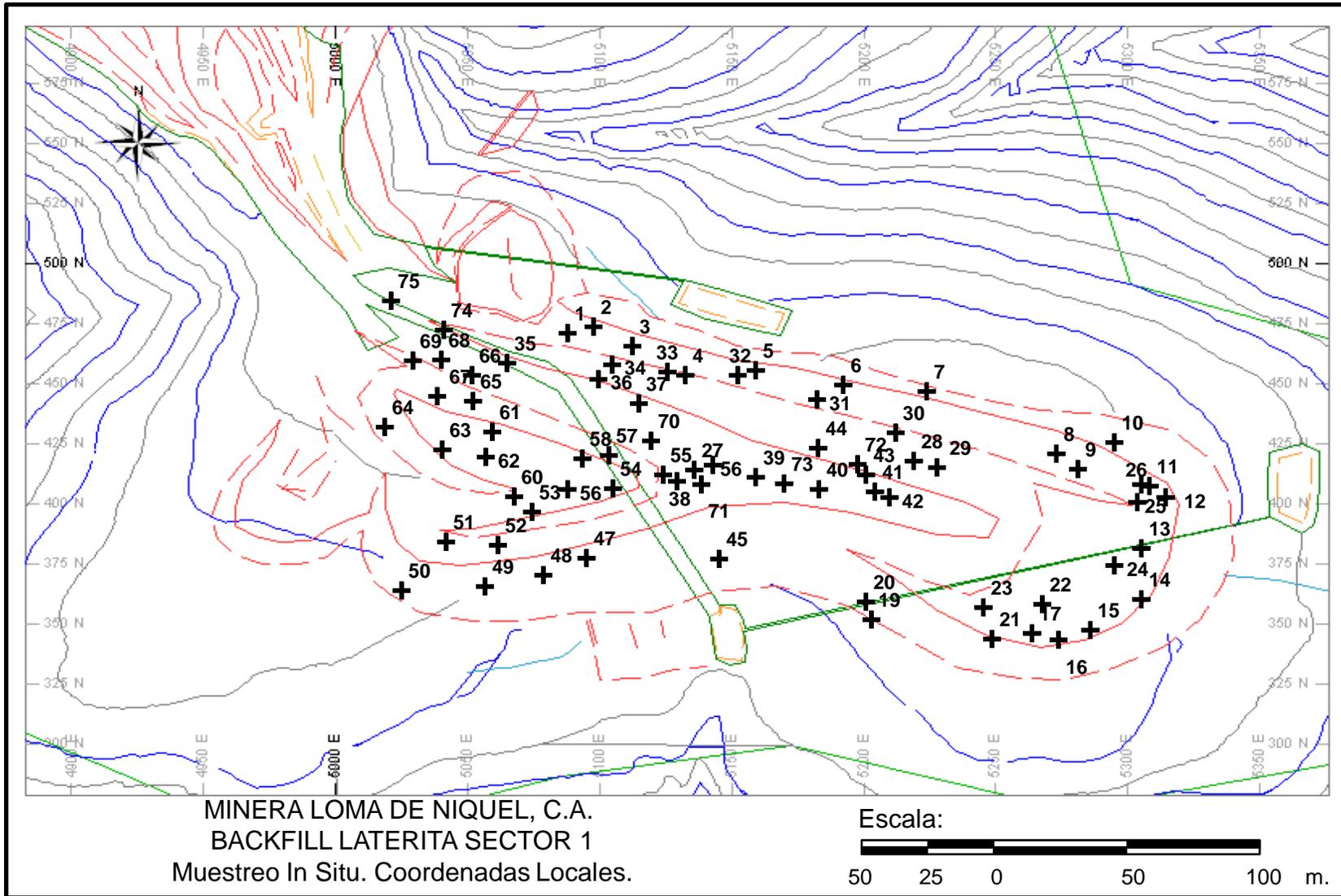


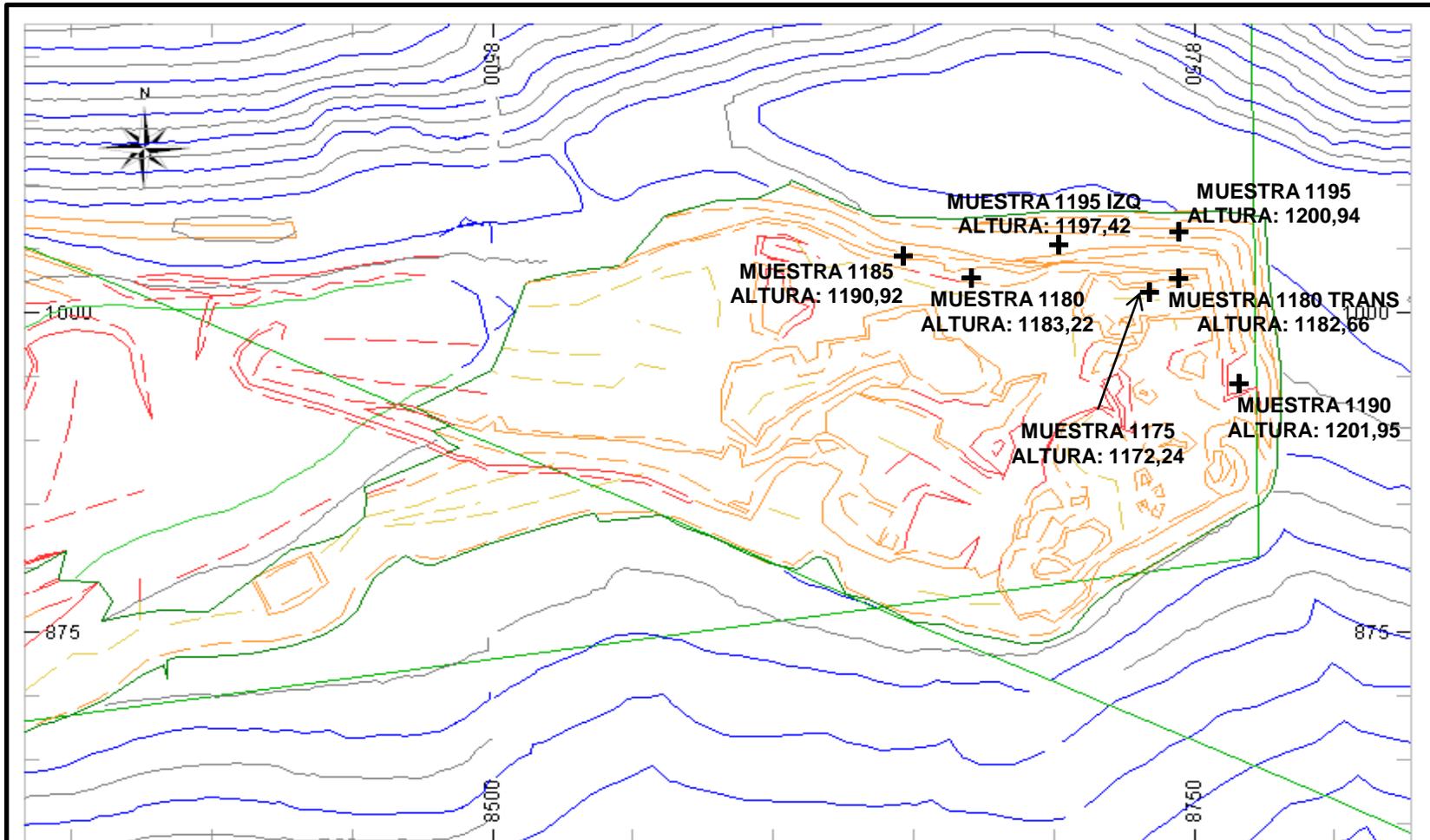
MINERA LOMA DE NIQUEL, C.A.  
BACKFILL LATERITA SECTOR 3  
Muestreo In Situ. Coordenadas Locales.

Escala:





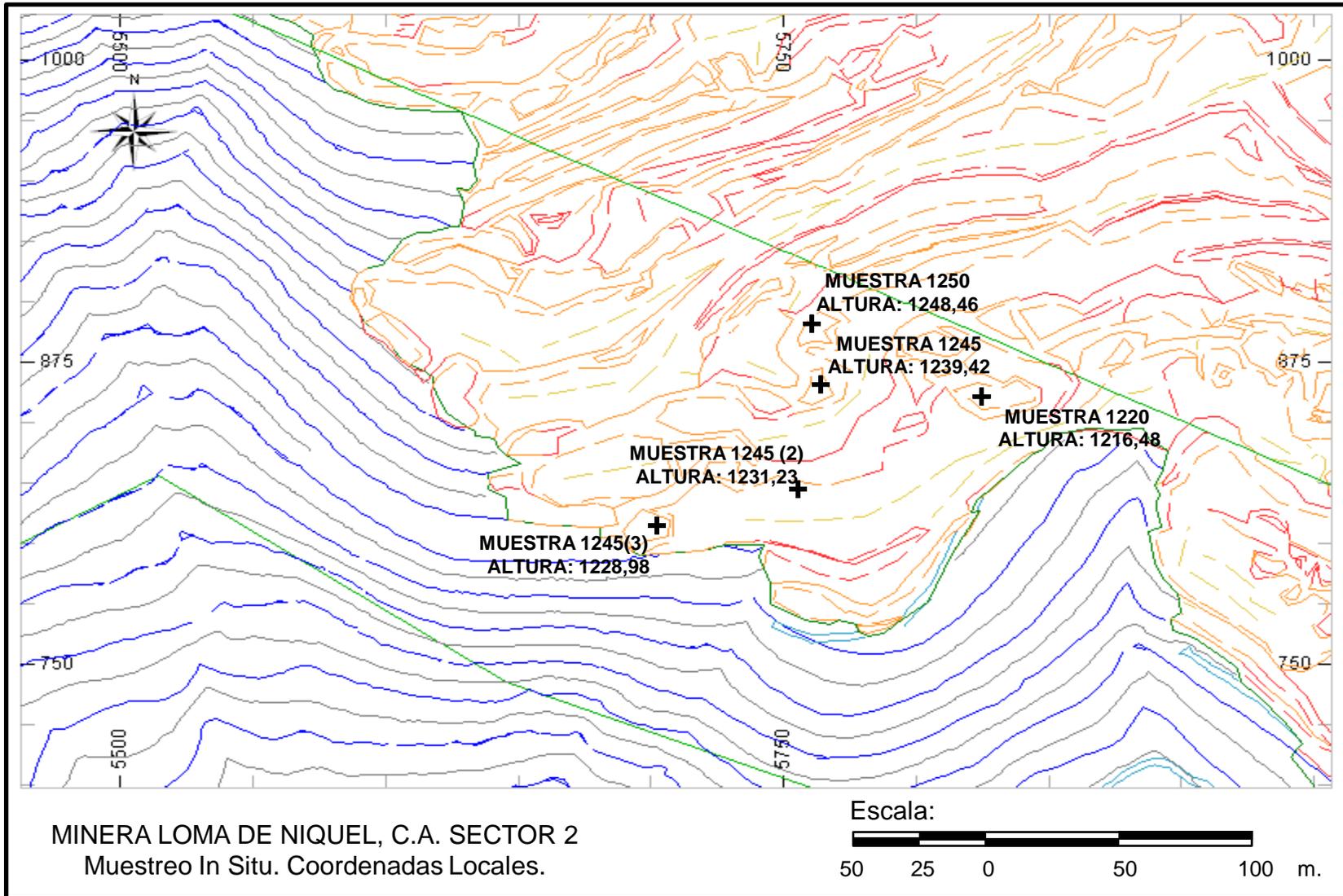


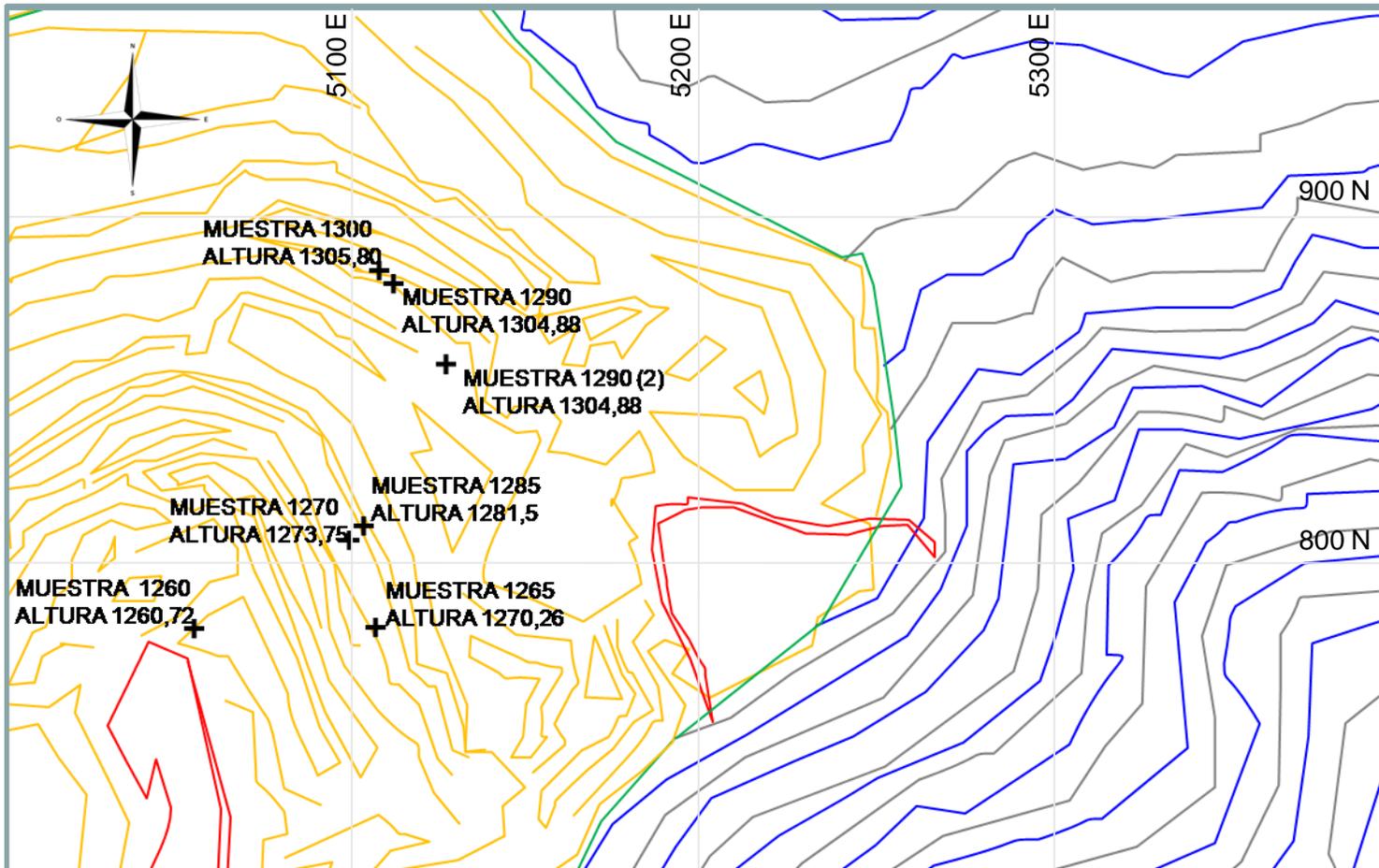


MINERA LOMA DE NIQUEL, C.A. SECTOR 3  
Muestreo In Situ. Coordenadas Locales.

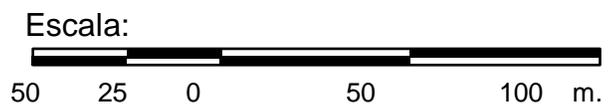
Escala:







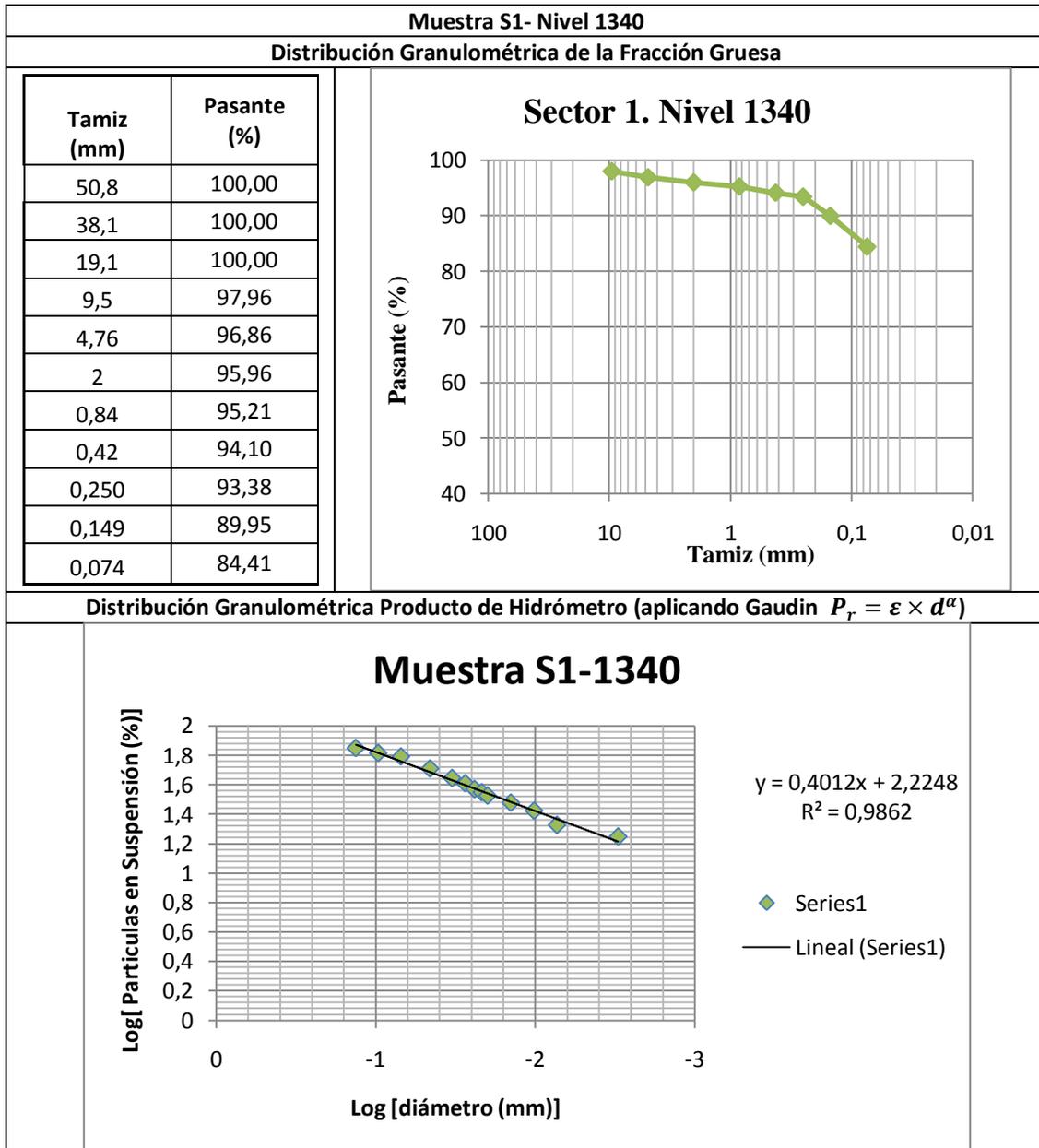
MINERA LOMA DE NIQUEL, C.A. SECTOR 1  
Muestreo In Situ. Coordenadas Locales.



ANEXOS 2

ENSAYOS DE LABORATORIO

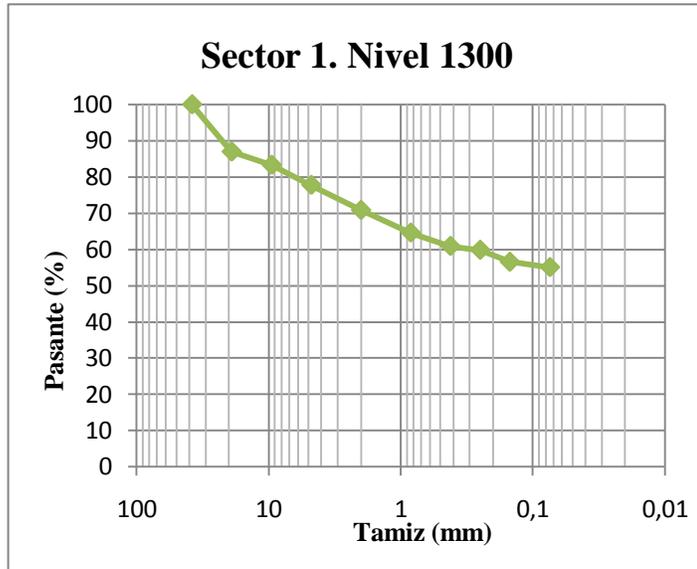
Caracterización Granulométrica



Muestra: S1-1300

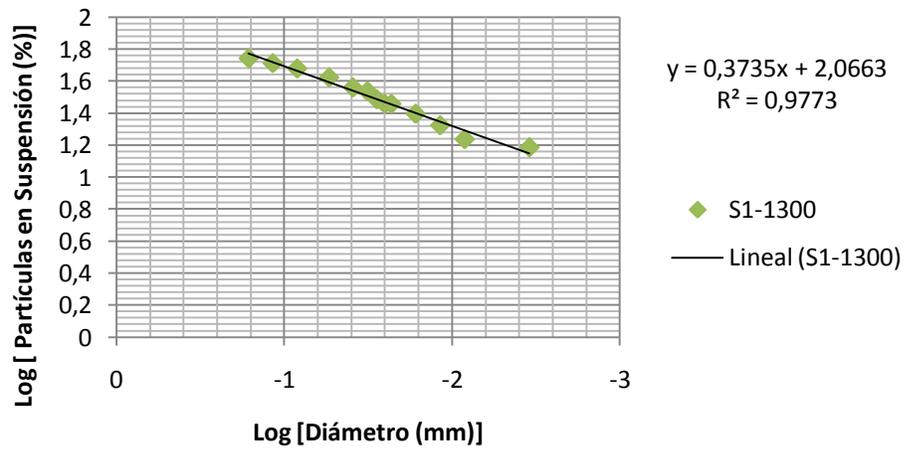
Distribución Granulométrica de la Fracción Gruesa

Tamiz (mm)	Pasante (%)
50,8	100,00
38,1	100,00
19,1	86,86
9,5	83,29
4,76	77,75
2	70,83
0,84	64,58
0,4	60,88
0,250	59,83
0,149	56,82
0,074	55,05



Distribución Granulométrica Producto de Hidrómetro (aplicando Gaudin  $P_r = \varepsilon \times d^\alpha$ )

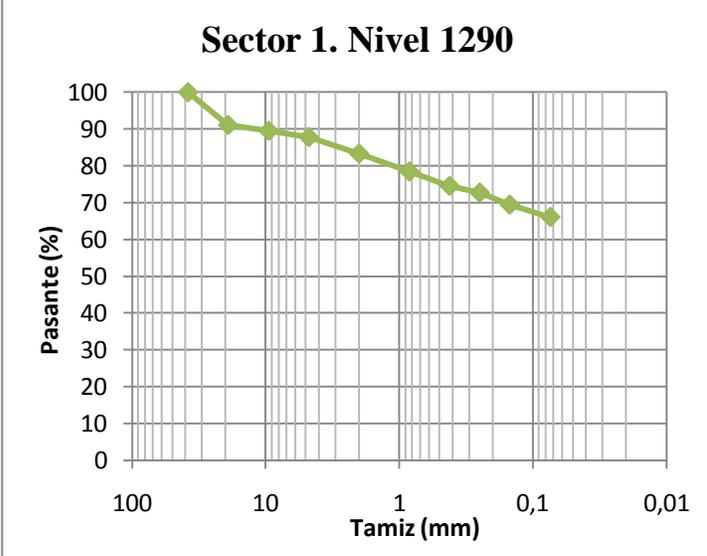
S1-1300



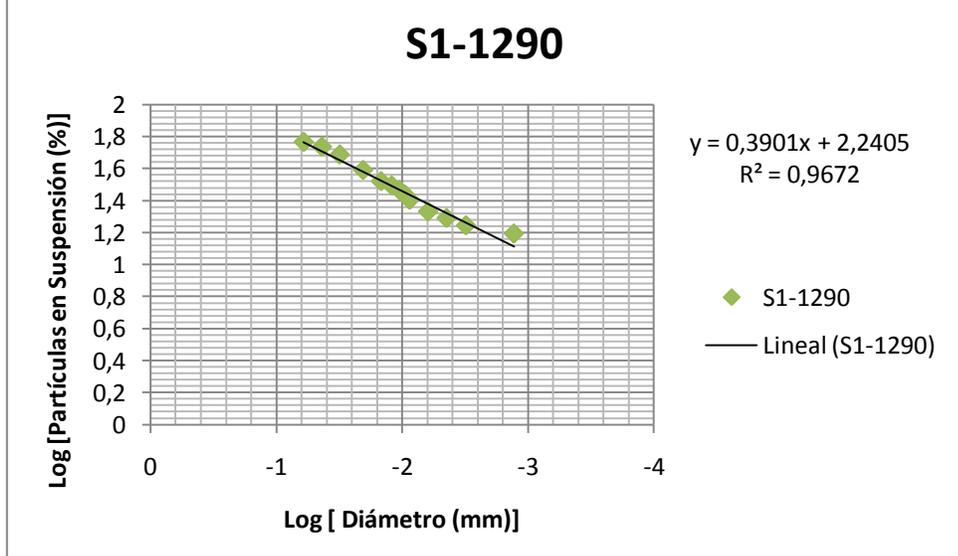
Muestra: S1-1290

Distribución Granulométrica de la Fracción Guesa

Tamiz (mm)	Pasante (%)
50,8	100,00
38,1	100,00
19,1	91,10
9,5	89,50
4,76	87,80
2	83,34
0,84	78,46
0,42	74,54
0,250	72,71
0,149	69,44
0,074	66,08



Distribución Granulométrica Producto de Hidrómetro (aplicando Gaudin  $P_r = \varepsilon \times d^a$ )

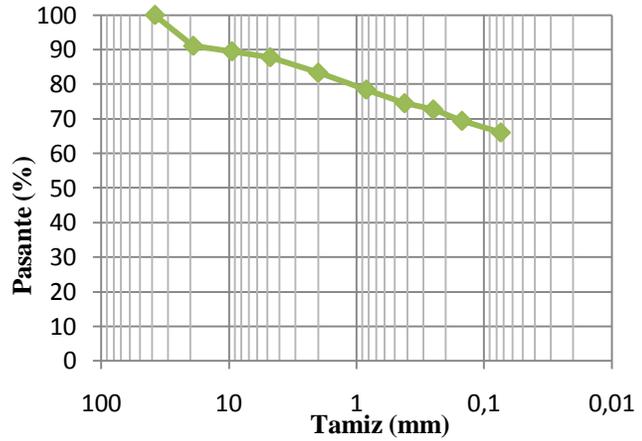


Muestra: S1-1290 (2)

Distribución Granulométrica de la Fracción Guesa

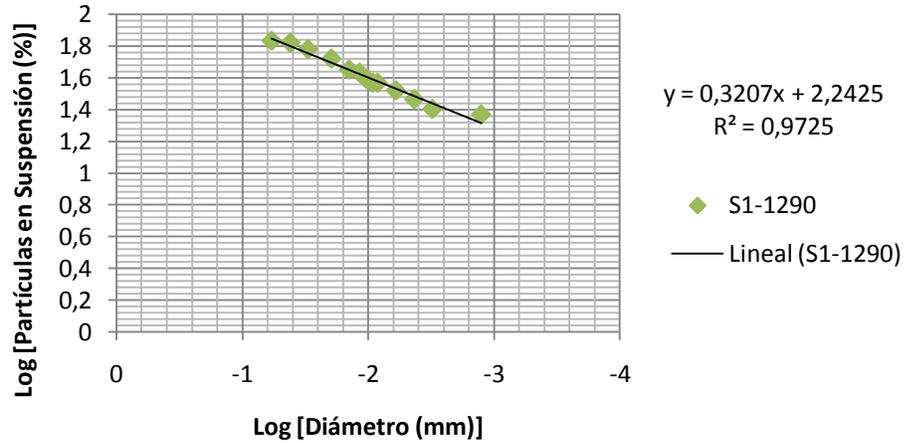
Tamiz (mm)	Pasante (%)
50,8	100,00
38,1	100,00
19,1	91,10
9,5	89,50
4,76	87,80
2	83,34
0,84	78,46
0,42	74,54
0,250	72,71
0,149	69,44
0,074	66,08

Sector 1. Nivel 1290 (2)



Distribución Granulométrica Producto de Hidrómetro (aplicando Gaudin  $P_r = \epsilon \times d^\alpha$ )

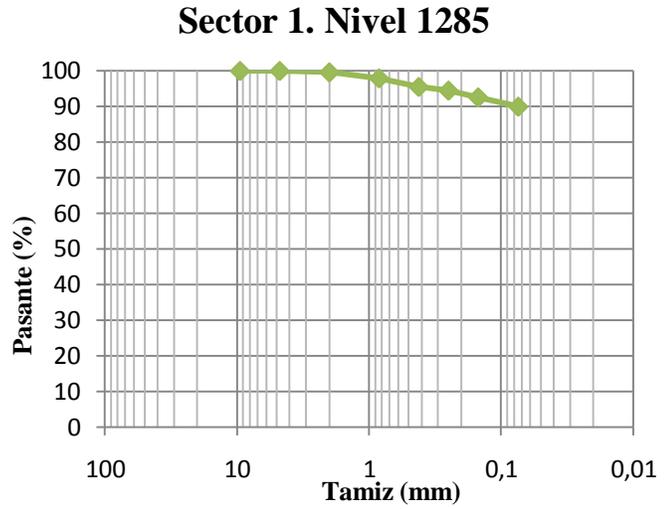
S1-1290 (2)



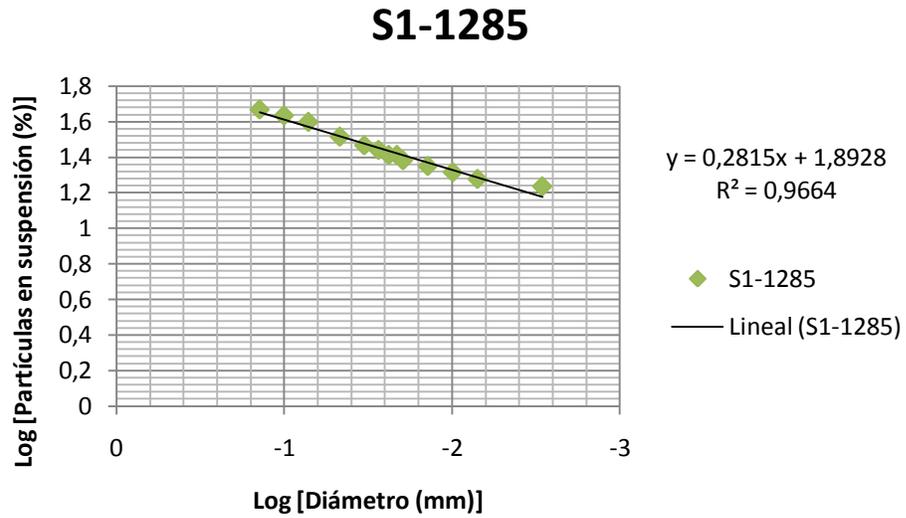
Muestra: S1-1285

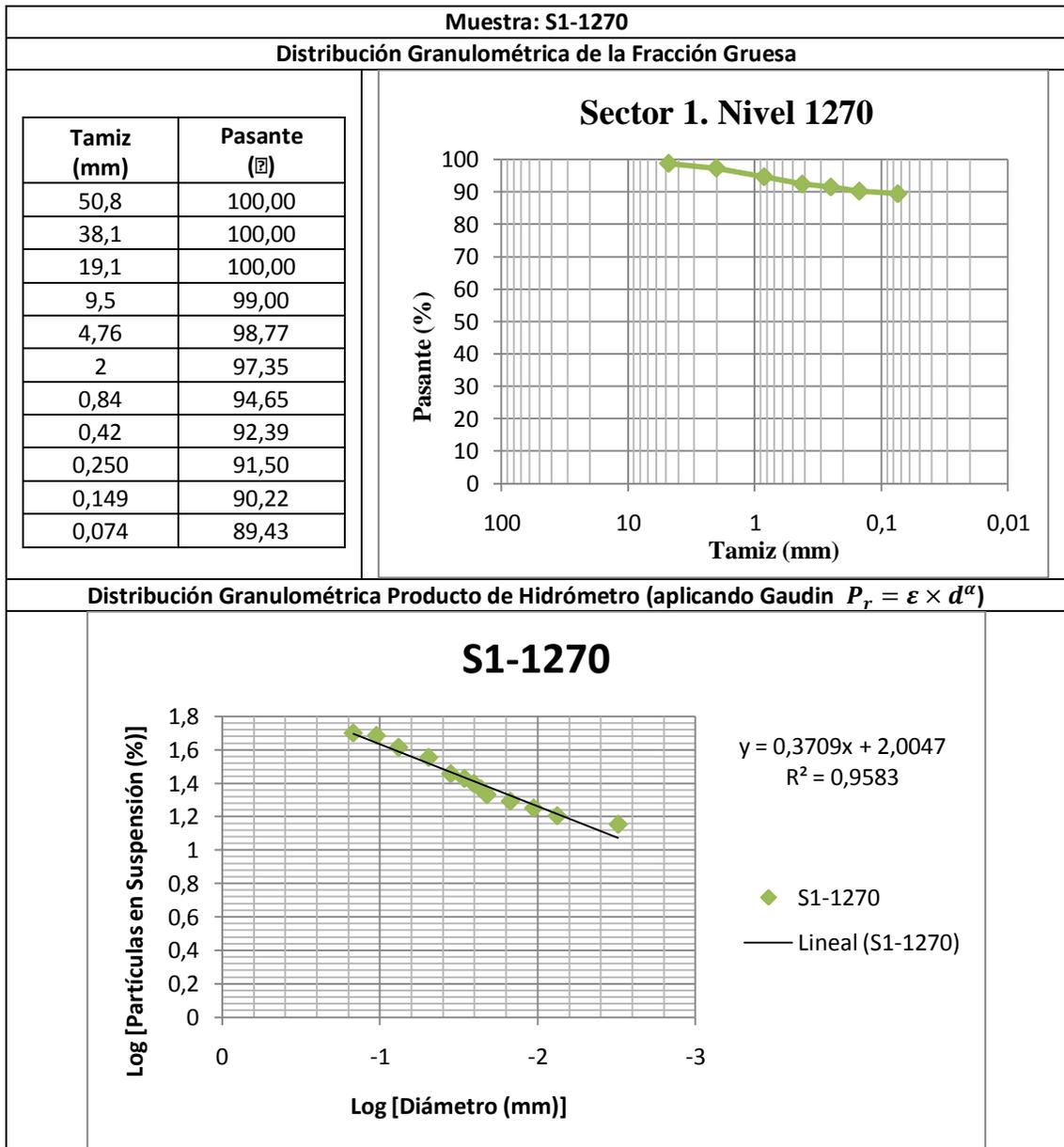
Distribución Granulométrica de la Fracción Gruesa

Tamiz (mm)	Pasante (%)
50,8	100,00
38,1	100,00
19,1	100,00
9,5	100,00
4,76	100,00
2	99,6
0,84	97,92
0,42	95,49
0,250	94,47
0,149	92,55
0,074	89,94



Distribución Granulométrica Producto de Hidrómetro (aplicando Gaudin  $P_r = \epsilon \times d^a$ )

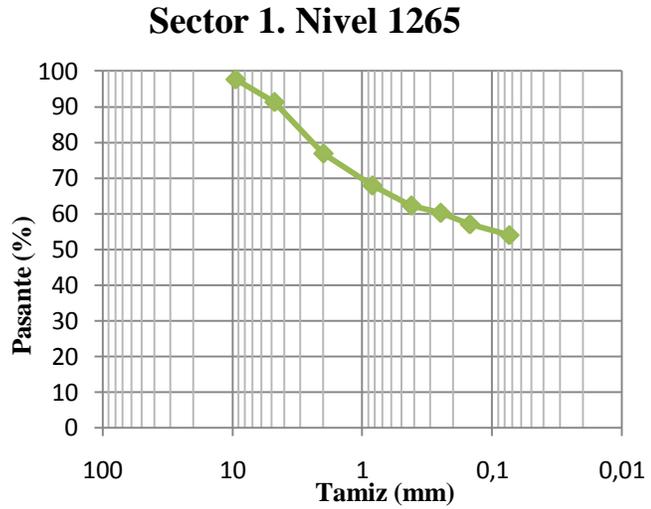




Muestra: S1-1265

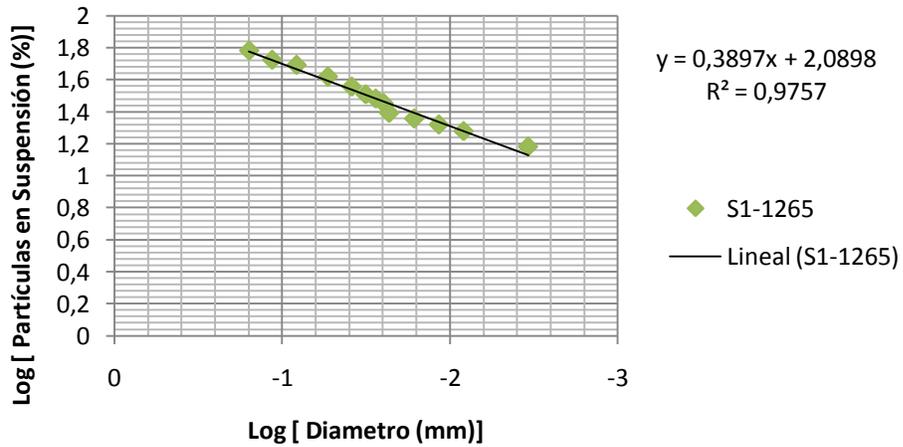
Distribución Granulométrica de la Fracción Gruesa

Tamiz (mm)	Pasante (%)
50,8	100,00
38,1	100,00
19,1	100,00
9,5	97,73
4,76	91,37
	76,94
0,84	67,94
0,42	62,34
0,250	60,29
0,149	57,08
0,074	54,01



Distribución Granulométrica Producto de Hidrómetro (aplicando Gaudin  $P_r = \epsilon \times d^a$ )

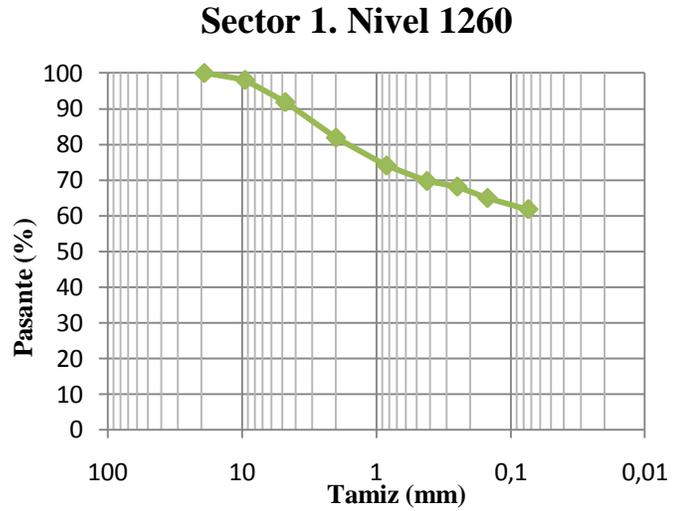
**S1-1265**



Muestra: S1-1260

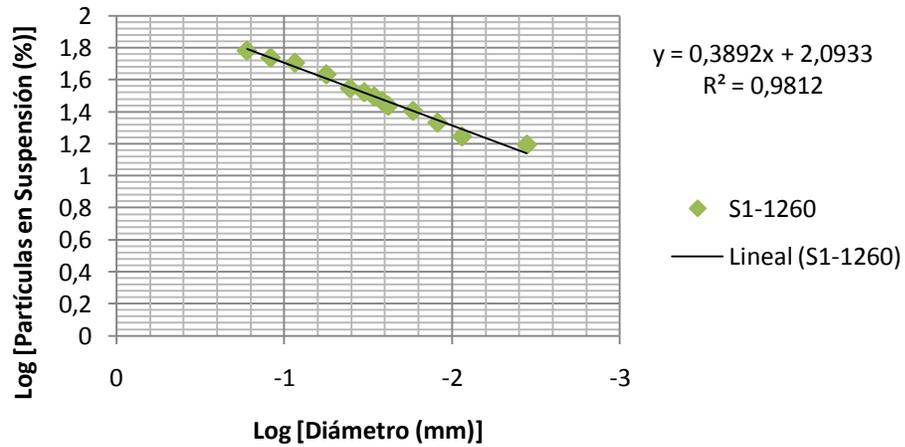
Distribución Granulométrica de la Fracción Guesa

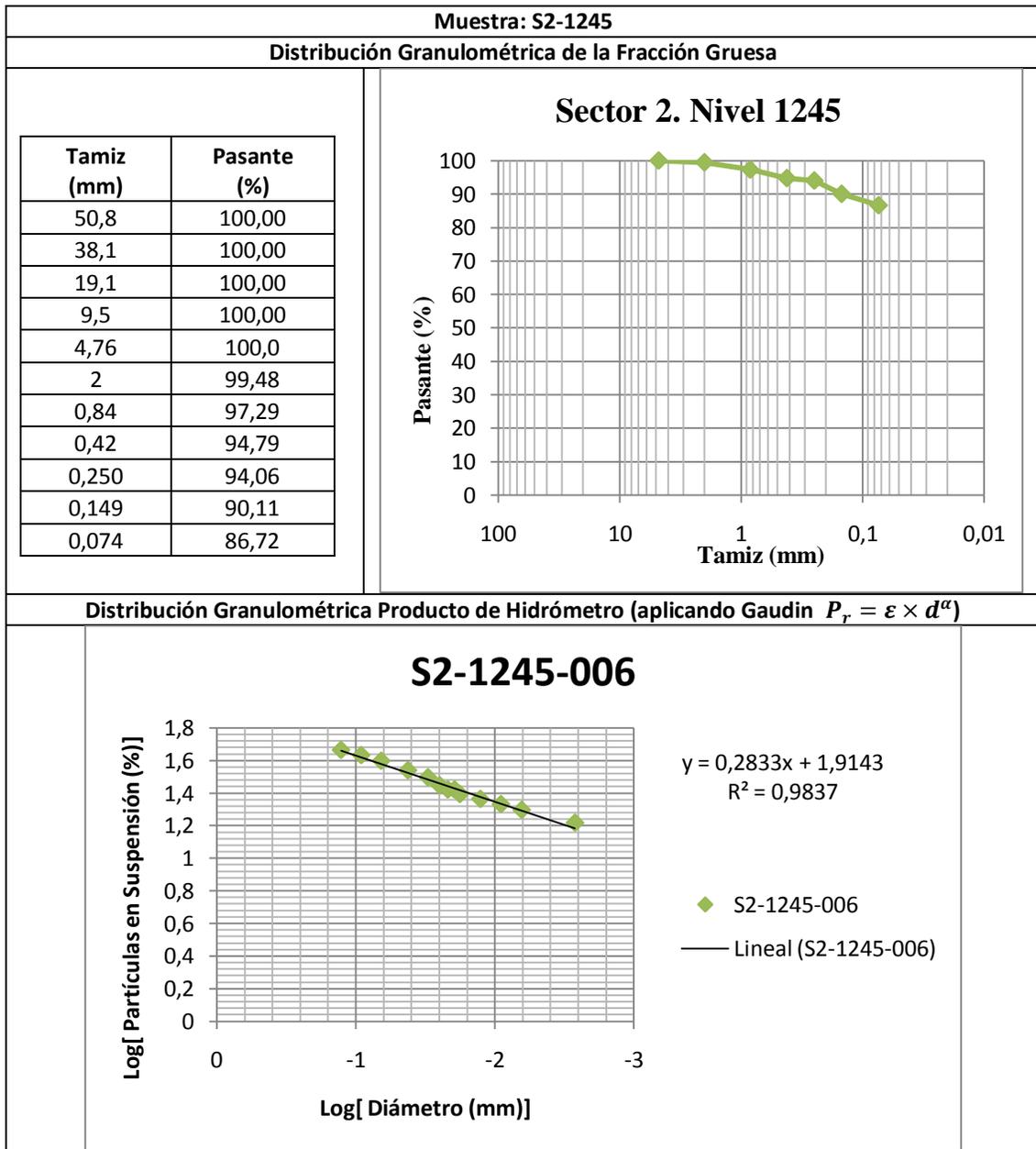
Tamiz (mm)	Pasante (%)
50,8	100,00
38,1	100,00
19,1	100,00
9,5	98,07
4,76	91,84
	81,85
0,84	74,02
0,42	69,67
0,250	68,10
0,149	64,90
0,074	61,74



Distribución Granulométrica Producto de Hidrómetro (aplicando Gaudin  $P_r = \epsilon \times d^a$ )

**S1-1260**



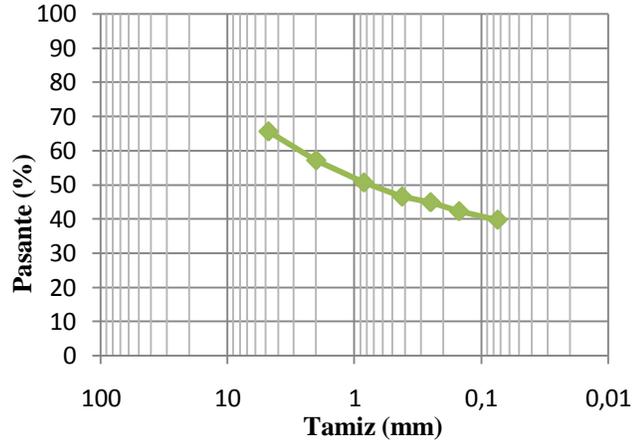


Muestra: S2-1240 (3)

Distribución Granulométrica de la Fracción Guesa

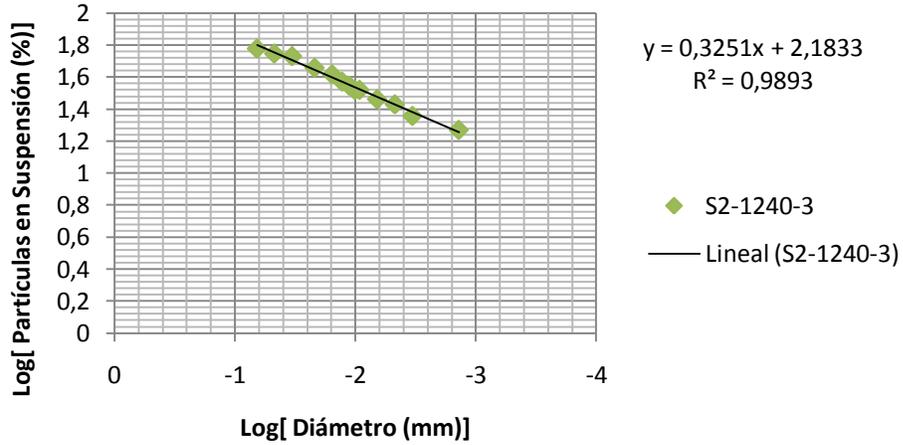
Tamiz (mm)	Pasante (%)
50,8	100,00
38,1	100,00
19,1	78,62
9,5	73,15
4,76	62,58
2	57,16
0,84	50,65
0,42	46,54
0,250	44,88
0,149	42,26
0,074	39,7

Sector 2. Nivel 1240 (3)



Distribución Granulométrica Producto de Hidrómetro (aplicando Gaudin  $P_r = \epsilon \times d^\alpha$ )

S2-1240-3

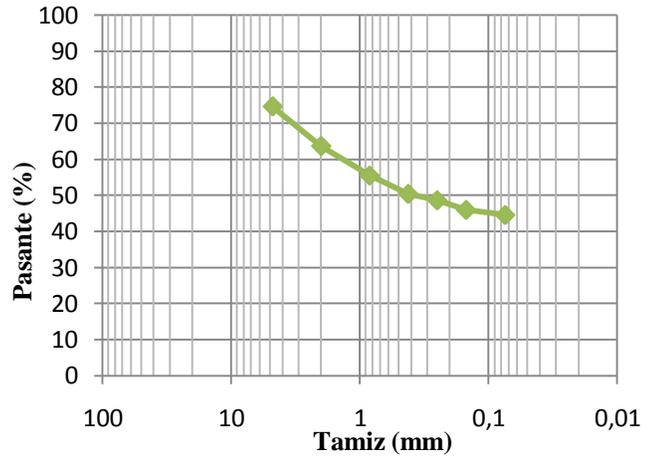


Muestra: S2-1240 (2)

Distribución Granulométrica de la Fracción Gruesa

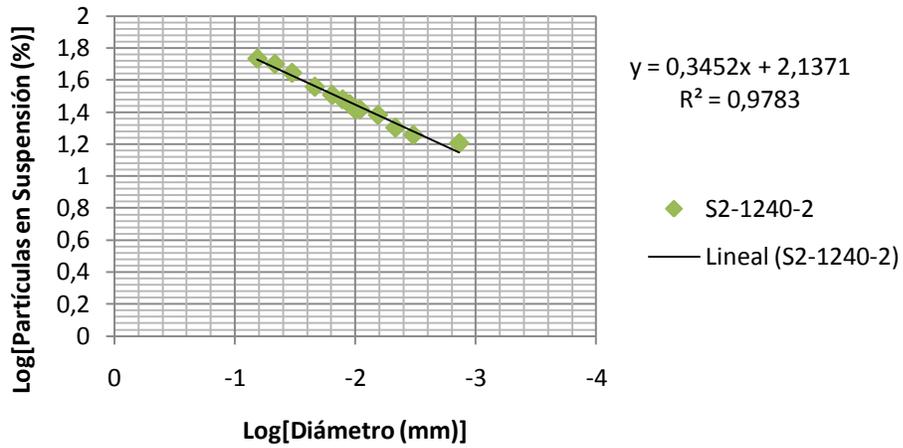
Tamiz (mm)	Pasante (%)
50,8	100,00
38,1	100,00
19,1	91,99
9,5	83,42
4,76	74,68
2	63,69
0,84	52,47
0,42	50,38
0,250	48,61
0,149	45,94
0,074	44,5

Sector 2. Nivel 1240 (2)



Distribución Granulométrica Producto de Hidrómetro (aplicando Gaudin  $P_r = \varepsilon \times d^\alpha$ )

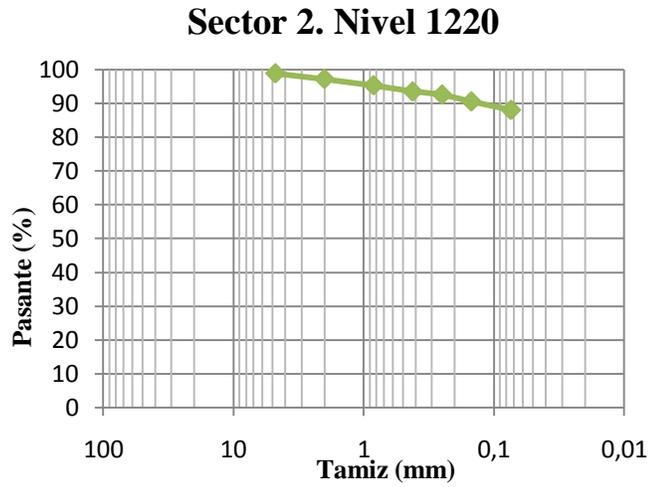
S2-1240-2



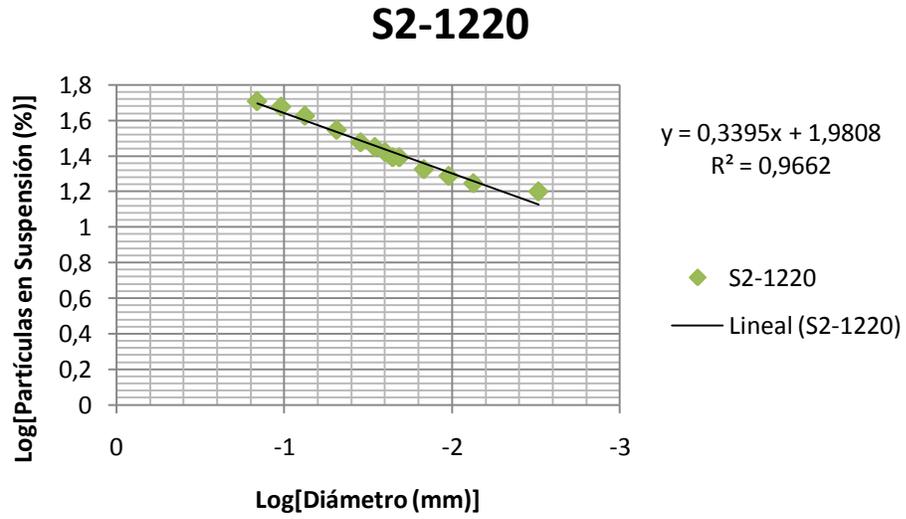
Muestra: S2-1220

Distribución Granulométrica de la Fracción Guesa

Tamiz (mm)	Pasante (%)
50,8	100,00
38,1	100,00
19,1	100,00
9,5	100,00
4,76	98,23
2	97,29
0,84	95,39
0,42	93,57
0,250	92,67
0,149	90,66
0,074	88,15



Distribución Granulométrica Producto de Hidrómetro (aplicando Gaudin  $P_r = \varepsilon \times d^\alpha$ )

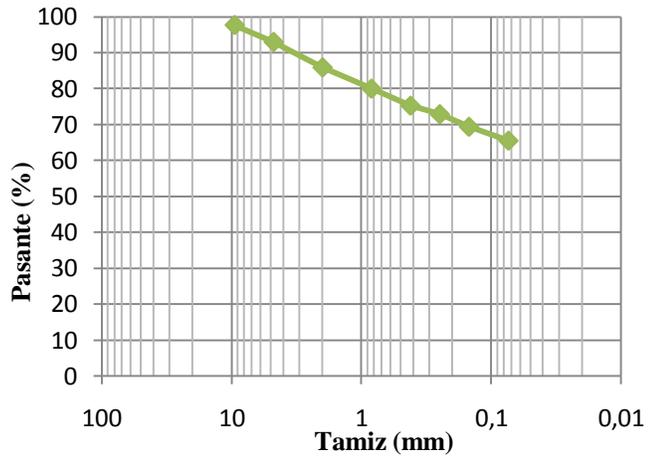


Muestra: S2-GRD 1250

Distribución Granulométrica de la Fracción Gruesa

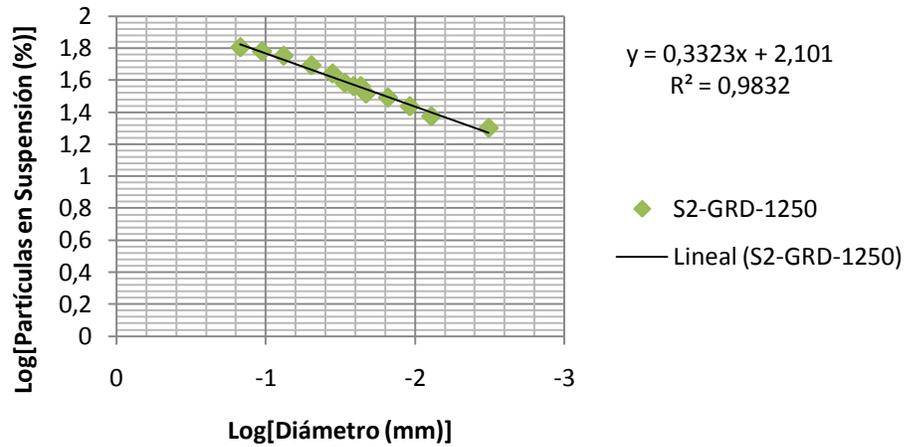
Tamiz (mm)	Pasante (%)
50,8	100,00
38,1	100,00
19,1	100,00
9,5	97,67
4,76	92,98
2	85,90
0,84	79,99
0,42	75,27
0,250	72,91
0,149	69,40
0,074	65,55

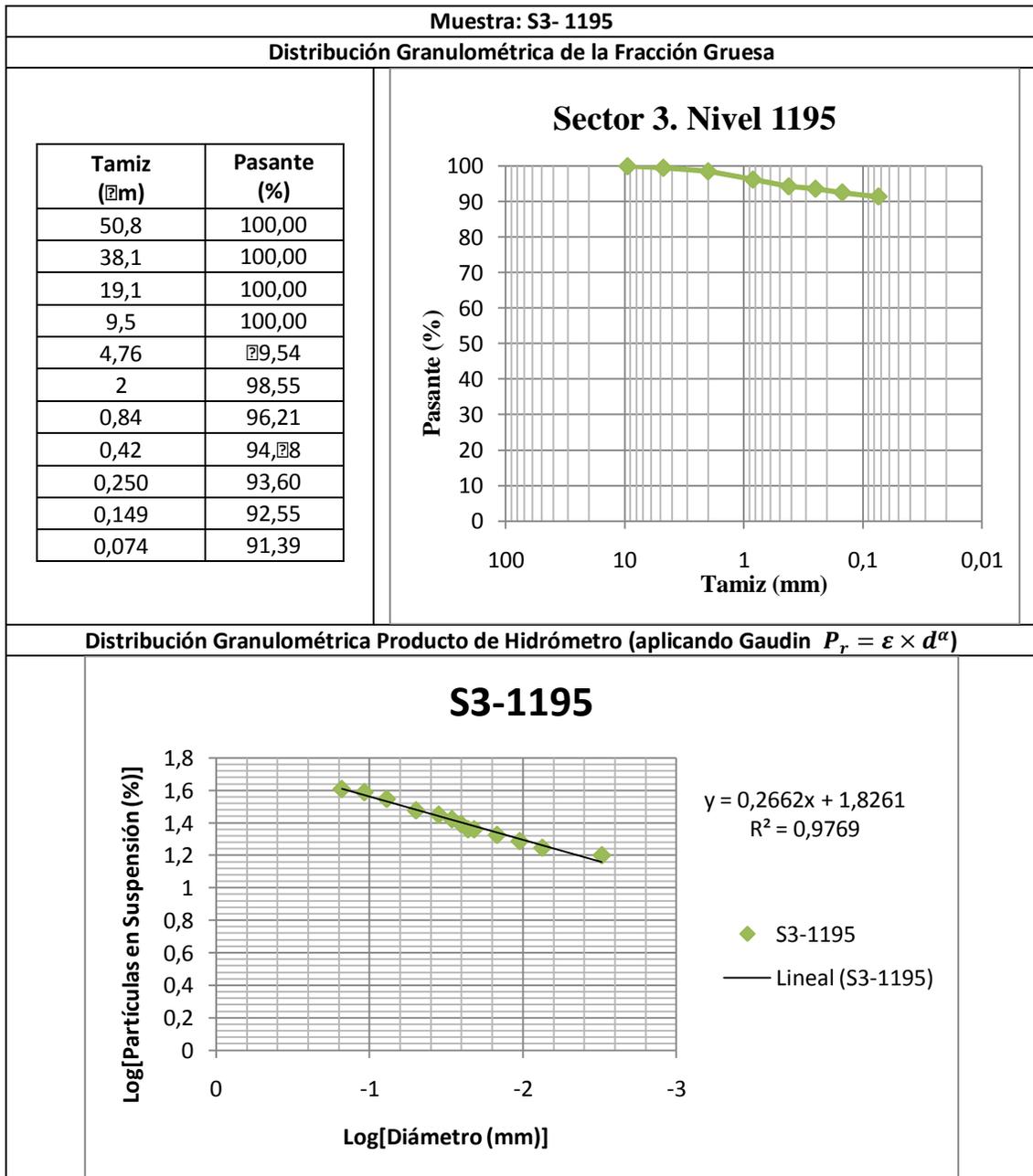
Sector 2. GRD Nivel 1250



Distribución Granulométrica Producto de Hidrómetro (aplicando Gaudin  $P_r = \epsilon \times d^\alpha$ )

S2-GRD-1250

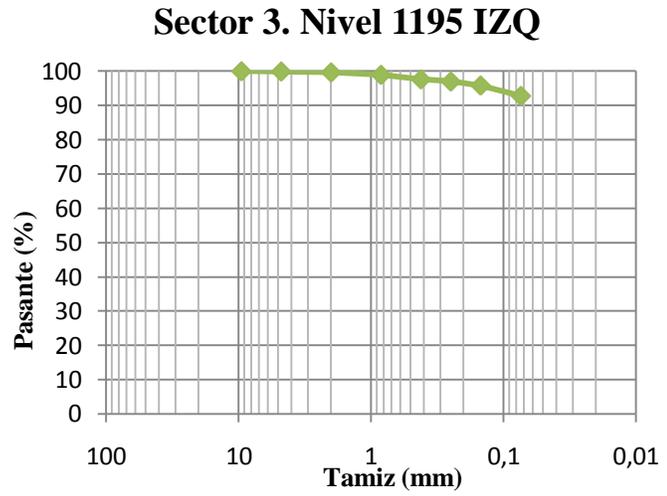




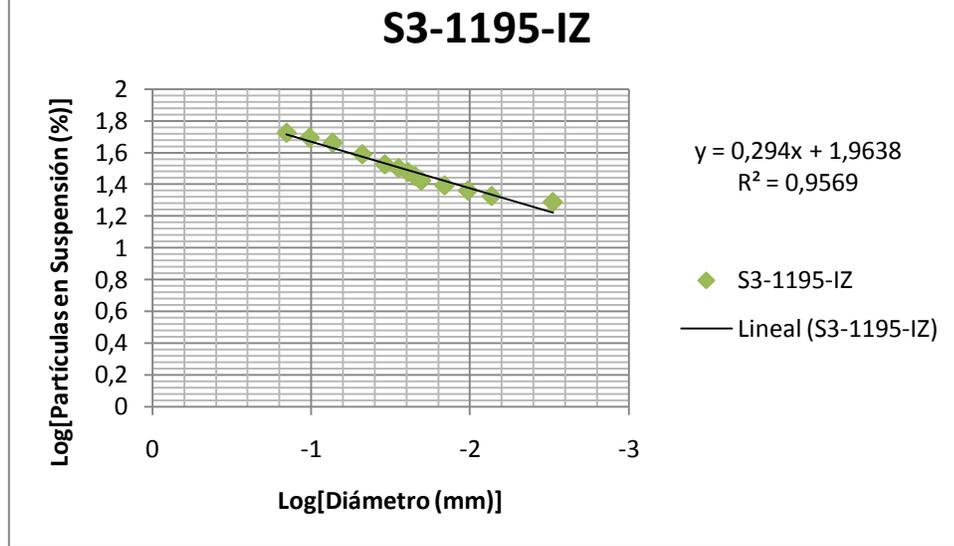
Muestra: S3-1195-IZQ

Distribución Granulométrica de la Fracción Gruesa

Tamiz (mm)	Pasante (%)
50,8	100,00
38,1	100,00
19,1	100,00
9,5	100,00
4,76	99,93
2	99,66
0,8	98,95
0,42	97,63
0,250	97,02
0,149	95,86
0,074	92,92



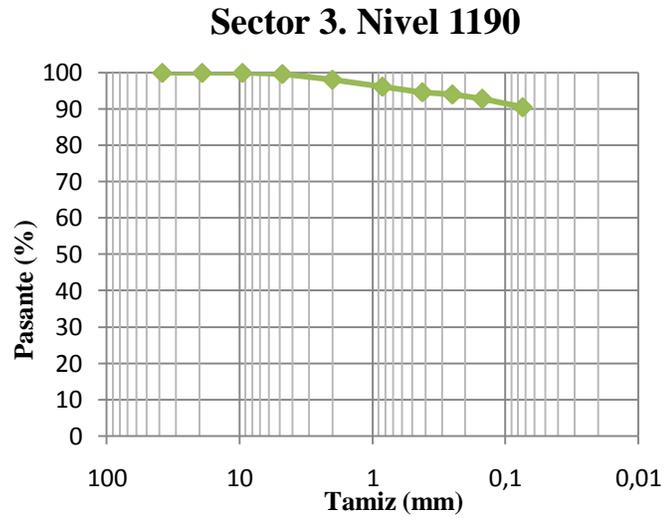
Distribución Granulométrica Producto de Hidrómetro (aplicando Gaudin  $P_r = \epsilon \times d^\alpha$ )



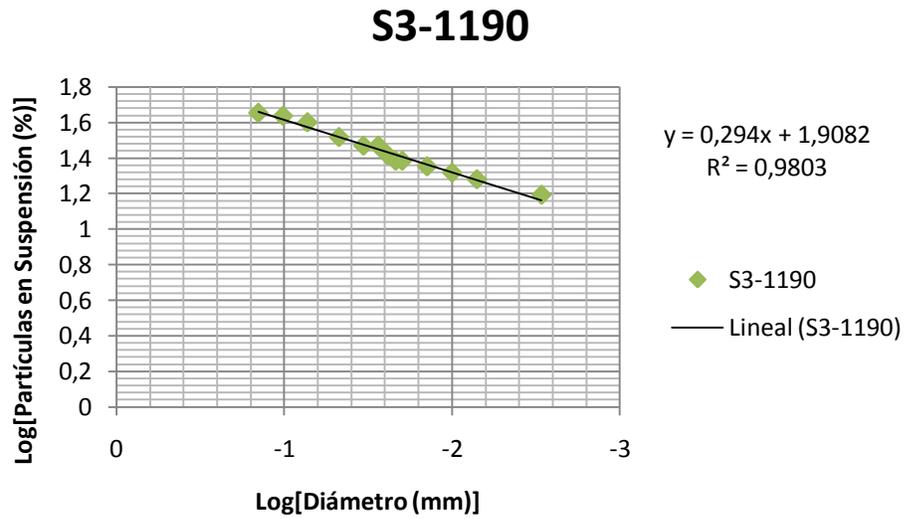
Muestra: S3-1190

Distribución Granulométrica de la Fracción Gruesa

Tamiz (µm)	Pasante (%)
50,8	100,00
38,1	100,00
19,1	100,00
9,5	100,00
4,76	99,69
2	98,12
0,84	96,20
0,42	94,65
0,250	94,05
0,149	92,86
0,074	90,50



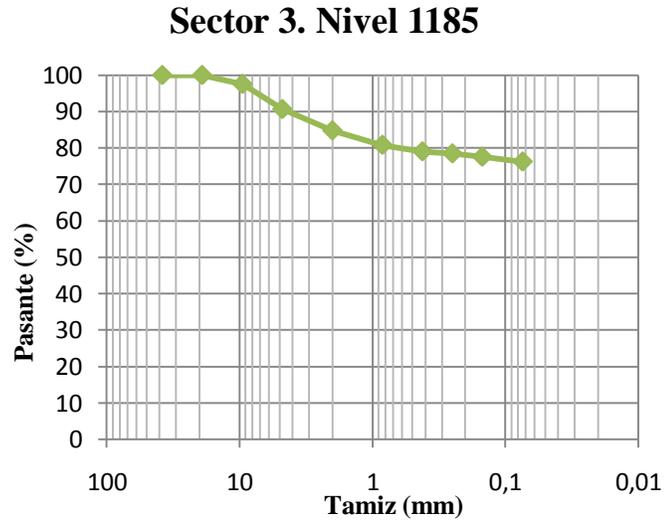
Distribución Granulométrica Producto de Hidrómetro (aplicando Gaudin  $P_r = \epsilon \times d^\alpha$ )



Muestra: S3-1185

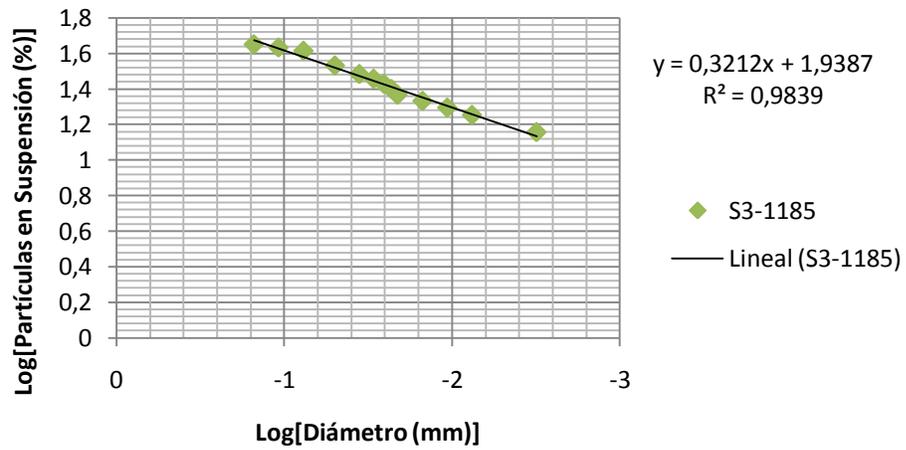
Distribución Granulométrica de la Fracción Gruesa

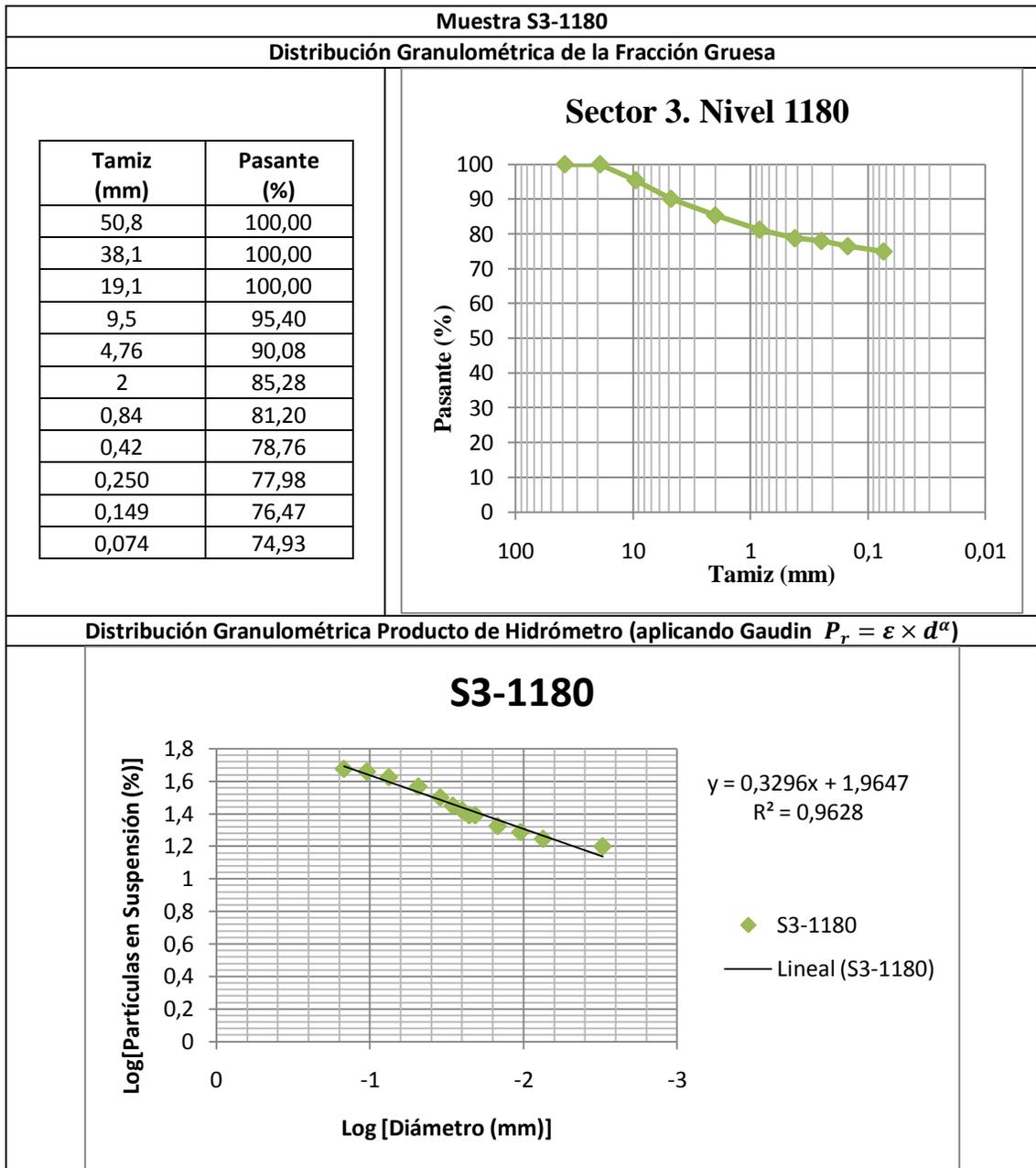
Tamiz (mm)	Pasante (%)
50,8	100,00
38,1	100,00
19,1	100,00
9,5	97,54
4,76	90,64
2	84,79
0,84	80,80
0,42	79,02
0,250	78,45
0,149	77,54
0,074	76,23



Distribución Granulométrica Producto de Hidrómetro (aplicando Gaudin  $P_r = \epsilon \times d^a$ )

**S3-1185**



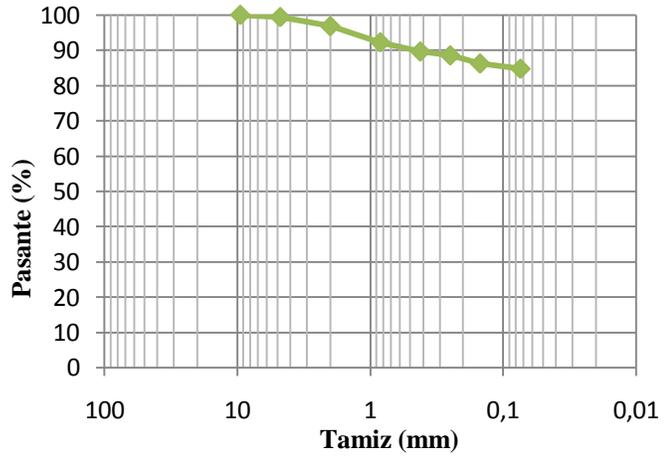


Muestra S3-1180-TRANS

Distribución Granulométrica de la Fracción Guesa

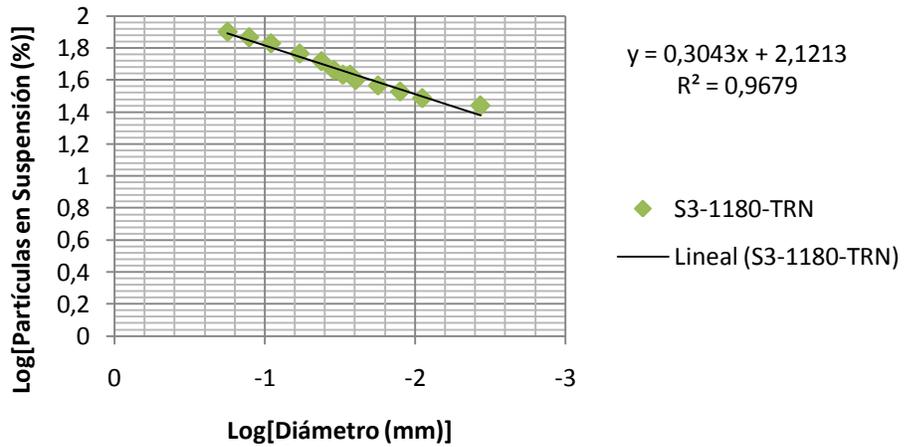
Tamiz (m $\phi$ )	Pasante (%)
50,8	100,00
38,1	100,00
19,1	100,00
9,5	100,00
4,76	92,39
2	96,83
0,8	92,28
0,42	89,68
0,250	88,59
0,149	86,31
0,074	84,83

Sector 3. Nivel 1180 TRANS



Distribución Granulométrica Producto de Hidrómetro (aplicando Gaudin  $P_r = \epsilon \times d^\alpha$ )

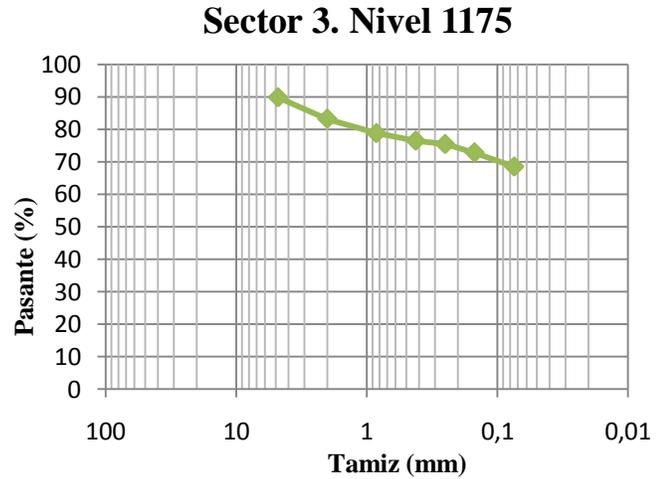
S3-1180-TRN



Muestra: S3-1175

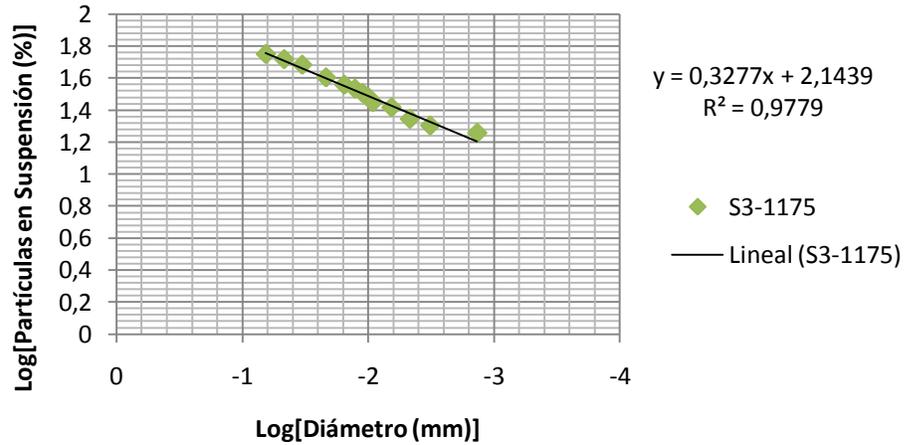
Distribución Granulométrica de la Fracción Guesa

Tamiz (µm)	Pasante (%)
50,8	100,00
38,1	100,00
19,1	94,44
9,5	92,91
4,76	82,78
2	83,19
0,84	78,74
0,42	76,41
0,250	75,38
0,149	72,81
0,074	68,44



Distribución Granulométrica Producto de Hidrómetro (aplicando Gaudin  $P_r = \epsilon \times d^\alpha$ )

**S3-1175**



### Humedad Natural

	Muestra	Peso Húmedo (gr.)	Peso Seco (gr.)	% Humedad
Sector 1	S1 1340	754,59	516,04	46,23
	S1 1300	531,00	353,92	50,03
	S1 1290 (2)	620,38	415,75	49,22
	S1 1290	690,00	458,06	50,64
	S1 1285	811,50	620,76	30,73
	S1 1270	662,29	525,80	25,96
	S1 1265	502,10	352,41	42,48
	S1 1260	475,80	319,14	49,09
Humedad Promedio				43,05

	Muestra	Peso Húmedo (gr.)	Peso Seco (gr.)	% Humedad
Sector 2	S2 006 1245	567,60	359,65	57,82
	S2 1240 (3-1245)	714,04	523,20	36,48
	S2 1240 (2-1245)	677,28	472,23	43,42
	S2 1220	599,50	444,21	34,96
	S2 GRD 1250	701,93	462,06	51,91
	Humedad Promedio			

	Muestra	Peso Húmedo (gr.)	Peso Seco (gr.)	% Humedad
Sector 3	S3 1195	710,86	577,39	23,12
	S3 1195 IZQ	934,72	726,04	28,74
	S3 1190	834,44	671,54	24,26
	S3 1180	870,65	731,49	19,02
	S3 1185	848,64	707,10	20,02
	S3 1180 TRANS	610,03	399,40	52,74
	S3 1175	683,35	482,85	41,52
	Humedad Promedio			

**Peso Unitario**

	Muestra	Peso sin Parafina (gr.)	Peso con Parafina (gr.)	Peso con Parafina en Agua (gr.)	Peso Unitario (gr/cm3)
Sector 1	S1 1340	109,97	114,78	52,999	1,953
	S1 1300	158,37	165,96	57,381	1,584
	S1 1290 (2)	91,31	95,67	30,885	1,526
	S1 1290	111,1	116,12	40,239	1,583
	S1 1285	143,25	149,97	71,662	2,027
	S1 1270	157,56	164,4	77,799	1,999
	S1 1265	157,68	165,7	61,437	1,657
	S1 1260	103,04	109,74	44,648	1,793

	Muestra	Peso sin Parafina (gr.)	Peso con Parafina (gr.)	Peso con Parafina en Agua (gr.)	Peso Unitario (gr/cm3)
Sector 2	S2 006 1245	131,34	138,68	53,266	1,704
	S2 GRD 1250	215,67	226,03	98,052	1,856
	S2 1220	133,69	140,19	51,446	1,643
	S2 1240 (2-1245)	92,36	97,89	22,565	1,338
	S2 1240 (3-1245)	123,86	132,47	50,669	1,720

	Muestra	Peso sin Parafina (gr.)	Peso con Parafina (gr.)	Peso con Parafina en Agua (gr.)	Peso Unitario (gr/cm3)
Sector 3	S3 1195	144,93	150,76	65,443	1,842
	S3 1195 IZQ	157,61	162,93	81,930	2,103
	S3 1190	126,71	133,3	64,650	2,072
	S3 1185	125,02	132,66	64,917	2,117
	S3 1180	129,56	137,1	68,975	2,175
	S3 1180 TRANS	180,05	189,11	62,449	1,547
	S3 1175	96,05	105,61	36,682	1,654

### Peso Específico

Muestra	Peso Picn. (gr.)	P Picn.+ P. suelo seco (gr.)	P. suelo seco + P Pic. + H2O	Temp. (°C)	P. suelo seco (gr.)	P. Esp.
S1 1340	48,05	73,03	165,09	26,7	24,98	3,36
S1 1300	47,41	72,62	163,35	26,2	25,21	2,84
S1 1290 (2)	32,62	47,61	92,02	27,2	14,99	2,79
S1 1290	32,71	47,7	92,05	26,9	14,99	2,78
S1 1285	32,61	47,55	93,22	25,1	14,94	3,59
S1 1270	48,03	73,03	164,95	27	25	3,30
S1 1265	32,19	47,57	92,03	26,4	15,38	2,89
S1 1260	32,62	47,67	91,93	26,4	15,05	2,72

Muestra	Peso Picn. (gr.)	P Picn.+ P. suelo seco (gr.)	P. suelo seco + P Pic. + H2O	Temp. (°C)	P. suelo seco (gr.)	P. Esp.
S2 006 1245	32,61	47,59	93,7	26,9	14,98	4,06
S2 1240	32,19	47,23	91,15	24,9	15,04	2,56
S2 1240	32,19	47,17	91,19	26,9	14,98	2,61
S2 1220	32,18	47,15	92,43	27,2	14,97	3,34
S2 GRD	32,72	47,47	92,39	27,3	14,75	3,07

Muestra	Peso Picn. (gr.)	P Picn.+ P. suelo seco (gr.)	P. suelo seco + P Pic. + H2O	Temp. (°C)	P. suelo seco (gr.)	P. Esp.
S3 1195	47,41	72,38	164,42	27	24,97	3,32
S3 1195 IZQ	32,71	47,95	93,19	26,1	15,24	3,37
S3 1190	32,71	48,05	93,49	24,8	15,34	3,53
S3 1180	47,41	72,38	164,47	26,8	24,97	3,34
S3 1185	48,05	73,01	164,9	25	24,96	3,26
S3 1180 T	48,46	73,38	163,59	27,2	24,92	2,63
S3 1175	48,46	73,45	163,58	26,7	24,99	2,61

Límites de consistencia

Muestra	Limite Liquido								
	#Tara	#Golpes	Wh+Tara	WD+Tara	Wtara	Wh	Ws	%W	$\omega_L$ (%)
S1-1340	9A	19	14,62	12,28	8,59	6,030	3,690	63,415	61,360
	27	24	15,91	13,57	9,87	6,040	3,700	63,243	62,934
	22	25	17,05	14,14	9,63	7,420	4,510	64,523	64,523
	Limite Plástico								
	23		8,82	8,33	7,35	1,470	0,980	50,000	<b>50,000</b>

Muestra	Limite Liquido								
	#Tara	#Golpes	Wh+Tara	WD+Tara	Wtara	Wh	Ws	%W	$\omega_L$ (%)
961S11300	16	10	21,94	18,55	14,64	7,30	3,91	86,701	77,673
	13	20	20,86	17,96	14,33	6,53	3,63	79,890	77,779
	15	36	20,35	17,54	13,91	6,44	3,63	77,410	80,873
	Limite Plástico								
	23		8,31	7,94	7,35	0,960	0,590	62,712	<b>62,712</b>

Muestra	Limite Liquido								
	#Tara	#Golpes	Wh+Tara	WD+Tara	Wtara	Wh	Ws	%W	$\omega_L$ (%)
S1-1290(2)	79A	10	11,48	7,91	3,69	7,790	4,220	84,597	75,788
	92	28	14,33	11,45	7,56	6,770	3,890	74,036	75,050
	57	35	12,66	9,86	5,99	6,670	3,870	72,351	75,333
	Limite Plástico								
	39		8,62	8,27	7,61	1,010	0,660	53,030	<b>53,030</b>

Muestra	Limite Liquido								
	#Tara	#Golpes	Wh+Tara	WD+Tara	Wtara	Wh	Ws	%W	$\omega_L$ (%)
S1-1290	18	10	18,90	16,92	14,41	4,490	2,510	78,884	70,671
	11	24	26,76	24,40	21,22	5,540	3,180	74,214	73,851
	14	32	18,21	15,95	12,68	5,530	3,270	69,113	71,191
	Limite Plástico								
	27		15,99	13,85	9,87	6,120	3,980	53,769	<b>53,769</b>

Muestra	Limite Liquido								
	#Tara	#Golpes	Wh+Tara	WD+Tara	Wtara	Wh	Ws	%W	$\omega_L$ (%)
S1-1285	5	10	25,15	22,37	15,35	9,80	7,02	39,601	35,478
	9	20	22,80	20,52	14,54	8,26	5,98	38,127	37,120
	35	33	21,31	18,37	10,36	10,95	8,01	36,704	37,948
	Limite Plástico								
	12		14,88	14,64	13,92	0,96	0,720	33,333	<b>33,333</b>

Muestra	Limite Liquido								
	#Tara	#Golpes	Wh+Tara	WD+Tara	Wtara	Wh	Ws	%W	$\omega_L$ (%)
549S11265	71	19	15,78	13,56	10,17	5,610	3,390	65,487	63,365
	37	22	12,79	10,1	5,98	6,810	4,120	65,291	64,297
	99	40	13,53	11,28	7,59	5,940	3,690	60,976	64,513
	Limite Plástico								
	17		10,17	9,56	8,39	1,780	1,170	52,137	<b>52,137</b>

Muestra	Limite Liquido								
	#Tara	#Golpes	Wh+Tara	WD+Tara	Wtara	Wh	Ws	%W	$\omega_L$ (%)
S1-1260	86	25	11,37	8,14	3,87	7,500	4,270	75,644	75,644
	193	35	12,52	10,41	7,49	5,030	2,920	72,260	75,238
	91	40	14,98	12,34	8,60	6,380	3,740	70,588	74,684
	Limite Plástico								
	26		8,38	8,05	7,37	1,010	0,680	48,529	<b>48,529</b>

Muestra	Limite Líquido								
	#Tara	#Golpes	Wh+Tara	WD+Tara	Wtara	Wh	Ws	%W	$\omega_L$ (%)
S21245(006)	90	16	17,77	14,88	11,04	6,730	3,840	75,260	71,336
	21	28	18,44	15,43	11,31	7,130	4,120	73,058	74,059
	93	40	17,02	14,22	10,20	6,820	4,020	69,652	73,693
	Limite Plástico								
	27		15,48	15,13	14,53	0,950	0,600	58,333	<b>58,333</b>

Muestra	Limite Liquido								
	#Tara	#Golpes	Wh+Tara	WD+Tara	Wtara	Wh	Ws	%W	$\omega_L$ (%)
111S2GRD	32A	10	13,41	10,26	6,13	7,280	4,130	76,271	68,329
	40	20	14,75	11,84	7,65	7,100	4,190	69,451	67,616
	20	34	16,98	13,6	8,40	8,580	5,200	65,000	67,443
	Limite Plástico								
	35		8,45	8,11	7,44	1,010	0,670	50,746	<b>50,746</b>

Muestra	Limite Liquido								
	#Tara	#Golpes	Wh+Tara	WD+Tara	Wtara	Wh	Ws	%W	$\omega_L$ (%)
531S21240	62	12	9,94	8,33	6,06	3,880	2,270	70,925	64,945
	68	23	13,30	10,58	6,33	6,970	4,250	64,000	63,363
	73	34	18,39	15,77	11,47	6,920	4,300	60,930	63,220
	Limite Plástico								
	78		12,66	12,19	11,20	1,460	0,990	47,475	<b>47,475</b>

Muestra	Limite Liquido								
	#Tara	#Golpes	Wh+Tara	WD+Tara	Wtara	Wh	Ws	%W	$\omega_L$ (%)
T10S21240	17	10	17,47	14,44	10,09	7,380	4,350	69,655	62,402
	30	20	20,30	16,41	10,41	9,890	6,000	64,833	63,120
	28	36	17,18	14,52	10,12	7,060	4,400	60,455	63,159

Limite Plástico									$\omega_p$ (%)
29		8,90	8,4	7,48	1,420	0,920	54,348	<b>54,348</b>	

Muestra	Limite Liquido								
	#Tara	#Golpes	Wh+Tara	WD+Tara	Wtara	Wh	Ws	%W	$\omega_L$ (%)
S21220LAT	6	10	23,71	20,40	14,66	9,05	5,74	57,666	51,661
	7	23	22,50	20,40	16,41	6,09	3,99	52,632	52,108
	19	35	25,64	22,84	17,37	8,27	5,47	51,188	53,297
Limite Plástico									$\omega_p$ (%)
3		16,05	15,58	14,40	1,650	1,180	39,831	<b>39,831</b>	

Muestra	Limite Liquido								
	#Tara	#Golpes	Wh+Tara	WD+Tara	Wtara	Wh	Ws	%W	$\omega_L$ (%)
	39	10	15,14	13,11	7,63	7,510	5,480	37,044	33,187
	20	23	18,47	15,87	8,39	10,080	7,480	34,759	34,413
S3-1195	17	30	16,71	14,56	8,39	8,320	6,170	34,846	35,617
Limite Plástico									$\omega_p$ (%)
31		9,05	8,7	7,43	1,620	1,270	27,559	<b>27,559</b>	

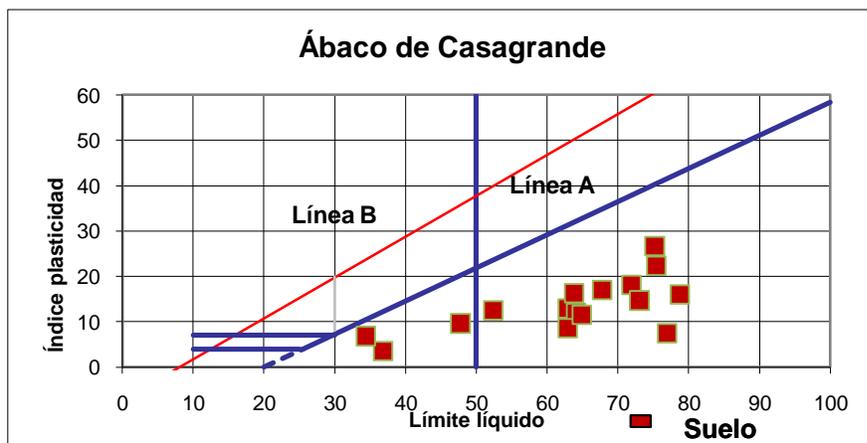
Muestra	Limite Liquido								
	#Tara	#Golpes	Wh+Tara	WD+Tara	Wtara	Wh	Ws	%W	$\omega_L$ (%)
S31195IZQ	45	10	18,02	14,09	6,18	11,840	7,910	49,684	44,511
	25	23	15,61	13,09	7,46	8,150	5,630	44,760	44,315
	15	41	25,39	21,95	13,92	11,470	8,030	42,839	45,459
Limite Plástico									$\omega_p$ (%)
8		15,68	15,26	14,16	1,520	1,100	38,182	<b>38,182</b>	

Muestra	Limite Liquido								
	#Tara	#Golpes	Wh+Tara	WD+Tara	Wtara	Wh	Ws	%W	$\omega_L$ (%)
S31180	32A	10	15,19	13,18	10,83	4,36	2,35	85,532	76,626
	40	20	16,85	14,02	10,38	6,47	3,64	77,747	75,693
	37	36	17,37	14,27	10,15	7,22	4,12	75,243	78,608
	Limite Plástico								
16		16,22	15,49	14,44	1,78	1,050	69,524	<b>69,524</b>	

Muestra	Limite Liquido								
	#Tara	#Golpes	Wh+Tara	WD+Tara	Wtara	Wh	Ws	%W	$\omega_L$ (%)
S3-1175	20	10	16,52	14,11	10,75	5,77	3,360	71,726	64,258
	9	22	16,34	13,87	10,12	6,22	3,750	65,867	64,864
	8	35	21,60	18,72	14,15	7,45	4,570	63,020	65,616
	Limite Plástico								
25		9,30	8,66	7,46	1,840	1,200	53,333	<b>53,333</b>	

### Clasificación de Suelos

Muestra	LL (%)	LP (%)	IP	Pasante Tamiz N° 4	Pasante Tamiz N° 200	Clasificación
S1 1340	62,9	50,0	12,9	96,86	84,41	Limo de alta plasticidad arenoso (MH)
S1 1300	78,8	62,7	16,1	77,75	55,05	
S1 1290 (2)	75,4	53,0	22,4	93,77	67,56	
S1 1290	71,9	53,8	18,1	87,8	66,08	
S1 1285	36,9	33,3	3,6	100	89,94	Limo de baja plasticidad (ML)
S1 1270			0	98,77	89,43	
S1 1265	64,1	52,1	11,9	91,37	54,01	Limo de alta plasticidad arenoso (MH)
S1 1260	75,2	48,5	26,7	91,84	61,74	
S2 006 1245	73,0	58,3	14,7	100	86,72	Limo de alta plasticidad (MH)
S2 1240	62,9	54,4	8,54	65,58	39,77	Grava limosa con arena (GM)
S2 1240	63,8	47,5	16,4	74,68	44,51	Arena limosa con grava (SM)
S2 1220	52,4	39,8	12,5	98,93	88,15	Limo de alta plasticidad (MH)
S2 GRD	67,8	50,8	17,1	92,98	65,55	Limo de alta plasticidad arenoso (MH)
S3 1195	34,4	27,6	6,9	99,54	91,39	Limo baja plasticidad (ML)
S3 1195 IZQ	47,8	38,1	9,6	99,93	92,82	
S3 1190			0	99,69	90,5	
S3 1185			0	90,64	76,23	
S3 1180	77,0	69,5	7,5	90,08	74,93	Limo de alta plasticidad arenoso (MH)
S3 1180 T			0	99,39	84,83	
S3 1175	64,9	53,3	11,6	89,78	68,44	Limo de alta plasticidad arenoso (MH)



**Datos de ensayo de Granulometría por Hidrómetro**

Muestra	S1-1340				
Peso Específico	3,36				
a	0,89	Temp.	25° C		
w	50,2	K	0,02948		
Lecturas Hidrómetro	Tiempo (min)	LHC	L (mm)	Diámetro (mm)	% Partículas
37	0,5	40	10,2	0,1332	70,64
34	1	37	10,7	0,0964	65,34
32	2	35	11,1	0,0695	61,81
26	5	29	12	0,0457	51,21
22	10	25	12,7	0,0332	44,15
20	15	23	13	0,0274	40,62
18	20	21	13,3	0,0240	37,08
17	25	20	13,5	0,0217	35,32
16	30	19	13,7	0,0199	33,55
14	60	17	14	0,0142	30,02
12	120	15	14,3	0,0102	26,49
9	240	12	14,8	0,0073	21,19
7	1440	10	15,2	0,0030	17,66

Muestra	S1-1300				
Peso Específico	2,84				
a	0,96	Temp.	25° C		
w	50,26	K	0,03339		
Lecturas Hidrómetro	Tiempo (min)	LHC	L (mm)	Diámetro (mm)	% Partículas
26	0,5	29	12	0,1636	55,45
24	1	27	12,4	0,1176	51,63
22	2	25	12,7	0,0841	47,80
19	5	22	13,2	0,0543	42,07
16	10	19	13,7	0,0391	36,33
15	15	18	13,8	0,0320	34,42
13	20	16	14,2	0,0281	30,59
12	25	15	14,3	0,0253	28,68
12	30	15	14,3	0,0231	28,68
10	60	13	14,7	0,0165	24,86
8	120	11	15	0,0118	21,03
6	240	9	15,3	0,0084	17,21
5	1440	8	15,5	0,0035	15,30

Muestra	S1-1290 (2)				
Peso Específico	2,79				
a	0,97	Temp	25° C		
w	50	K	0,01246		
Lecturas Hidrómetro	Tiempo (min)	LHC	L (mm)	Diámetro (mm)	% Partículas
32	0,5	35	11,1	0,0587	67,93
31	1	34	11,2	0,0417	65,99
28	2	31	11,7	0,0301	60,17
24	5	27	12,4	0,0196	52,41
20	10	23	13	0,0142	44,64
19	15	22	13,2	0,0117	42,70
17	20	20	13,5	0,0102	38,82
16	25	19	13,7	0,0092	36,88
16	30	19	13,7	0,0084	36,88
14	60	17	14	0,0060	33,00
12	120	15	14,3	0,0043	29,11
10	240	13	14,7	0,0031	25,23
9	1440	12	14,8	0,0013	23,29

Muestra	S1-1290				
Peso Específico	2,78				
a	0,97	Temp	25° C		
w	49,83	K	0,01246		
Lecturas Hidrómetro	Tiempo (min)	LHC	L (mm)	Diámetro (mm)	% Partículas
27	0,5	30	11,9	0,0608	58,55
25	1	28	12,2	0,0435	54,64
22	2	25	12,7	0,0314	48,79
17	5	20	13,5	0,0205	39,03
14	10	17	14	0,0147	33,18
13	15	16	14,2	0,0121	31,22
12	20	15	14,3	0,0105	29,27
11	25	14	14,5	0,0095	27,32
10	30	13	14,7	0,0087	25,37
8	60	11	15	0,0062	21,47
7	120	10	15,2	0,0044	19,52
6	240	9	15,3	0,0031	17,56
5	1440	8	15,5	0,0013	15,61

Muestra	S1-1285				
Peso Específico	3,59				
a	0,86	Temp	25°C		
w	50,02	K	0,02814		
Lecturas Hidrómetro	Tiempo (min)	LHC	L (mm)	Diámetro (mm)	% Partículas
24	0,5	27	12,4	0,1401	46,59
22	1	25	12,7	0,1003	43,13
20	2	23	13	0,0717	39,68
16	5	19	13,7	0,0466	32,78
14	10	17	14	0,0333	29,33
13	15	16	14,2	0,0274	27,61
12	20	15	14,3	0,0238	25,88
12	25	15	14,3	0,0213	25,88
11	30	14	14,5	0,0196	24,16
10	60	13	14,7	0,0139	22,43
9	120	12	14,8	0,0099	20,70
8	240	11	15	0,0070	18,98
7	1440	10	15,2	0,0029	17,25

Muestra	S1-1270				
Peso Específico	3,3				
a	0,89	Temp	25°C		
w	50,02	K	0,02986		
Lecturas Hidrómetro	Tiempo	LHC	L (mm)	Diámetro (mm)	% Partículas
25	0,5	28	12,2	0,1475	50,01
24	1	27	12,4	0,1051	48,22
20	2	23	13	0,0761	41,08
17	5	20	13,5	0,0491	35,72
13	10	16	14,2	0,0356	28,58
12	15	15	14,3	0,0292	26,79
11	20	14	14,5	0,0254	25,00
10	25	13	14,7	0,0229	23,22
9	30	12	14,8	0,0210	21,43
8	60	11	15	0,0149	19,65
7	120	10	15,2	0,0106	17,86
6	240	9	15,3	0,0075	16,07
5	1440	8	15,5	0,0031	14,29

Muestra	S1-1265				
Peso Específico	2,89				
a	0,95	Temp	25°C		
w	50,25	K	0,03294		
Lecturas Hidrómetro	Tiempo	LHC	L (mm)	Diámetro (mm)	% Partículas
29	0,5	32	11,5	0,1580	60,63
25	1	28	12,2	0,1151	53,05
23	2	26	12,5	0,0824	49,26
19	5	22	13,2	0,0535	41,68
16	10	19	13,7	0,0386	36,00
14	15	17	14	0,0318	32,21
13	20	16	14,2	0,0278	30,32
12	25	15	14,3	0,0249	28,42
10	30	13	14,7	0,0231	24,63
9	60	12	14,8	0,0164	22,74
8	120	11	15	0,0116	20,84
7	240	10	15,2	0,0083	18,95
5	1440	8	15,5	0,0034	15,16

Muestra	S1-1260				
Peso Específico	2,72				
a	0,98	Temp	25°C		
w	50,37	K	0,03453		
Lecturas Hidrómetro	Tiempo	LHC	L (mm)	Diámetro (mm)	% Partículas
28	0,5	31	11,7	0,1670	60,60
25	1	28	12,2	0,1206	54,73
23	2	26	12,5	0,0863	50,83
19	5	22	13,2	0,0561	43,01
15	10	18	13,8	0,0406	35,19
14	15	17	14	0,0334	33,23
13	20	16	14,2	0,0291	31,28
12	25	15	14,3	0,0261	29,32
11	30	14	14,5	0,0240	27,37
10	60	13	14,7	0,0171	25,41
8	120	11	15	0,0122	21,50
6	240	9	15,3	0,0087	17,59
5	1440	8	15,5	0,0036	15,64

Muestra	S2-1245-006				
Peso Específico	4,06				
a	0,83	Temp	25°C		
w	50,15	K	0,025889		
Lecturas Hidrómetro	Tiempo	LHC	L (mm)	Diámetro (mm)	% Partículas
25	0,5	28	12,2	0,1279	46,12
23	1	26	12,5	0,0915	42,83
21	2	24	12,9	0,0658	39,54
18	5	21	13,3	0,0422	34,59
16	10	19	13,7	0,0303	31,30
14	15	17	14	0,0250	28,00
13	20	16	14,2	0,0218	26,36
13	25	16	14,2	0,0195	26,36
12	30	15	14,3	0,0179	24,71
11	60	14	14,5	0,0127	23,06
10	120	13	14,7	0,0091	21,41
9	240	12	14,8	0,0064	19,77
7	1440	10	15,2	0,0027	16,47

Muestra	S2-1240-3				
Peso Específico	2,56				
a	1,02	Temp	25°C		
w	49,42	K	0,01342		
Lecturas Hidrómetro	Tiempo	LHC	L (mm)	Diámetro (mm)	% Partículas
26	0,5	29	12	0,0657	59,96
24	1	27	12,4	0,0473	55,82
23	2	26	12,5	0,0336	53,76
19	5	22	13,2	0,0218	45,49
17	10	20	13,5	0,0156	41,35
15	15	18	13,8	0,0129	37,22
14	20	17	14	0,0112	35,15
13	25	16	14,2	0,0101	33,08
13	30	16	14,2	0,0092	33,08
11	60	14	14,5	0,0066	28,95
10	120	13	14,7	0,0047	26,88
8	240	11	15	0,0034	22,74
6	1440	9	15,3	0,0014	18,61

Muestra	S2-1240-2				
Peso Específico	2,61				
a	1,01	Temp	25°C		
w	50,05	K	0,01306		
Lecturas Hidrómetro	Tiempo	LHC	L (mm)	Diámetro (mm)	% Partículas
24	0,5	27	12,4	0,0650	54,45
22	1	25	12,7	0,0465	50,42
19	2	22	13,2	0,0336	44,37
15	5	18	13,8	0,0217	36,30
13	10	16	14,2	0,0156	32,27
12	15	15	14,3	0,0128	30,25
11	20	14	14,5	0,0111	28,23
10	25	13	14,7	0,0100	26,22
10	30	13	14,7	0,0091	26,22
9	60	12	14,8	0,0065	24,20
7	120	10	15,2	0,0046	20,17
6	240	9	15,3	0,0033	18,15
5	1440	8	15,5	0,0014	16,13

Muestra	S2-1220				
Peso Específico	3,34				
a	0,89	Temp	25°C		
w	50,52	K	0,02961		
Lecturas Hidrómetro	Tiempo	LHC	L	Diámetro (mm)	% Partículas
26	0,5	29	12	0,1451	51,02
24	1	27	12,4	0,1043	47,50
21	2	24	12,9	0,0752	42,22
17	5	20	13,5	0,0487	35,18
14	10	17	14	0,0350	29,91
13	15	16	14,2	0,0288	28,15
12	20	15	14,3	0,0250	26,39
11	25	14	14,5	0,0226	24,63
11	30	14	14,5	0,0206	24,63
9	60	12	14,8	0,0147	21,11
8	120	11	15	0,0105	19,35
7	240	10	15,2	0,0075	17,59
6	1440	9	15,3	0,0031	15,83

Muestra	S2-GRD-1250				
Peso Específico	3,07				
a	0,92	Temp	25°C		
w	50,55	K	0,03148		
Lecturas Hidrómetro	Tiempo	LHC	L (mm)	Diámetro (mm)	% Partículas
32	0,5	35	11,1	0,1483	63,94
30	1	33	11,4	0,1063	60,28
28	2	31	11,7	0,0761	56,63
24	5	27	12,4	0,0496	49,32
21	10	24	12,9	0,0358	43,84
18	15	21	13,3	0,0296	38,36
17	20	20	13,5	0,0259	36,54
17	25	20	13,5	0,0231	36,54
15	30	18	13,8	0,0214	32,88
14	60	17	14	0,0152	31,06
12	120	15	14,3	0,0109	27,40
10	240	13	14,7	0,0078	23,75
8	1440	11	15	0,0032	20,09

Muestra	S3-1195				
Peso Específico	3,32				
a	0,89	Temp	25°C		
w	50,53	K	0,02973		
Lecturas Hidrómetro	Tiempo (min)	LHC	L (mm)	Diámetro (mm)	% Partículas
20	0,5	23	13	0,1516	40,56
19	1	22	13,2	0,1080	38,79
17	2	20	13,5	0,0772	35,27
14	5	17	14	0,0497	29,98
13	10	16	14,2	0,0354	28,21
12	15	15	14,3	0,0290	26,45
11	20	14	14,5	0,0253	24,69
10	25	13	14,7	0,0228	22,92
10	30	13	14,7	0,0208	22,92
9	60	12	14,8	0,0148	21,16
8	120	11	15	0,0105	19,40
7	240	10	15,2	0,0075	17,63
6	1440	9	15,3	0,0031	15,87

Muestra	S3-1190				
Peso Específico	3,53				
a	0,87	Temp	25°C		
w	50,14	K	0,02847		
Lecturas Hidrómetro	Tiempo (min)	LHC	L (mm)	Diámetro (mm)	% Partículas
23	0,5	26	12,5	0,1424	45,05
22	1	25	12,7	0,1015	43,32
20	2	23	13	0,0726	39,85
16	5	19	13,7	0,0471	32,92
14	10	17	14	0,0337	29,45
14	15	17	14	0,0275	29,45
12	20	15	14,3	0,0241	25,99
11	25	14	14,5	0,0217	24,26
11	30	14	14,5	0,0198	24,26
10	60	13	14,7	0,0141	22,52
9	120	12	14,8	0,0100	20,79
8	240	11	15	0,0071	19,06
6	1440	9	15,3	0,0029	15,59

Muestra	S3-1185				
Peso Específico	3,26				
a	0,90	Temp	25°C		
w	50,06	K	0,0301		
Lecturas Hidrómetro	Tiempo (min)	LHC	L (mm)	Diámetro (mm)	% Partículas
22	0,5	25	12,7	0,1519	44,85
21	1	24	12,9	0,1082	43,06
20	2	23	13	0,0768	41,27
16	5	19	13,7	0,0499	34,09
14	10	17	14	0,0357	30,50
13	15	16	14,2	0,0293	28,71
12	20	15	14,3	0,0255	26,91
11	25	14	14,5	0,0229	25,12
10	30	13	14,7	0,0211	23,32
9	60	12	14,8	0,0150	21,53
8	120	11	15	0,0107	19,74
7	240	10	15,2	0,0076	17,94
5	1440	8	15,5	0,0031	14,35

Muestra	S3-1180				
Peso Específico	3,34				
a	0,89	Temp	25°C		
w	50,54	K	0,02961		
Lecturas Hidrómetro	Tiempo (min)	LHC	L (mm)	Diámetro (mm)	% Partículas
24	0,5	27	12,4	0,1475	47,48
23	1	26	12,5	0,1047	45,72
21	2	24	12,9	0,0752	42,20
18	5	21	13,3	0,0483	36,93
15	10	18	13,8	0,0348	31,65
13	15	16	14,2	0,0288	28,14
12	20	15	14,3	0,0250	26,38
11	25	14	14,5	0,0226	24,62
11	30	14	14,5	0,0206	24,62
9	60	12	14,8	0,0147	21,10
8	120	11	15	0,0105	19,34
7	240	10	15,2	0,0075	17,58
6	1440	9	15,3	0,0031	15,83

Muestra	S3-1180-TRN				
Peso Específico	2,63				
a	1,00	Temp	25°C		
w	32,84	K	0,03547		
Lecturas Hidrómetro	Tiempo (min)	LHC	L (mm)	Diámetro (mm)	% Partículas
23	0,5	26	12,5	0,1774	79,54
21	1	24	12,9	0,1274	73,42
19	2	22	13,2	0,0911	67,30
16	5	19	13,7	0,0587	58,12
14	10	17	14	0,0420	52,01
12	15	15	14,3	0,0346	45,89
11	20	14	14,5	0,0302	42,83
11	25	14	14,5	0,0270	42,83
10	30	13	14,7	0,0248	39,77
9	60	12	14,8	0,0176	36,71
8	120	11	15	0,0125	33,65
7	240	10	15,2	0,0089	30,59
6	1440	9	15,3	0,0037	27,53

Muestra	S3-1175				
Peso Específico	2,61				
a	1,01	Temp.	25° C		
w	50,23	K	0,01321		
Lecturas Hidrómetro	Tiempo (min)	LHC	L	Diámetro (mm)	% Partículas
25	0,5	28	12,2	0,0653	56,27
23	1	26	12,5	0,0467	52,25
21	2	24	12,9	0,0335	48,23
17	5	20	13,5	0,0217	40,19
15	10	18	13,8	0,0155	36,17
14	15	17	14	0,0128	34,16
13	20	16	14,2	0,0111	32,15
12	25	15	14,3	0,0100	30,14
11	30	14	14,5	0,0092	28,13
10	60	13	14,7	0,0065	26,12
8	120	11	15	0,0047	22,10
7	240	10	15,2	0,0032	20,10
6	1440	9	15,3	0,0014	18,09

#### Mediciones de Ángulo de Reposo

<b>Material:</b>	<b>Laterita</b>				
<b>Método:</b>	<b>Cono</b>				
<b>Masa(gr):</b>	<b>976,7</b>				
<b>N°</b>	<b>Ángulo Obs. (°)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Caudal (gr/s)</b>	
<b>1</b>	28	3,5	3,33	293,3	
<b>2</b>	30	3,6	2,57	380,0	
<b>3</b>	29	3,5	2,43	401,9	
<b>4</b>	31	3,6	2,74	356,5	
<b>5</b>	30	3,6	3,33	293,3	
<b>6</b>	31	3,7	-	-	
<b>7</b>	30	3,7	-	-	
<b>8</b>	30	3,5	-	-	
<b>9</b>	32	4	-	-	
<b>10</b>	30	3,5	-	-	
<b>Promedio</b>	<b>30,1</b>	<b>3,6</b>	<b>2,88</b>	<b>345,0</b>	
<b>Promedio Ponderado</b>	<b>30,1</b>				

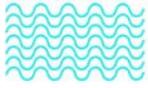
<b>Material:</b>	<b>Arena Industrial</b>			
<b>Método:</b>	<b>Cono</b>			
<b>Masa(gr):</b>	<b>1864</b>			
<b>N°</b>	<b>Ángulo Obs. (°)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Caudal (gr/s)</b>
1	35	4,1	5,4	345,2
2	35	4,3	5,86	318,1
3	34	4	5,28	353,0
4	35	4,2	5,44	342,6
5	35	4,1	4,98	374,3
6	33	4,2	-	-
7	35	4,1	-	-
8	36	4,3	-	-
9	36	4,1	-	-
10	35	4,2	-	-
<b>Promedio</b>	<b>34,9</b>	<b>4,2</b>	<b>5,39</b>	<b>346,6</b>
<b>Promedio Ponderado</b>	<b>34,9</b>			

<b>Material:</b>	<b>Laterita</b>
<b>Método:</b>	<b>Cilindro</b>
<b>Masa(gr):</b>	<b>607</b>
<b>N°</b>	<b>Ángulo Obs. (°)</b>
1	35
2	36
3	36
4	35
5	33
6	34
7	34
8	35
9	36
10	34
	<b>34,8</b>

<b>Material:</b>	<b>Arena Ind.</b>
<b>Método:</b>	<b>Cilindro</b>
<b>Masa(gr):</b>	<b>998</b>
<b>N°</b>	<b>Ángulo Obs. (°)</b>
1	39
2	39
3	39
4	38
5	38
6	39
7	40
8	38
9	40
10	38
	<b>38,8</b>

<b>Densidad Promedio de Escoria de Reducción</b>	<b>3,125</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>
--	--------------	--------------------------

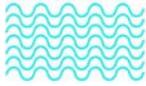
**ANEXO 3**  
**ENSAYOS DE CORTE DIRECTO**



Ingenieros De Santis, C.A.

**ENSAYOS DE CORTE DIRECTO A CINCO MUESTRAS DE  
MINERA LOMA DE NIQUEL, C.A.**

Caracas, 01 de Marzo de 2011



Ingenieros De Santis, C.A.

Caracas, 01 de Marzo de 2011

**MINERA LOMA DE NIQUEL C.A.**

Presente

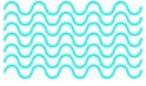
Estimados Sres.:

Seguidamente se presenta un resumen de los resultados de los ensayos de Corte Directo ejecutados sobre cinco (5) muestras enviadas por Ud. a nuestro Laboratorio procedentes de Minera Loma de Níquel, C.A. Tiara, Edo. Miranda. En el Anexo se incluyen los ensayos de Laboratorio.

**Tabla 1.** Resumen de Resultados de Ensayos de Corte Directo,  
Minera Lomas de Níquel, C.A

	Denominación	% Grava (*)	% Arenas (*)	% Pasa #200 (*)	LL (*)	LP (*)	IP (*)	Clasificación S.U.C.S	Valor de Cohesión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Angulo de Fricción, $\phi$
1	S-11260	8.72	29.89	61.74	74.68	48.53	26.16	s(MH)	0.40	25.17
2	111 S2 GRD	7.16	27.34	65.50	68	50.75	12.25	s(MH)	0.32	25.58
3	531-S2-1240	16.55	38.94	44.51	64	47.47	16.53	(SC)g	0.62	30.33
4	547-S3-1195	0.46	8.45	91.39	35	27.56	7.54	CL	0.18	31.51
5	993-S31175	10.21	21.35	68.44	65	53.3	11.67	s(MH)	0.31	32.3

(\*) Resultados de Ensayos suministrados por el Cliente



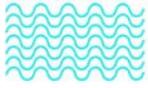
Ingenieros De Santis, C.A.

Sin otro particular a que hacer referencia y quedando de Ud a su disposición para cualquier aclaratoria,

Atentamente,

Ing. Leonor Montilva

Control de Calidad Ingenieros De Santis, C.A.



Ingenieros De Santis, C.A.

## **ANEXO 1**

### **RESULTADOS DE LABORATORIO**

### **ENSAYOS DE CORTE DIRECTO**





Ingenieros De Santis, C.A.

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM-D 3080**

<b>PROYECTO:</b>	Proyecto de Estabilidad de Taludes de Minera Lomas de Níquel, C.A	<b>FECHA:</b>	31-01 al 03-02 del 2011
<b>UBICACIÓN:</b>	Estado. Miranda	<b>REALIZADO POR:</b>	Maribiana Márquez
<b>MUESTRA:</b>	LEMA S-1-1260	<b>TIPO DE ENSAYO</b>	Saturado
<b>CAJA DE CORTE (mm):</b>	60 mm x 60 mm	<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Feliciano De Santis
		<b>DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SUELO:</b>	No Remoldeado

**CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO**

Peso específico	%w (nat.)	LI	Lp	IP	% Pasa 200	% Ret.# 4	CLASIFIC. SUCS
0,000	0,00	74,68	48,53	26,16	61,74	8,72	s(MH)

MEDIDAS INICIALES M-1	
Ancho (cm)	6
Altura (cm)	3
Peso (g)	194,10
Humedad (%)	61,72
Area (cm <sup>2</sup> )	36
Volumen (cm <sup>3</sup> )	108,00
Dens.Hum (g/cm <sup>3</sup> )	1,797
Dens.Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,111

MEDIDAS INICIALES M-2	
Ancho (cm)	6
Altura (cm)	2,8
Peso (g)	174,90
Humedad (%)	58,25
Area (cm <sup>2</sup> )	36
Volumen (cm <sup>3</sup> )	100,80
Dens.Hum (g/cm <sup>3</sup> )	1,735
Dens.Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,096

MEDIDAS INICIALES M-3	
Ancho (cm)	6
Altura (cm)	2,8
Peso (g)	188,00
Humedad (%)	42,33
Area (cm <sup>2</sup> )	36
Volumen (cm <sup>3</sup> )	100,80
Dens.Hum (g/cm <sup>3</sup> )	1,865
Dens.Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,310

Deformación Horizontal	Esfuerzo de Corte 0,5 Kg/cm <sup>2</sup>		
	Lectura Micrometro (mm)	Lectura Anillo (mm)	Carga (kg)
0,00	0,002	18,00	0,033
0,01	0,006	18,00	0,039
0,02	0,006	18,00	0,039
0,04	0,014	18,00	0,050
0,06	0,024	18,00	0,064
0,08	0,026	18,00	0,067
0,10	0,030	18,00	0,072
0,20	0,066	18,00	0,122
0,30	0,092	18,00	0,158
0,40	0,126	18,00	0,205
0,50	0,146	18,00	0,233
0,60	0,152	18,00	0,241
0,70	0,170	18,00	0,266
0,80	0,180	18,00	0,280
0,90	0,190	18,00	0,293
1,00	0,204	18,00	0,313
1,50	0,250	18,00	0,376
2,00	0,284	18,00	0,423
2,50	0,294	18,00	0,437
3,00	0,304	18,00	0,451
3,50	0,306	18,00	0,454
4,00	0,308	18,00	0,457
4,50	0,304	18,00	0,451
5,00	0,294	18,00	0,437
5,50	0,292	18,00	0,434
6,00	0,288	18,00	0,429
6,50	0,284	18,00	0,423
7,00	0,276	18,00	0,412
7,50	0,274	18,00	0,410
8,00	0,274	18,00	0,410
8,50	0,274	18,00	0,410
9,00	0,274	18,00	0,410
9,50	0,274	18,00	0,410
10,00	0,274	18,00	0,410

Deformación Horizontal	Esfuerzo de Corte 1,0 Kg/cm <sup>2</sup>		
	Lectura Micrometro (mm)	Lectura Anillo (mm)	Carga (kg)
0,00	0,022	36,00	0,061
0,01	0,026	36,00	0,067
0,02	0,040	36,00	0,086
0,04	0,050	36,00	0,100
0,06	0,066	36,00	0,122
0,08	0,070	36,00	0,127
0,10	0,108	36,00	0,180
0,20	0,146	36,00	0,233
0,30	0,183	36,00	0,284
0,40	0,208	36,00	0,318
0,50	0,241	36,00	0,364
0,60	0,268	36,00	0,401
0,70	0,294	36,00	0,437
0,80	0,316	36,00	0,468
0,90	0,372	36,00	0,545
1,00	0,422	36,00	0,614
1,50	0,472	36,00	0,683
2,00	0,506	36,00	0,731
2,50	0,528	36,00	0,761
3,00	0,553	36,00	0,796
3,50	0,576	36,00	0,827
4,00	0,603	36,00	0,865
4,50	0,618	36,00	0,885
5,00	0,654	36,00	0,935
5,50	0,620	36,00	0,888
6,00	0,612	36,00	0,877
6,50	0,608	36,00	0,872
7,00	0,606	36,00	0,869
7,50	0,600	36,00	0,861
8,00	0,612	36,00	0,877
8,50	0,612	36,00	0,877
9,00	0,612	36,00	0,877
9,50	0,604	36,00	0,866
10,00	0,610	36,00	0,874

Deformación Horizontal	Esfuerzo de Corte 2,0 Kg/cm <sup>2</sup>		
	Lectura Micrometro (mm)	Lectura Anillo (mm)	Carga (kg)
0,00	0,000	72,00	0,031
0,01	0,054	72,00	0,105
0,02	0,074	72,00	0,133
0,04	0,101	72,00	0,170
0,06	0,123	72,00	0,201
0,08	0,158	72,00	0,249
0,10	0,193	72,00	0,298
0,20	0,218	72,00	0,332
0,30	0,254	72,00	0,382
0,40	0,300	72,00	0,446
0,50	0,325	72,00	0,480
0,60	0,375	72,00	0,549
0,70	0,419	72,00	0,610
0,80	0,459	72,00	0,665
0,90	0,493	72,00	0,713
1,00	0,525	72,00	0,757
1,50	0,551	72,00	0,793
2,00	0,573	72,00	0,823
2,50	0,624	72,00	0,894
3,00	0,755	72,00	1,075
3,50	0,813	72,00	1,155
4,00	0,884	72,00	1,253
4,50	0,897	72,00	1,271
5,00	0,917	72,00	1,299
5,50	0,941	72,00	1,332
6,00	0,933	72,00	1,321
6,50	0,925	72,00	1,310
7,00	0,917	72,00	1,299
7,50	0,915	72,00	1,296
8,00	0,913	72,00	1,294
8,50	0,907	72,00	1,285
9,00	0,897	72,00	1,271
9,50	0,895	72,00	1,269
10,00	0,890	72,00	1,262

Esfuerzo cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,457

Esfuerzo cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,935

Esfuerzo cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )
1,332



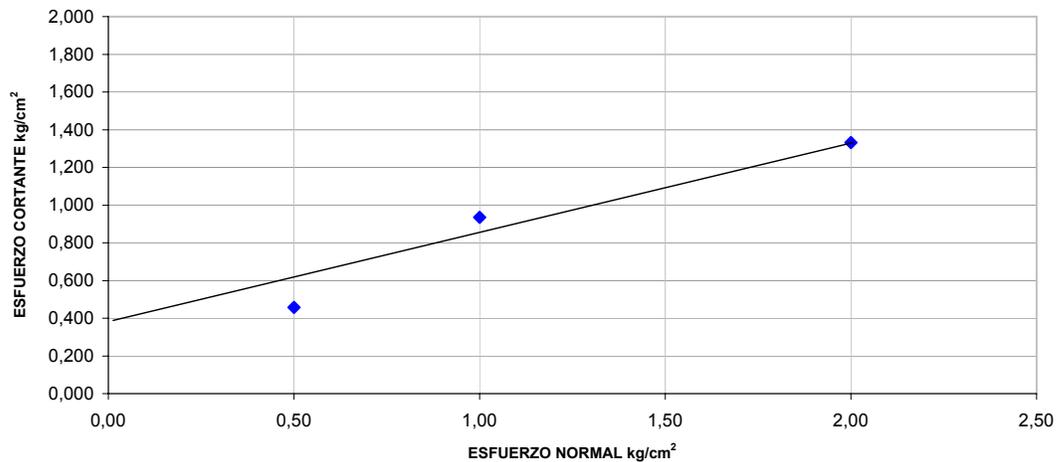
Ingenieros De Santis, C.A.

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM-D 3080**

PROYECTO:	Proyecto de Estabilidad de Taludes de Minera Lomas de Níquel, C.A		31-01 al 03-02 del 2011
UBICACIÓN	Estado. Miranda		Nº LAB:
MUESTRA:	LEMA S-1-1260	TIPO DE ENSAYO:	Saturado
CAJA DE CORTE (mm): 60 mm x 60 mm	DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SUELO:		No Remoldeado

Nº MUESTRA	ESFUERZO (kg/cm <sup>2</sup> )			DENSIDAD SECA (kg/m <sup>3</sup> )	% w	%wf	% Asentamiento	Velocidad (mm/min)
	NORMAL	CORTANTE	RESIDUAL					
1,00	0,50	0,457		1,111	61,72	-		
2,00	1,00	0,935		1,096	58,25	-		
3,00	2,00	1,332		1,310	42,33	-		

ESFUERZO NORMAL vs. ESFUERZO CORTANTE



Valor de Cohesión C (kg/cm <sup>2</sup> )
0,40
Angulo de Fricción $\phi$
25,17

REALIZADO: Maribiana Márquez

REVISADO: Ing. F. De Santis

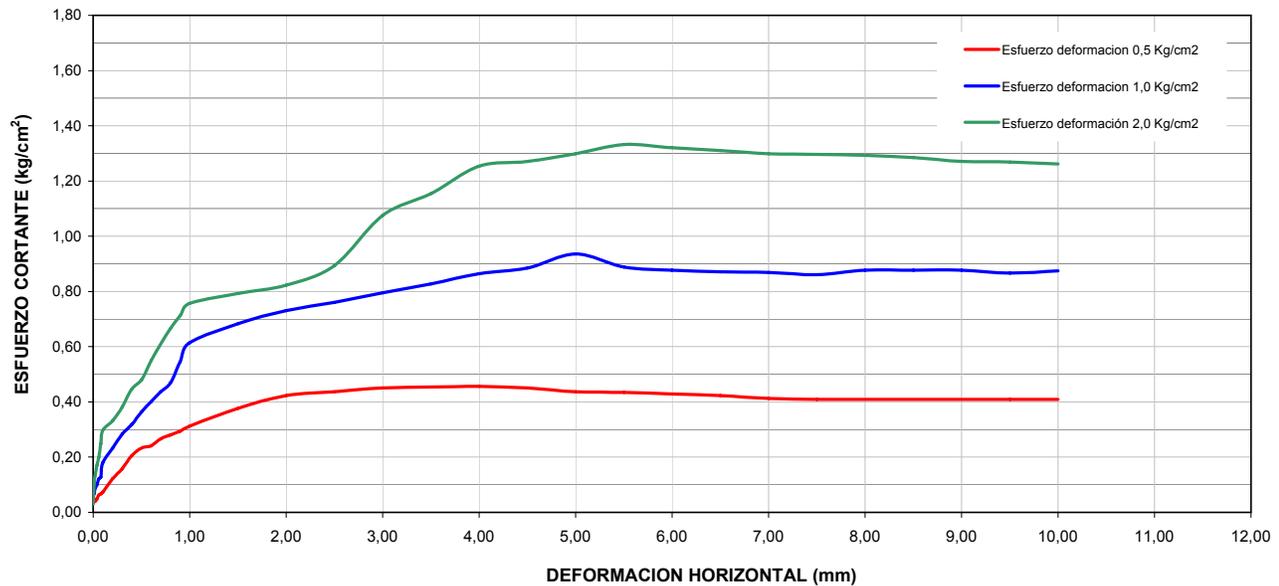


Ingenieros De Santis, C.A.

ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM-D 3080

PROYECTO:	Proyecto de Estabilidad de Taludes de Minera Lomas de Niquel, C.A		
UBICACIÓN:	Estado. Miranda	N° LAB:	
MUESTRA:	LEMA S-1-1260	TIPO DE ENSAYO:	Saturado
CAJA DE CORTE (mm):	60 mm x 60 mm	DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SUELO:	No Remoldeado

ESFUERZO VS DEFORMACION HORIZONTAL  
CORTE DIRECTO





Ingenieros De Santis, C.A.

**ENSAYO DE CONSOLIDACION EN CORTE DIRECTO  
ASTM-D 3080**

<b>PROYECTO:</b>	Proyecto de Estabilidad de Taludes de Minera Lomas de Niquel, C.A	<b>FECHA:</b>	07-12 al 10-02 del 2011
<b>UBICACIÓN:</b>	Estado. Miranda	<b>REALIZADO POR:</b>	Maribiana Márquez
<b>MUESTRA:</b>	M-2 / 11-S2-GRD	<b>TIPO DE ENSAYO</b>	Saturado
<b>CAJA DE CORTE (mm):</b>	60 mm x 60 mm	<b>DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SUELO:</b>	No Remoldeado

**CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO**

Peso específico	%w (nat.)	LI	Lp	IP	% Pasa 200	% Ret.# 4	CLASIFIC. SUCS
		68,00	50,75	17,25	65,50	7,16	s(MH)

MEDIDAS INICIALES M-1	
Ancho (cm)	6
Altura (cm)	2,8
Peso (g)	187,40
Humedad (%)	54,70
Area (cm <sup>2</sup> )	36
Volumen (cm <sup>3</sup> )	100,80
Dens.Hum (g/cm <sup>3</sup> )	1,859
Dens.Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,202

MEDIDAS INICIALES M-2	
Ancho (cm)	6
Altura (cm)	3
Peso (g)	169,40
Humedad (%)	71,04
Area (cm <sup>2</sup> )	36
Volumen (cm <sup>3</sup> )	108,00
Dens.Hum (g/cm <sup>3</sup> )	1,569
Dens.Seca (g/cm <sup>3</sup> )	0,917

MEDIDAS INICIALES M-3	
Ancho (cm)	6
Altura (cm)	2,8
Peso (g)	177,00
Humedad (%)	61,96
Area (cm <sup>2</sup> )	36
Volumen (cm <sup>3</sup> )	100,80
Dens.Hum (g/cm <sup>3</sup> )	1,756
Dens.Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,084

Esfuerzo Normal ( $\sigma_n$ ) = 0,5		
Tiempo		Deformación (mm)
0	seg (N/S)	0,000
15	min (N/S)	0,000
SATURACION	seg	-0,040
5	seg	-0,264
10	seg	-0,268
15	seg	-0,274
30	seg	-0,280
1	min	-0,288
2	min	-0,296
4	min	-0,302
8	min	-0,304
15	min	-0,306
30	min	-0,308
1	horas	-0,314
2	horas	-0,316
4	horas	-0,320
8	horas	-0,322
15	horas	-0,324
24	horas	-0,338

Esfuerzo Normal ( $\sigma_n$ ) = 1,00		
Tiempo		Deformación (mm)
0	seg (N/S)	0,000
15	min (N/S)	0,000
SATURACION	seg	-0,340
5	seg	-0,362
10	seg	-0,370
15	seg	-0,378
30	seg	-0,390
1	min	-0,402
2	min	-0,416
4	min	-0,426
8	min	-0,430
15	min	-0,440
30	min	-0,448
1	horas	-0,454
2	horas	-0,458
4	horas	-0,462
8	horas	-0,466
15	horas	-0,468
24	horas	-0,474

Esfuerzo Normal ( $\sigma_n$ ) = 2,00		
Tiempo		Deformación (mm)
0	seg (N/S)	0,000
15	min (N/S)	-0,002
SATURACION	seg	-0,436
5	seg	-0,510
10	seg	-0,526
15	seg	-0,536
30	seg	-0,556
1	min	-0,572
2	min	-0,584
4	min	-0,592
8	min	-0,598
15	min	-0,602
30	min	-0,608
1	horas	-0,612
2	horas	-0,618
4	horas	-0,620
8	horas	-0,626
15	horas	-0,628
24	horas	-0,662

OBSERVACIONES:

---



---



---



---



---



Ingenieros De Santis, C.A.

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM-D 3080**

<b>PROYECTO:</b>	Proyecto de Estabilidad de Taludes de Minera Lomas de Níquel, C.A	<b>FECHA:</b>	07-12 al 10-02 del 2011
<b>UBICACIÓN:</b>	Estado. Miranda	<b>REALIZADO POR:</b>	Maribiana Márquez
<b>MUESTRA:</b>	M-2 / 11-S2-GRD	<b>TIPO DE ENSAYO</b>	Saturado
<b>CAJA DE CORTE (mm):</b>	60 mm x 60 mm	<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Feliciano De Santis
		<b>DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SUELO:</b>	No Remoldeado

**CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO**

Peso específico	%w (nat.)	LI	Lp	IP	% Pasa 200	% Ret.# 4	CLASIFIC. SUCS
0,000	0,00	68,00	50,75	17,25	65,50	7,16	s(MH)

MEDIDAS INICIALES M-1	
Ancho (cm)	6
Altura (cm)	2,8
Peso (g)	187,40
Humedad (%)	54,70
Area (cm <sup>2</sup> )	36
Volumen (cm <sup>3</sup> )	100,80
Dens.Hum (g/cm <sup>3</sup> )	1,859
Dens.Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,202

MEDIDAS INICIALES M-2	
Ancho (cm)	6
Altura (cm)	3
Peso (g)	169,40
Humedad (%)	71,04
Area (cm <sup>2</sup> )	36
Volumen (cm <sup>3</sup> )	108,00
Dens.Hum (g/cm <sup>3</sup> )	1,569
Dens.Seca (g/cm <sup>3</sup> )	0,917

MEDIDAS INICIALES M-3	
Ancho (cm)	6
Altura (cm)	2,8
Peso (g)	177,00
Humedad (%)	61,96
Area (cm <sup>2</sup> )	36
Volumen (cm <sup>3</sup> )	100,80
Dens.Hum (g/cm <sup>3</sup> )	1,756
Dens.Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,084

Deformación Horizontal	Esfuerzo de Corte 0,5 Kg/cm <sup>2</sup>		
	Lectura Micrometro (mm)	Lectura Anillo (mm)	Carga (kg)
0,00	0,000	18,00	0,031
0,01	0,004	18,00	0,036
0,02	0,006	18,00	0,039
0,04	0,010	18,00	0,044
0,06	0,012	18,00	0,047
0,08	0,014	18,00	0,050
0,10	0,020	18,00	0,058
0,20	0,034	18,00	0,078
0,30	0,052	18,00	0,102
0,40	0,066	18,00	0,122
0,50	0,076	18,00	0,136
0,60	0,090	18,00	0,155
0,70	0,106	18,00	0,177
0,80	0,116	18,00	0,191
0,90	0,132	18,00	0,213
1,00	0,146	18,00	0,233
1,50	0,210	18,00	0,321
2,00	0,258	18,00	0,387
2,50	0,308	18,00	0,457
3,00	0,336	18,00	0,495
3,50	0,352	18,00	0,517
4,00	0,358	18,00	0,526
4,50	0,380	18,00	0,556
5,00	0,380	18,00	0,556
5,50	0,380	18,00	0,556
6,00	0,378	18,00	0,553
6,50	0,374	18,00	0,548
7,00	0,372	18,00	0,545
7,50	0,356	18,00	0,523
8,00	0,350	18,00	0,515
8,50	0,350	18,00	0,515
9,00	0,350	18,00	0,515
9,50	0,350	18,00	0,515
10,00	0,350	18,00	0,515

Deformación Horizontal	Esfuerzo de Corte 1,0 Kg/cm <sup>2</sup>		
	Lectura Micrometro (mm)	Lectura Anillo (mm)	Carga (kg)
0,00	0,000	36,00	0,031
0,01	0,004	36,00	0,036
0,02	0,014	36,00	0,050
0,04	0,016	36,00	0,053
0,06	0,020	36,00	0,058
0,08	0,022	36,00	0,061
0,10	0,026	36,00	0,067
0,20	0,050	36,00	0,100
0,30	0,100	36,00	0,169
0,40	0,138	36,00	0,221
0,50	0,176	36,00	0,274
0,60	0,202	36,00	0,310
0,70	0,236	36,00	0,357
0,80	0,264	36,00	0,396
0,90	0,290	36,00	0,432
1,00	0,312	36,00	0,462
1,50	0,398	36,00	0,581
2,00	0,448	36,00	0,650
2,50	0,500	36,00	0,722
3,00	0,528	36,00	0,761
3,50	0,550	36,00	0,791
4,00	0,540	36,00	0,778
4,50	0,528	36,00	0,761
5,00	0,502	36,00	0,725
5,50	0,486	36,00	0,703
6,00	0,468	36,00	0,678
6,50	0,464	36,00	0,672
7,00	0,456	36,00	0,661
7,50	0,452	36,00	0,656
8,00	0,446	36,00	0,648
8,50	0,440	36,00	0,639
9,00	0,440	36,00	0,639
9,50	0,440	36,00	0,639
10,00	0,428	36,00	0,623
			0,031

Deformación Horizontal	Esfuerzo de Corte 2,0 Kg/cm <sup>2</sup>		
	Lectura Micrometro (mm)	Lectura Anillo (mm)	Carga (kg)
0,00	0,000	72,00	0,031
0,01	0,038	72,00	0,083
0,02	0,054	72,00	0,105
0,04	0,098	72,00	0,166
0,06	0,132	72,00	0,213
0,08	0,160	72,00	0,252
0,10	0,176	72,00	0,274
0,20	0,258	72,00	0,387
0,30	0,302	72,00	0,448
0,40	0,354	72,00	0,520
0,50	0,396	72,00	0,578
0,60	0,428	72,00	0,623
0,70	0,462	72,00	0,670
0,80	0,490	72,00	0,708
0,90	0,522	72,00	0,753
1,00	0,542	72,00	0,780
1,50	0,644	72,00	0,921
2,00	0,726	72,00	1,035
2,50	0,784	72,00	1,115
3,00	0,816	72,00	1,159
3,50	0,838	72,00	1,190
4,00	0,848	72,00	1,204
4,50	0,868	72,00	1,270
5,00	0,896	72,00	1,273
5,50	0,898	72,00	1,273
6,00	0,898	72,00	1,273
6,50	0,898	72,00	1,270
7,00	0,896	72,00	1,245
7,50	0,878	72,00	1,237
8,00	0,872	72,00	1,237
8,50	0,872	72,00	1,229
9,00	0,866	72,00	1,220
9,50	0,860	72,00	1,206
10,00	0,850	72,00	1,206

Esfuerzo cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,556

Esfuerzo cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,791

Esfuerzo cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )
1,273



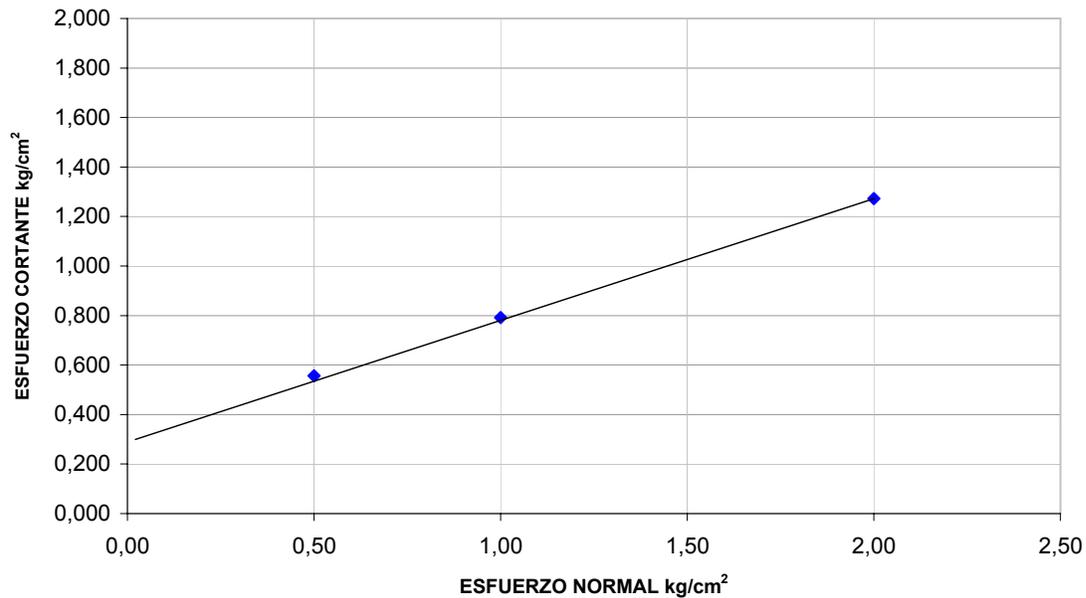
Ingenieros De Santis, C.A.

ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM-D 3080

PROYECTO:	Proyecto de Estabilidad de Taludes de Minera Lomas de Niquel, C.A	07-12 al 10-02 del 2011
UBICACIÓN	Estado. Miranda	Nº LAB:
MUESTRA:	M-2 / 11-S2-GRD	TIPO DE ENSAYO: Saturado
CAJA DE CORTE (mm): 60 mm x 60 mm	DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SUELO: No Remoldeado	

Nº MUESTRA	ESFUERZO (kg/cm <sup>2</sup> )			DENSIDAD SECA (kg/m <sup>3</sup> )	% w	%wf	% Asentamiento	Velocidad (mm/min)
	NORMAL	CORTANTE	RESIDUAL					
1,00	0,50	0,556		1,202	54,70	-		
2,00	1,00	0,791		0,917	71,04	-		
3,00	2,00	1,273		1,084	61,96	-		

ESFUERZO NORMAL vs. ESFUERZO CORTANTE



Valor de Cohesión C (kg/cm <sup>2</sup> )
0,32
Angulo de Fricción $\phi$
25,58

REALIZADO: Maribiana Márquez

REVISADO: Ing.F. De Santis

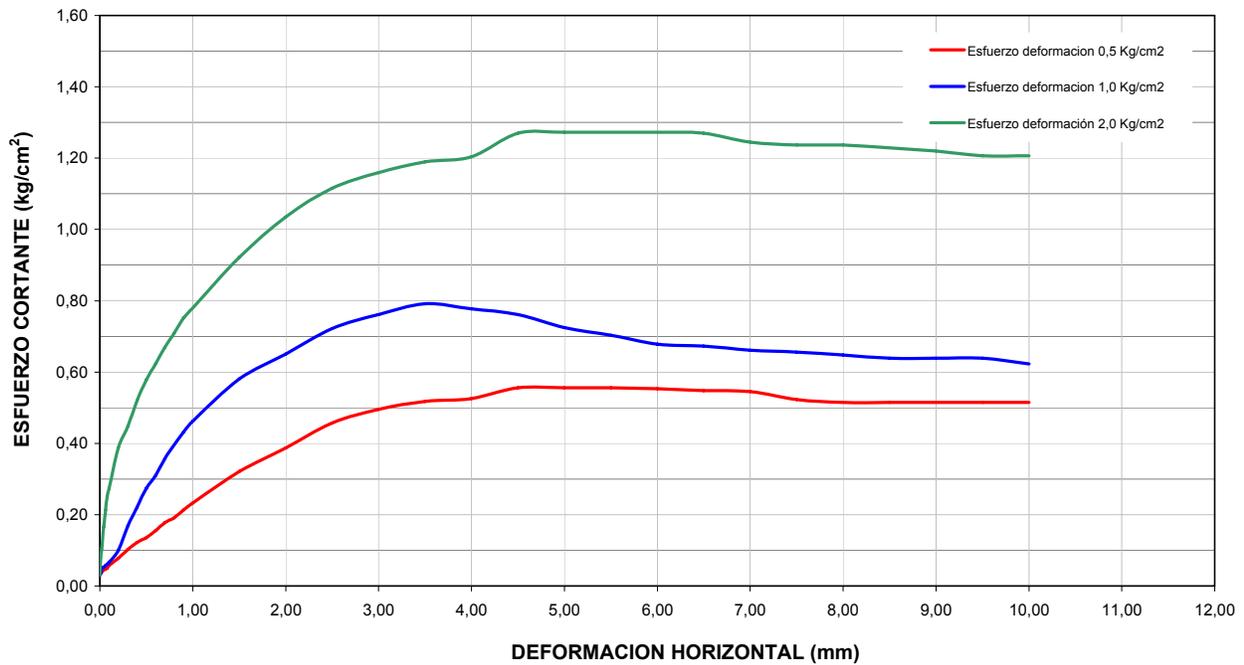


Ingenieros De Santis, C.A.

ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM-D 3080

PROYECTO:	Proyecto de Estabilidad de Taludes de Minera Lomas de Niquel, C.A	07-12 al 10-02 del 2011
UBICACIÓN	Estado Miranda	Nº LAB:
MUESTRA:	M-2 / 11-S2-GRD	TIPO DE ENSAYO: Saturado
CAJA DE CORTE (mm): 60 mm x 60 mm	DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SUELO:	No Remoldeado

ESFUERZO VS DEFORMACION HORIZONTAL  
CORTE DIRECTO







Ingenieros De Santis, C.A.

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM-D 3080**

<b>PROYECTO:</b>	Proyecto de Estabilidad de Taludes de Minera Lomas de Níquel, C.A			<b>FECHA:</b>	11-02 al 16-02 del 2011		
<b>UBICACIÓN:</b>	Estado. Miranda			<b>REALIZADO POR:</b>	Maribiana Márquez		
<b>MUESTRA:</b>	M-3 / 531-S2-12	<b>PROFUNDIDAD:</b>	0,00	<b>TIPO DE ENSAYO</b>	Saturado	<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Feliciano De Santis
<b>CAJA DE CORTE (mm):</b>	60 mm x 60 mm			<b>DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SUELO:</b>		No Remoldeado	

**CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO**

Peso específico	%w (nat.)	LI	Lp	IP	% Pasa 200	% Ret.# 4	CLASIFIC. SUCS
0,000	0,00	64,00	47,47	16,53	44,51	38,94	(SC)g

**MEDIDAS INICIALES M-1**

Ancho (cm)	6
Altura (cm)	2,8
Peso (g)	189,00
Humedad (%)	36,18
Area (cm <sup>2</sup> )	36
Volumen (cm <sup>3</sup> )	100,80
Dens.Hum (g/cm <sup>3</sup> )	1,875
Dens.Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,377

**MEDIDAS INICIALES M-2**

Ancho (cm)	6
Altura (cm)	2,8
Peso (g)	188,50
Humedad (%)	33,42
Area (cm <sup>2</sup> )	36
Volumen (cm <sup>3</sup> )	100,80
Dens.Hum (g/cm <sup>3</sup> )	1,870
Dens.Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,402

**MEDIDAS INICIALES M-3**

Ancho (cm)	6
Altura (cm)	2,8
Peso (g)	199,60
Humedad (%)	39,57
Area (cm <sup>2</sup> )	36
Volumen (cm <sup>3</sup> )	100,80
Dens.Hum (g/cm <sup>3</sup> )	1,980
Dens.Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,419

Deformación Horizontal

Esfuerzo de Corte  
**0,5 Kg/cm<sup>2</sup>**

Lectura Micrometro (mm)	Lectura Anillo (mm)	Carga (kg)	Esfuerzo de Corte (kg/cm <sup>2</sup> )
0,00	0,000	18,00	0,031
0,01	0,004	18,00	0,036
0,02	0,014	18,00	0,050
0,04	0,022	18,00	0,061
0,06	0,042	18,00	0,089
0,08	0,060	18,00	0,114
0,10	0,062	18,00	0,116
0,20	0,104	18,00	0,174
0,30	0,136	18,00	0,219
0,40	0,160	18,00	0,252
0,50	0,182	18,00	0,282
0,60	0,200	18,00	0,307
0,70	0,220	18,00	0,335
0,80	0,236	18,00	0,357
0,90	0,254	18,00	0,382
1,00	0,270	18,00	0,404
1,50	0,362	18,00	0,531
2,00	0,434	18,00	0,631
2,50	0,492	18,00	0,711
3,00	0,548	18,00	0,789
3,50	0,556	18,00	0,800
4,00	0,576	18,00	0,827
4,50	0,580	18,00	0,833
5,00	0,600	18,00	0,861
5,50	0,606	18,00	0,869
6,00	0,606	18,00	0,869
6,50	0,608	18,00	0,872
7,00	0,568	18,00	0,816
7,50	0,552	18,00	0,794
8,00	0,552	18,00	0,794
8,50	0,552	18,00	0,794
9,00	0,550	18,00	0,791
9,50	0,552	18,00	0,794
10,00	0,552	18,00	0,794

Deformación Horizontal

Esfuerzo de Corte  
**1,0 Kg/cm<sup>2</sup>**

Lectura Micrometro (mm)	Lectura Anillo (mm)	Carga (kg)	Esfuerzo de Corte (kg/cm <sup>2</sup> )
0,00	0,000	36,00	0,031
0,01	0,016	36,00	0,053
0,02	0,070	36,00	0,127
0,04	0,076	36,00	0,136
0,06	0,088	36,00	0,152
0,08	0,089	36,00	0,154
0,10	0,114	36,00	0,188
0,20	0,186	36,00	0,288
0,30	0,170	36,00	0,266
0,40	0,212	36,00	0,324
0,50	0,276	36,00	0,412
0,60	0,332	36,00	0,490
0,70	0,372	36,00	0,545
0,80	0,416	36,00	0,606
0,90	0,452	36,00	0,656
1,00	0,480	36,00	0,695
1,50	0,614	36,00	0,880
2,00	0,698	36,00	0,996
2,50	0,762	36,00	1,085
3,00	0,816	36,00	1,159
3,50	0,862	36,00	1,223
4,00	0,898	36,00	1,273
4,50	0,924	36,00	1,309
5,00	0,938	36,00	1,328
5,50	0,944	36,00	1,336
6,00	0,928	36,00	1,314
6,50	0,934	36,00	1,323
7,00	0,924	36,00	1,309
7,50	0,906	36,00	1,284
8,00	0,922	36,00	1,306
8,50	0,930	36,00	1,317
9,00	0,934	36,00	1,323
9,50	0,936	36,00	1,325
10,00	0,932	36,00	1,320

Deformación Horizontal

Esfuerzo de Corte  
**2,0 Kg/cm<sup>2</sup>**

Lectura Micrometro (mm)	Lectura Anillo (mm)	Carga (kg)	Esfuerzo de Corte (kg/cm <sup>2</sup> )
0,00	0,000	72,00	0,031
0,01	0,020	72,00	0,058
0,02	0,034	72,00	0,078
0,04	0,062	72,00	0,116
0,06	0,096	72,00	0,163
0,08	0,118	72,00	0,194
0,10	0,142	72,00	0,227
0,20	0,209	72,00	0,320
0,30	0,296	72,00	0,440
0,40	0,406	72,00	0,592
0,50	0,466	72,00	0,675
0,60	0,512	72,00	0,739
0,70	0,550	72,00	0,791
0,80	0,586	72,00	0,841
0,90	0,622	72,00	0,891
1,00	0,652	72,00	0,932
1,50	0,744	72,00	1,060
2,00	0,872	72,00	1,237
2,50	0,956	72,00	1,353
3,00	1,042	72,00	1,472
3,50	1,114	72,00	1,572
4,00	1,178	72,00	1,660
4,50	1,228	72,00	1,765
5,00	1,254	72,00	1,768
5,50	1,256	72,00	1,751
6,00	1,244	72,00	1,740
6,50	1,236	72,00	1,732
7,00	1,230	72,00	1,732
7,50	1,230	72,00	1,732
8,00	1,230	72,00	1,732
8,50	1,230	72,00	1,727
9,00	1,226	72,00	1,724
9,50	1,224	72,00	1,718
10,00	1,220	72,00	1,718

Esfuerzo cortante (Kg/cm<sup>2</sup>)

0,872

Esfuerzo cortante (Kg/cm<sup>2</sup>)

1,336

Esfuerzo cortante (Kg/cm<sup>2</sup>)

1,768

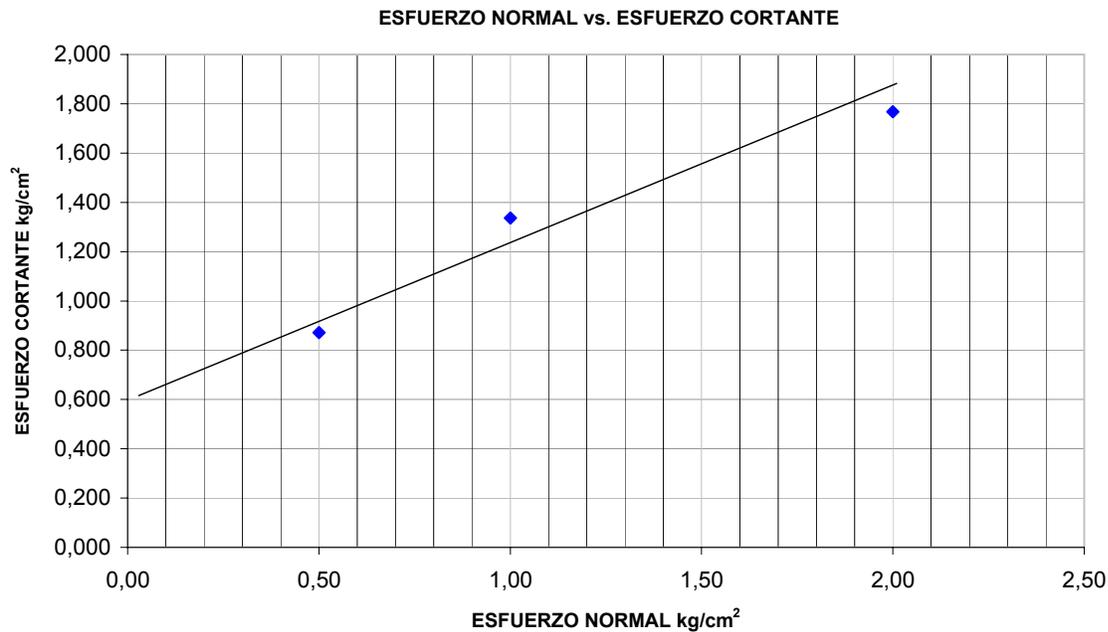


Ingenieros De Santis, C.A.

ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM-D 3080

PROYECTO:	Proyecto de Estabilidad de Taludes de Minera Lomas de Níquel, C.A	11-02 al 16-02 del 2011
UBICACIÓN	Estado. Miranda	Nº LAB:
MUESTRA:	M-3 / 531-S2-1240	TIPO DE ENSAYO: Saturado
CAJA DE CORTE (mm): 60 mm x 60 mm	DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SUELO: No Remoldeado	

Nº MUESTRA	ESFUERZO (kg/cm <sup>2</sup> )			DENSIDAD SECA (kg/m <sup>3</sup> )	% w	%wf	% Asentamiento	Velocidad (mm/min)
	NORMAL	CORTANTE	RESIDUAL					
1,00	0,50	0,872		1,377	36,18	-		
2,00	1,00	1,336		1,402	33,42	-		
3,00	2,00	1,768		1,419	39,57	-		



Valor de Cohesión C (kg/cm <sup>2</sup> )
0,62
Angulo de Fricción $\phi$
32,01

REALIZADO: Maribiana Márquez

REVISADO: Ing.F. De Santis

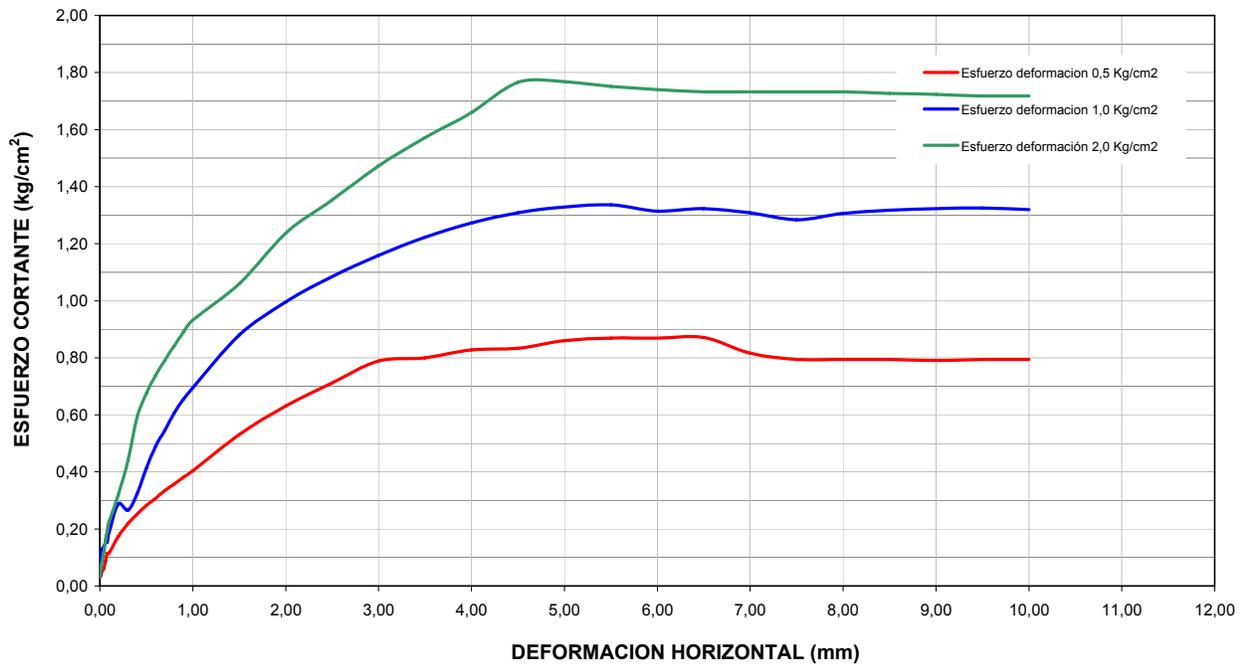


Ingenieros De Santis, C.A.

ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM-D 3080

PROYECTO:	Proyecto de Estabilidad de Taludes de Minería Lomas de Níquel, C.A	11-02 al 16-02 del 2011
UBICACIÓN	Estado. Miranda	Nº LAB:
MUESTRA:	M-3 / 531-S2-1240	TIPO DE ENSAYO: Saturado
CAJA DE CORTE (mm): 60 mm x 60 mm	DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SUELO:	No Remoldeado

ESFUERZO VS DEFORMACION HORIZONTAL  
CORTE DIRECTO





Ingenieros De Santis, C.A.

**ENSAYO DE CONSOLIDACION EN CORTE DIRECTO  
ASTM-D 3080**

<b>PROYECTO:</b>	Proyecto de Estabilidad de Taludes de Minera Lomas de Niquel, C.A	<b>FECHA:</b>	17-02 al 23-02 del 2011
<b>UBICACIÓN:</b>	Estado. Miranda	<b>REALIZADO POR:</b>	Maribiana Márquez
<b>MUESTRA:</b>	M-4 / 547-S3-1195	<b>TIPO DE ENSAYO</b>	Saturado
<b>CAJA DE CORTE (mm):</b>	60 mm x 60 mm	<b>DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SUELO:</b>	No Remoldeado

**CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO**

Peso específico	%w (nat.)	LI	Lp	IP	% Pasa 200	% Ret.# 4	CLASIFIC. SUCS
		35,00	27,56	7,44	91,39	0,46	CL

MEDIDAS INICIALES M-1	
Ancho (cm)	6
Altura (cm)	2,8
Peso (g)	208,60
Humedad (%)	29,85
Area (cm <sup>2</sup> )	36
Volumen (cm <sup>3</sup> )	100,80
Dens.Hum (g/cm <sup>3</sup> )	2,069
Dens.Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,594

MEDIDAS INICIALES M-2	
Ancho (cm)	6
Altura (cm)	2,8
Peso (g)	198,10
Humedad (%)	29,36
Area (cm <sup>2</sup> )	36
Volumen (cm <sup>3</sup> )	100,80
Dens.Hum (g/cm <sup>3</sup> )	1,965
Dens.Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,519

MEDIDAS INICIALES M-3	
Ancho (cm)	6
Altura (cm)	2,8
Peso (g)	192,60
Humedad (%)	30,63
Area (cm <sup>2</sup> )	36
Volumen (cm <sup>3</sup> )	100,80
Dens.Hum (g/cm <sup>3</sup> )	1,911
Dens.Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,463

Esfuerzo Normal ( $\sigma_n$ ) = 0,5		
Tiempo		Deformación (mm)
0	seg (N/S)	0,000
15	min (N/S)	0,000
SATURACION	seg	-0,062
5	seg	-0,066
10	seg	-0,066
15	seg	-0,066
30	seg	-0,066
1	min	-0,066
2	min	-0,066
4	min	-0,068
8	min	-0,068
15	min	-0,068
30	min	-0,068
1	horas	-0,070
2	horas	-0,070
4	horas	-0,074
8	horas	-0,079
15	horas	-0,081
24	horas	-0,081

Esfuerzo Normal ( $\sigma_n$ ) = 1,00		
Tiempo		Deformación (mm)
0	seg (N/S)	0,000
15	min (N/S)	0,000
SATURACION	seg	-0,494
5	seg	-0,530
10	seg	-0,558
15	seg	-0,566
30	seg	-0,580
1	min	-0,590
2	min	-0,598
4	min	-0,604
8	min	-0,606
15	min	-0,612
30	min	-0,614
1	horas	-0,616
2	horas	-0,616
4	horas	-0,614
8	horas	-0,618
15	horas	-0,622
24	horas	-0,642

Esfuerzo Normal ( $\sigma_n$ ) = 2,00		
Tiempo		Deformación (mm)
0	seg (N/S)	0,000
15	min (N/S)	0,000
SATURACION	seg	-0,448
5	seg	-0,484
10	seg	-0,490
15	seg	-0,492
30	seg	-0,496
1	min	-0,500
2	min	-0,502
4	min	-0,504
8	min	-0,508
15	min	-0,510
30	min	-0,512
1	horas	-0,512
2	horas	-0,514
4	horas	-0,514
8	horas	-0,514
15	horas	-0,514
24	horas	-0,510

OBSERVACIONES:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



Ingenieros De Santis, C.A.

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM-D 3080**

<b>PROYECTO:</b>	Proyecto de Estabilidad de Taludes de Minera Lomas de Níquel, C.A			<b>FECHA:</b>	17-02 al 23-02 del 2011		
<b>UBICACIÓN:</b>	Estado. Miranda			<b>REALIZADO POR:</b>	Maribiana Márquez		
<b>MUESTRA:</b>	M-4 / 547-S3-11	<b>PROFUNDIDAD:</b>	0,00	<b>TIPO DE ENSAYO</b>	Saturado	<b>REVISADO POR:</b>	Ing. Feliciano De Santis
<b>CAJA DE CORTE (mm):</b>	60 mm x 60 mm			<b>DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SUELO:</b>	No Remoldeado		

**CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO**

Peso específico	%w (nat.)	LI	Lp	IP	% Pasa 200	% Ret.# 4	CLASIFIC. SUCS
0,000	0,00	35,00	27,56	7,44	91,39	0,46	CL

MEDIDAS INICIALES M-1	
Ancho (cm)	6
Altura (cm)	2,8
Peso (g)	208,60
Humedad (%)	29,85
Area (cm <sup>2</sup> )	36
Volumen (cm <sup>3</sup> )	100,80
Dens.Hum (g/cm <sup>3</sup> )	2,069
Dens.Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,594

MEDIDAS INICIALES M-2	
Ancho (cm)	6
Altura (cm)	2,8
Peso (g)	198,10
Humedad (%)	29,36
Area (cm <sup>2</sup> )	36
Volumen (cm <sup>3</sup> )	100,80
Dens.Hum (g/cm <sup>3</sup> )	1,965
Dens.Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,519

MEDIDAS INICIALES M-3	
Ancho (cm)	6
Altura (cm)	2,8
Peso (g)	192,60
Humedad (%)	30,63
Area (cm <sup>2</sup> )	36
Volumen (cm <sup>3</sup> )	100,80
Dens.Hum (g/cm <sup>3</sup> )	1,911
Dens.Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,463

Deformación Horizontal	Esfuerzo de Corte 0,5 Kg/cm <sup>2</sup>		
	Lectura Micrometro (mm)	Lectura Anillo (mm)	Carga (kg)
0,00	0,000	18,00	0,031
0,01	0,000	18,00	0,031
0,02	0,000	18,00	0,031
0,04	0,004	18,00	0,036
0,06	0,006	18,00	0,039
0,08	0,016	18,00	0,053
0,10	0,022	18,00	0,061
0,20	0,042	18,00	0,089
0,30	0,066	18,00	0,122
0,40	0,086	18,00	0,150
0,50	0,098	18,00	0,166
0,60	0,120	18,00	0,197
0,70	0,136	18,00	0,219
0,80	0,148	18,00	0,235
0,90	0,220	18,00	0,335
1,00	0,266	18,00	0,399
1,50	0,344	18,00	0,506
2,00	0,358	18,00	0,526
2,50	0,378	18,00	0,553
3,00	0,380	18,00	0,556
3,50	0,382	18,00	0,559
4,00	0,382	18,00	0,559
4,50	0,380	18,00	0,556
5,00	0,378	18,00	0,553
5,50	0,378	18,00	0,553
6,00	0,372	18,00	0,545
6,50	0,372	18,00	0,545
7,00	0,372	18,00	0,545
7,50	0,370	18,00	0,542
8,00	0,368	18,00	0,540
8,50	0,362	18,00	0,531
9,00	0,350	18,00	0,515
9,50	0,346	18,00	0,509
10,00	0,346	18,00	0,509

Deformación Horizontal	Esfuerzo de Corte 1,0 Kg/cm <sup>2</sup>		
	Lectura Micrometro (mm)	Lectura Anillo (mm)	Carga (kg)
0,00	0,000	36,00	0,031
0,01	0,020	36,00	0,058
0,02	0,023	36,00	0,062
0,04	0,024	36,00	0,064
0,06	0,026	36,00	0,067
0,08	0,032	36,00	0,075
0,10	0,044	36,00	0,091
0,20	0,066	36,00	0,122
0,30	0,072	36,00	0,130
0,40	0,126	36,00	0,205
0,50	0,144	36,00	0,230
0,60	0,184	36,00	0,285
0,70	0,237	36,00	0,358
0,80	0,282	36,00	0,421
0,90	0,335	36,00	0,494
1,00	0,372	36,00	0,545
1,50	0,410	36,00	0,598
2,00	0,432	36,00	0,628
2,50	0,446	36,00	0,648
3,00	0,458	36,00	0,664
3,50	0,464	36,00	0,672
4,00	0,467	36,00	0,677
4,50	0,469	36,00	0,679
5,00	0,471	36,00	0,682
5,50	0,474	36,00	0,686
6,00	0,481	36,00	0,696
6,50	0,468	36,00	0,678
7,00	0,466	36,00	0,675
7,50	0,466	36,00	0,675
8,00	0,468	36,00	0,678
8,50	0,472	36,00	0,683
9,00	0,472	36,00	0,683
9,50	0,474	36,00	0,686
10,00	0,476	36,00	0,689
10,50	0,474	36,00	0,686

Deformación Horizontal	Esfuerzo de Corte 2,0 Kg/cm <sup>2</sup>		
	Lectura Micrometro (mm)	Lectura Anillo (mm)	Carga (kg)
0,00	0,000	72,00	0,031
0,01	0,022	72,00	0,061
0,02	0,038	72,00	0,083
0,04	0,043	72,00	0,090
0,06	0,049	72,00	0,098
0,08	0,051	72,00	0,101
0,10	0,058	72,00	0,111
0,20	0,096	72,00	0,163
0,30	0,226	72,00	0,343
0,40	0,288	72,00	0,429
0,50	0,322	72,00	0,476
0,60	0,350	72,00	0,515
0,70	0,372	72,00	0,545
0,80	0,396	72,00	0,578
0,90	0,410	72,00	0,598
1,00	0,428	72,00	0,623
1,50	0,522	72,00	0,753
2,00	0,608	72,00	0,872
2,50	0,662	72,00	0,946
3,00	0,728	72,00	1,038
3,50	0,776	72,00	1,104
4,00	0,830	72,00	1,179
4,50	0,872	72,00	1,295
5,00	0,914	72,00	1,342
5,50	0,948	72,00	1,378
6,00	0,974	72,00	1,403
6,50	0,992	72,00	1,400
7,00	0,990	72,00	1,406
7,50	0,994	72,00	1,403
8,00	0,992	72,00	1,406
8,50	0,994	72,00	1,411
9,00	0,998	72,00	1,428
9,50	1,010	72,00	1,425
10,00	1,008	72,00	1,425

Esfuerzo cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,559

Esfuerzo cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,696

Esfuerzo cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )
1,406



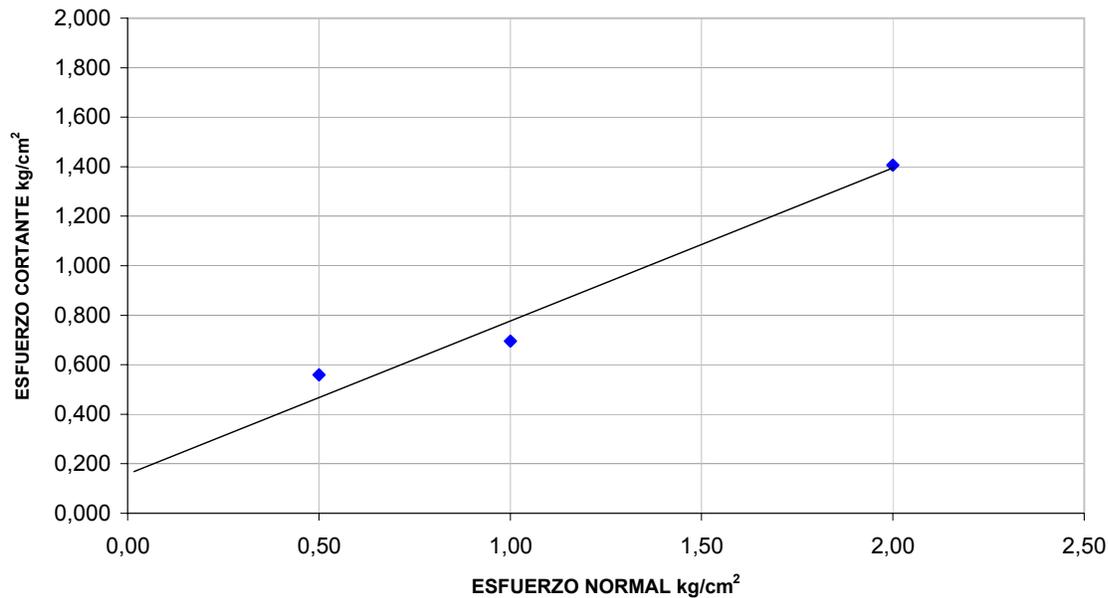
Ingenieros De Santis, C.A.

ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM-D 3080

PROYECTO:	Proyecto de Estabilidad de Taludes de Minera Lomas de Níquel, C.A	17-02 al 23-02 del 2011
UBICACIÓN	Estado. Miranda	Nº LAB:
MUESTRA:	M-4 / 547-S3-1195	TIPO DE ENSAYO: Saturado
CAJA DE CORTE (mm):	60 mm x 60 mm	DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SUELO: No Remoldeado

Nº MUESTRA	ESFUERZO (kg/cm <sup>2</sup> )			DENSIDAD SECA (kg/m <sup>3</sup> )	% w	%wf	% Asentamiento	Velocidad (mm/min)
	NORMAL	CORTANTE	RESIDUAL					
1,00	0,50	0,559		1,594	29,85	-		
2,00	1,00	0,696		1,519	29,36	-		
3,00	2,00	1,406		1,463	30,63	-		

ESFUERZO NORMAL vs. ESFUERZO CORTANTE



Valor de Cohesión C (kg/cm <sup>2</sup> )
0,18
Angulo de Fricción $\phi$
31,51

REALIZADO: Maribiana Márquez

REVISADO: Ing.F. De Santis

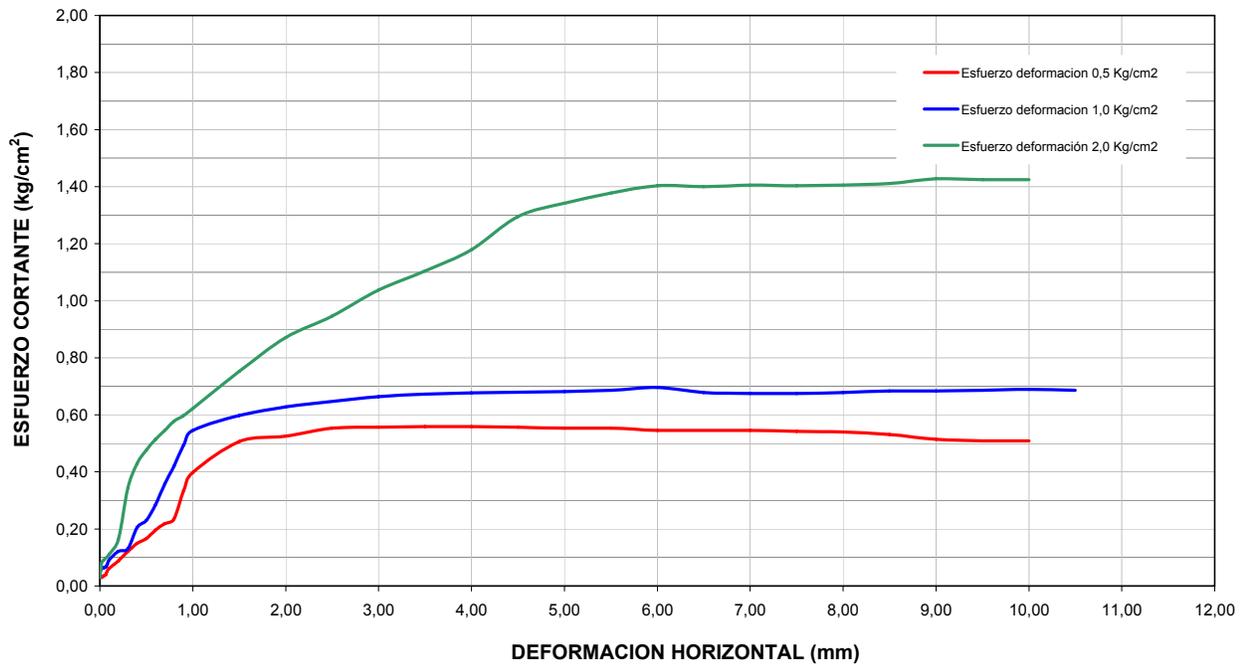


Ingenieros De Santis, C.A.

ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM-D 3080

PROYECTO:	Proyecto de Estabilidad de Taludes de Minera Lomas de Niquel, C.A	17-02 al 23-02 del 2011
UBICACIÓN	Estado. Miranda	Nº LAB:
MUESTRA:	M-4 / 547-S3-1195	TIPO DE ENSAYO: Saturado
CAJA DE CORTE (mm): 60 mm x 60 mm	DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SUELO:	No Remoldeado

ESFUERZO VS DEFORMACION HORIZONTAL  
CORTE DIRECTO







Ingenieros De Santis, C.A.

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM-D 3080**

<b>PROYECTO:</b>	Proyecto de Estabilidad de Taludes de Minera Lomas de Níquel, C.A			<b>FECHA:</b>	22-02 al 25-02 del 2011		
<b>UBICACIÓN</b>	Estado. Miranda			<b>REALIZADO POR</b>	Maribiana Márquez		
<b>MUESTRA:</b>	M-5 / 993-S3-11	<b>PROFUNDIDAD:</b>	0,00	<b>TIPO DE ENSAYO</b>	Saturado	<b>REVISADO POR</b>	Ing. Feliciano De Santis
<b>CAJA DE CORTE (mm):</b>	60 mm x 60 mm			<b>DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SUELO:</b>		Remoldeado	

**CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO**

Peso específico	%w (nat.)	LI	Lp	IP	% Pasa 200	% Ret.# 4	CLASIFIC. SUCS
0,000	0,00	65,00	53,30	11,67	68,44	10,21	s(MH)

**MEDIDAS INICIALES M-1**

Ancho (cm)	6
Altura (cm)	2,8
Peso (g)	166,30
Humedad (%)	43,04
Area (cm <sup>2</sup> )	36
Volumen (cm <sup>3</sup> )	100,80
Dens.Hum (g/cm <sup>3</sup> )	1,650
Dens.Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,153

**MEDIDAS INICIALES M-2**

Ancho (cm)	6
Altura (cm)	2,8
Peso (g)	168,50
Humedad (%)	40,73
Area (cm <sup>2</sup> )	36
Volumen (cm <sup>3</sup> )	100,80
Dens.Hum (g/cm <sup>3</sup> )	1,672
Dens.Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,188

**MEDIDAS INICIALES M-3**

Ancho (cm)	6
Altura (cm)	2,8
Peso (g)	167,70
Humedad (%)	45,20
Area (cm <sup>2</sup> )	36
Volumen (cm <sup>3</sup> )	100,80
Dens.Hum (g/cm <sup>3</sup> )	1,664
Dens.Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,146

Deformación Horizontal	Esfuerzo de Corte 0,5 Kg/cm <sup>2</sup>			
	Lectura Micrometro (mm)	Lectura Anillo (mm)	Carga (kg)	Esfuerzo de Corte (kg/cm <sup>2</sup> )
0,00	0,000	18,00	0,031	
0,01	0,000	18,00	0,031	
0,02	0,000	18,00	0,031	
0,04	0,004	18,00	0,036	
0,06	0,012	18,00	0,047	
0,08	0,016	18,00	0,053	
0,10	0,020	18,00	0,058	
0,20	0,070	18,00	0,127	
0,30	0,142	18,00	0,227	
0,40	0,190	18,00	0,293	
0,50	0,222	18,00	0,338	
0,60	0,246	18,00	0,371	
0,70	0,280	18,00	0,418	
0,80	0,300	18,00	0,446	
0,90	0,324	18,00	0,479	
1,00	0,344	18,00	0,506	
1,50	0,410	18,00	0,598	
2,00	0,428	18,00	0,623	
2,50	0,430	18,00	0,625	
3,00	0,430	18,00	0,625	
3,50	0,426	18,00	0,620	
4,00	0,424	18,00	0,617	
4,50	0,418	18,00	0,609	
5,00	0,418	18,00	0,609	
5,50	0,416	18,00	0,606	
6,00	0,414	18,00	0,603	
6,50	0,414	18,00	0,603	
7,00	0,408	18,00	0,595	
7,50	0,408	18,00	0,595	
8,00	0,406	18,00	0,592	
8,50	0,406	18,00	0,592	
9,00	0,406	18,00	0,592	
9,50	0,402	18,00	0,587	
10,00	0,402	18,00	0,587	

Deformación Horizontal	Esfuerzo de Corte 1,0 Kg/cm <sup>2</sup>			
	Lectura Micrometro (mm)	Lectura Anillo (mm)	Carga (kg)	Esfuerzo de Corte (kg/cm <sup>2</sup> )
0,00	0,000	36,00	0,031	
0,01	0,026	36,00	0,067	
0,02	0,038	36,00	0,083	
0,04	0,052	36,00	0,102	
0,06	0,068	36,00	0,125	
0,08	0,080	36,00	0,141	
0,10	0,088	36,00	0,152	
0,20	0,128	36,00	0,208	
0,30	0,186	36,00	0,288	
0,40	0,246	36,00	0,371	
0,50	0,312	36,00	0,462	
0,60	0,354	36,00	0,520	
0,70	0,414	36,00	0,603	
0,80	0,454	36,00	0,659	
0,90	0,490	36,00	0,708	
1,00	0,514	36,00	0,742	
1,50	0,594	36,00	0,852	
2,00	0,628	36,00	0,899	
2,50	0,652	36,00	0,932	
3,00	0,654	36,00	0,935	
3,50	0,656	36,00	0,938	
4,00	0,656	36,00	0,938	
4,50	0,660	36,00	0,944	
5,00	0,662	36,00	0,946	
5,50	0,660	36,00	0,944	
6,00	0,660	36,00	0,944	
6,50	0,660	36,00	0,944	
7,00	0,660	36,00	0,944	
7,50	0,660	36,00	0,944	
8,00	0,634	36,00	0,908	
8,50	0,472	36,00	0,903	
9,00	0,388	36,00	0,902	
9,50	0,396	36,00	0,907	
10,00	0,388	36,00	0,901	

Deformación Horizontal	Esfuerzo de Corte 2,0 Kg/cm <sup>2</sup>			
	Lectura Micrometro (mm)	Lectura Anillo (mm)	Carga (kg)	Esfuerzo de Corte (kg/cm <sup>2</sup> )
0,00	0,000	72,00	0,000	
0,01	0,030	72,00	0,072	
0,02	0,041	72,00	0,088	
0,04	0,053	72,00	0,104	
0,06	0,071	72,00	0,129	
0,08	0,090	72,00	0,155	
0,10	0,091	72,00	0,156	
0,20	0,102	72,00	0,172	
0,30	0,201	72,00	0,309	
0,40	0,256	72,00	0,385	
0,50	0,352	72,00	0,517	
0,60	0,401	72,00	0,585	
0,70	0,452	72,00	0,656	
0,80	0,482	72,00	0,697	
0,90	0,512	72,00	0,739	
1,00	0,568	72,00	0,816	
1,50	0,744	72,00	1,060	
2,00	0,822	72,00	1,168	
2,50	0,878	72,00	1,245	
3,00	0,918	72,00	1,300	
3,50	0,956	72,00	1,353	
4,00	0,988	72,00	1,397	
4,50	1,022	72,00	1,480	
5,00	1,048	72,00	1,511	
5,50	1,070	72,00	1,547	
6,00	1,096	72,00	1,563	
6,50	1,108	72,00	1,572	
7,00	1,114	72,00	1,574	
7,50	1,116	72,00	1,574	
8,00	1,116	72,00	1,580	
8,50	1,120	72,00	1,580	
9,00	1,120	72,00	1,583	
9,50	1,122	72,00	1,580	
10,00	1,120	72,00	1,580	

Esfuerzo cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,625

Esfuerzo cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,946

Esfuerzo cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )
1,574

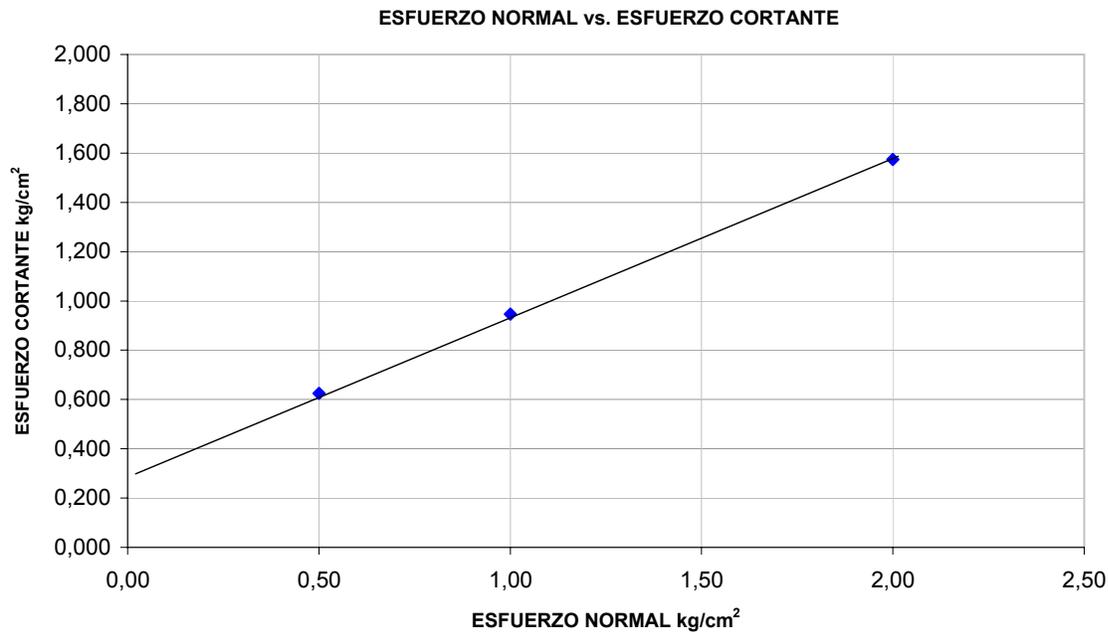


Ingenieros De Santis, C.A.

ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM-D 3080

PROYECTO:	Proyecto de Estabilidad de Taludes de Minera Lomas de Níquel, C.A	22-02 al 25-02 del 2011
UBICACIÓN	Estado. Miranda	Nº LAB:
MUESTRA:	M-5 / 993-S3-1175	TIPO DE ENSAYO: Saturado
CAJA DE CORTE (mm): 60 mm x 60 mm	DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SUELO: Remoldeado	

Nº MUESTRA	ESFUERZO (kg/cm <sup>2</sup> )			DENSIDAD SECA (kg/m <sup>3</sup> )	% w	%wf	% Asentamiento	Velocidad (mm/min)
	NORMAL	CORTANTE	RESIDUAL					
1,00	0,50	0,625		1,153	43,04	-		
2,00	1,00	0,946		1,188	40,73	-		
3,00	2,00	1,574		1,146	45,20	-		



Valor de Cohesión C (kg/cm <sup>2</sup> )
0,31
Angulo de Fricción $\phi$
32,29

REALIZADO: Maribiana Márquez

REVISADO: Ing.F. De Santis

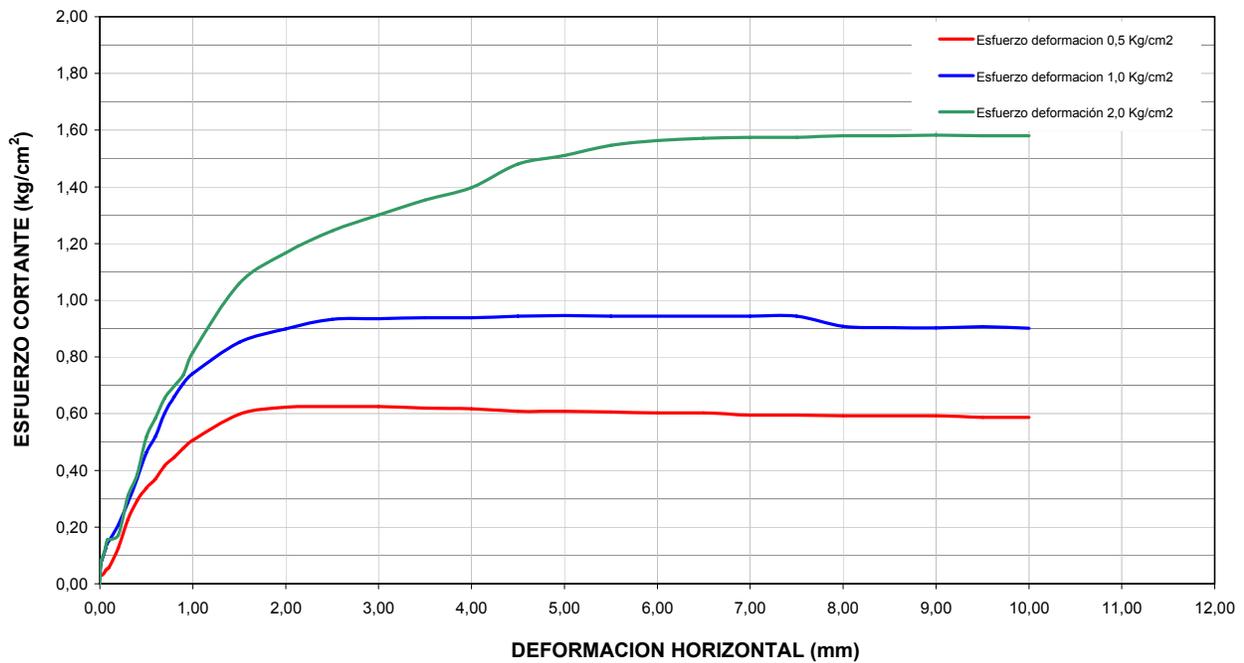


Ingenieros De Santis, C.A.

ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
ASTM-D 3080

PROYECTO:	Proyecto de Estabilidad de Taludes de Minera Lomas de Niquel, C.A	22-02 al 25-02 del 2011
UBICACIÓN	Estado. Miranda	Nº LAB:
MUESTRA:	M-5 / 993-S3-1175	TIPO DE ENSAYO: Saturado
CAJA DE CORTE (mm): 60 mm x 60 mm	DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SUELO:	Remoldeado

ESFUERZO VS DEFORMACION HORIZONTAL  
CORTE DIRECTO



**ANEXO 4**

**ESTADILLO DE LEVANTAMIENTO EN ROCA**





## APENDICE A

### Evaluación de Talud en Roca

#### **METODOLOGÍA Y SISTEMÁTICA DE LA EVALUACIÓN DE TALUDES EN ROCA (Tomado de González de Vallejo et al., 2006)**

La descripción y caracterización de los macizos rocosos en afloramientos es una labor necesaria en todos los estudios de ingeniería geológica cuyo objetivo sea el conocimiento de las propiedades y características geotécnicas de los materiales rocosos. Estos trabajos se realizan durante las primeras etapas de las investigaciones *in situ*.

El desarrollo de los trabajos de campo en afloramientos permite obtener información necesaria para evaluar el comportamiento geotécnico de los macizos rocosos, planificar las fases de investigación más avanzadas e interpretar los resultados que se obtengan de las mismas. Debido a la gran variedad de condiciones y propiedades, la caracterización de los macizos puede ser una tarea compleja, sobre todo si se presenta conjuntamente en materiales rocosos y suelos, zonas fracturadas, tectónizadas y/o meteorizadas. La descripción debe incluir todos los aspectos y parámetros que puedan ser observados, deducidos o medidos en los afloramientos.

Las descripciones de los macizos rocosos deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

Todos los factores deben examinarse sistemáticamente y en secuencia lógica.

No debe omitirse ninguna información básica sobre el afloramiento.

Las descripciones deben comunicar una imagen mental precisa y permitir deducir la información más relevante.

El número de datos debe ser estadísticamente representativo.

La caracterización de campo del macizo rocoso es un ejercicio progresivo que comienza con una descripción general de las condiciones del terreno, y con la identificación y clasificación de los materiales que forman los macizos. Las observaciones posteriores más complejas pueden afectar la objetividad y aumentar el grado de interpretación.

En general, el procedimiento a seguir parte de una descripción general de los aspectos y características observables a simple vista, en base a los cuales se establecen distintas zonas más o menos homogéneas en base a la litología, estructura tectónica, etc.; posteriormente, se describen y caracterizan con detalle los componentes de las distintas zonas del macizo y sus propiedades; finalmente, a partir de todos los datos estudiados, se clasifica geomecánicamente el macizo rocoso.

La sistemática para la descripción de los afloramientos de macizos rocosos se puede resumir en las siguientes etapas:

Descripción de las características generales del afloramiento: debe incluir la identificación, condiciones y características generales del afloramiento y la de cada uno de sus componentes: rocas, suelos, zonas con agua, discontinuidades singulares.

División de la zona: es una división más o menos homogénea de las zonas a partir de criterios litológicos y estructurales. El número de zonas que se establezca y la extensión de las mismas dependerá del grado de heterogeneidad de los materiales y estructuras que formen el macizo rocoso, de la extensión del afloramiento y del grado de detalle y la finalidad de la investigación. Se deben describir las características generales de cada zona.

La descripción general de cada zona: se lleva a cabo por separado y detalladamente, deberá ser lo más objetiva y clara posible, utilizando terminología estandarizada, de manera que distintos observadores lleguen a la misma descripción, evitando que puedan aparecer diferencias en la interpretación de las observaciones o medidas realizadas en una misma zona. A lo largo de esta fase se describen las características y propiedades físicas y mecánicas de la matriz rocosa y de las discontinuidades; los aspectos y factores a describir son los del cuadro siguiente:

Características y propiedades a describir en campo para la caracterización del macizo rocoso			
Ámbito de estudio	Características o propiedad	Método	Clasificación
Matriz rocosa	Identificación	Observaciones de visu o con lupa	Clasificación geológica geotécnica
	Meteorización	Observación de visu	Índices estándar
	Resistencia	Índices y ensayos de campo	Clasificaciones empíricas de resistencia
Discontinuidades	Orientación	Medida directa con brújula de geólogo.	
	Espaciado	Medidas de Campo	Índices y clasificación estándar.
	Continuidad		
	Rugosidad	Observaciones y medidas de campo	Comparación con perfiles estándar
	Resistencia de las paredes	Martillo Schmidt. Índices de campo.	Clasificaciones empíricas de resistencia.
	Abertura	Observaciones y medidas en campo	Índices estándar
	Relleno		
Filtraciones			
Macizo rocoso	Número de familias de discontinuidades.	Medidas de campo	Índices y clasificaciones estándar.
	Tamaño de bloque.		
	Intensidad de Fracturación.		
	Grado de meteorización	Observaciones de campo	Clasificaciones estándar.

Las descripciones se efectúan de forma cualitativa y, siempre que sea posible, cuantitativa. A tal efecto existen tablas, escalas, índices y valores de referencia que se utilizan para cuantificar las diferentes características y propiedades de macizo y sus elementos.

Descripción de los parámetros del macizo rocoso: Se realiza a partir de los datos recogidos en cada estación; se establecerán los parámetros referentes al número de familias de discontinuidades, orientación y características representativas de cada una de ellas, determinando su importancia relativa, tamaño y forma de los bloques que conforman el macizo, grado de fracturación etc., así como otros factores que influyen en el comportamiento, como el grado de meteorización y propiedades hidrogeológicas.

Caracterización global y caracterización geomecánica del macizo rocoso: Constituye la fase final del proceso descriptivo, y debe proporcionar las condiciones geológicas y geomecánicas del macizo en su conjunto. A partir de estos resultados se aplican las clasificaciones geomecánicas, que proporcionan información sobre la calidad y resistencia del macizo, así como los datos para su aplicación a diferentes fines constructivos.